



राष्ट्रहिताय संस्कृतम्

Journal of Fundamental & Comparative Research

This is to certify that the article entitled

राजीव गांधी ग्रामीण भूमिहीन कृषि मजदूर न्याय योजना एक समीक्षा
(राजनांदगांव जिले के विशेष संदर्भ में)

Authored By

डॉ. के. एल. टाण्डेकर

प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

Published in

Shodhasamhita : Journal of Fundamental & Comparative Research ; IF = 7.268

Vol. VIII, Issue 2, No. 6 July – December : 2022

ISSN: 2277-7067

UGC Care Approved, Peer Reviewed and Referred Journal

Kavikulaguru Kalidas Sanskrit University, Ramtek



ज्ञान-विज्ञान विमुक्तये
UGC

University Grants Commission
Approved Journal



Prof. Shri. V. V. Varkhedi

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान (छत्तीसगढ़ के राजनांदगाँव नगर निगम क्षेत्र के विशेष संदर्भ में)

रागिनी शोधार्थी सहायक प्राध्यापक(वाणिज्य) शा. दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय राजनांदगाँव छ.ग. भारत
डॉ. टाण्डेकर के.एल. शोध निर्देशक प्राचार्य शा. दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय जिला राजनांदगाँव छ.ग.
डॉ. भाटिया एच. एस. सह शोध निर्देशक विभागाध्यक्ष शा. दिग्विजय स्वशासी महा. राजनांदगाँव छ.ग. भारत

1. शोध सार :-

राज्य के नागरिकों को रोजगार की सुविधा प्रदान करने के लिए राज्य शासन द्वारा महत्वाकांक्षी योजनाओं को पूर्ण करने के लिए व्यावसायिक परियोजना की शुरुआत की गई। इस योजना का क्रियान्वयन राज्य स्तर पर छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल द्वारा किया जा रहा है इस परियोजना के अंतर्गत प्रत्येक हितग्राहियों को कम कीमत पर व्यावसायिक परिसर प्रदान किया जाता है। वर्तमान में मंडल द्वारा राज्य में लगभग 2000.00 व्यावसायिक परिसरों का निर्माण किया जा चुका है। इस योजना में लगभग 200000.00 से 9000000.00 रु. तक व्यावसायिक परिसर का मूल्य निर्धारित किया गया है। इस योजना में भवनों के क़य हेतु भाड़ा क़य योजना के माध्यम से किस्त भुगतान की सुविधा 10/15 वर्षों तक प्रदान की जा रही है इसके द्वारा निम्न आय स्तर के नागरिकों को व्यावसायिक परिसर की सुविधा प्रदान की जा रही है। इस योजना के माध्यम से हितग्राहियों को रोजगार की प्राप्ति होती है जिससे हितग्राहियों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास होता है।

2. मुख्य शब्द :-

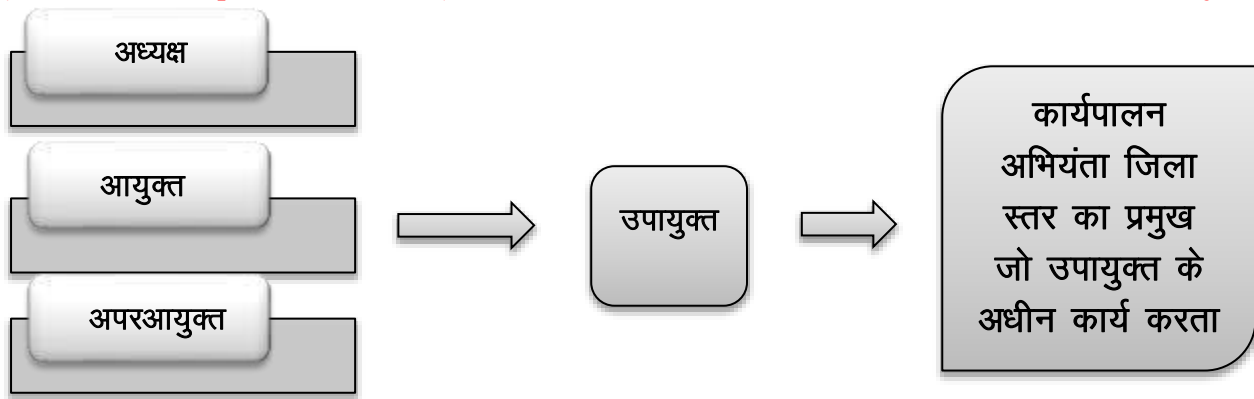
व्यावसायिक परिसर, रोजगार, सामाजिक एवं आर्थिक विकास, योजना का क्रियान्वयन, छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल

3. प्रस्तावना:-

प्राचीन काल में मानव अपनी आवश्यकताओं को पूर्ण करने के लिए शिकार एवं आखेट किया करता था तत्पश्चात् धीरे धीरे समय में परिवर्तन हुआ एवं वर्णों के आधार पर कार्य का विभाजन होने लगा वर्तमान में भी अपनी आवश्यकताओं के लिए मानव रोजगार की तलाश करता है या व्यवसाय करता है। वर्तमान में प्रमुख समस्या रोजगार एवं व्यवसाय की समस्या है। रोजगार से आशय है आजीविका अर्थात् जीवन यापन के लिए अर्थात् भोजन, वस्त्र, आवास, चिकित्सा, शिक्षा आदि पर खर्च करने के लिए आवश्यक धन अर्जन हेतु नियमित रूप से किया जाने वाला काम एवं व्यवसाय से आशय है, एक ऐसा कार्य जिसमें धन के बदले वस्तुओं अथवा सेवाओं का उत्पादन, विक्रय और विनिमय से है। यह नियमित रूप से किया जाता है तथा लाभ कमाने के उद्देश्य से किया जाता है। खनन, उत्पादन, व्यापार, परिवहन, भंडारण, बैंकिंग तथा बीमा आदि क्रियाओं से है। मानव जीवन में व्यवसाय एवं रोजगार का अत्यधिक महत्व है, उन्हें रोजगार एवं व्यवसाय से आजीविका की प्राप्ति होती है एवं मानव की आवश्यकताओं की पूर्ति भी रोजगार एवं व्यवसाय के माध्यम से होती है।

भू-संपदा के क्षेत्र में महत्वपूर्ण भूमिका निभाने के लिए एवं गुणवत्तापूर्ण किफायती आवास की उपलब्धता सुनिश्चित करने के लिए " सबके लिए आवास " कथन के साथ छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की स्थापना छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल अधिनियम 1972 के तहत (no 3 of 1973) 2000 को हुआ तत्पश्चात् अधिसूचना क्रमांक 177/3236/32/2003 दिनांक 12.02.2004 में पुनर्गठन किया गया।

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल निगमित निकाय है। जो आवास एवं पर्यावरण विभाग के अंतर्गत आता है। मंडल में 1 अध्यक्ष होता है जो विधानसभा का सदस्य, 1 आयुक्त जो आई.ए.एस.संवर्ग का होता 3 अपर आयुक्त होते हैं। जो आयुक्त के अधीन कार्य करते हैं इनका मुख्यालय नवा रायपुर है। सर्किल स्तर पर उपायुक्त होता है जिसके अधीन कार्यपालन अभियंता होते हैं कार्यपालन अभियंता जिला स्तर का प्रमुख होता है जिनके अधीन कर्मचारी कार्यरत होते हैं। वर्तमान में प्रथम/द्वितीय/तृतीय/चतुर्थ श्रेणी के कुल 646 अधिकारी/कर्मचारी कार्यरत है।



छत्तीसगढ़ शासन की व्यवसाय हेतु परिसर निर्माण करने एवं आवास की नीतियों लागू करने वाली यह प्रमुख संस्था हैं। छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल एक स्वायत्त संस्था हैं। सीमित साधनों के साथ इसकी स्थापना की गई थी। परन्तु कुछ ही समय में मंडल प्रगति के सोपानों की ओर अग्रसर है। मंडल ने विभिन्न योजनाओं के माध्यम से हितग्राहियों को संतुष्ट किया है एवं किफायती दर पर आवास एवं व्यावसायिक परिसर उपलब्ध कराया जाता है।

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल द्वारा E. W. S. एवं L.I.G. वर्गों के नागरिकों किफायती दर पर आवास एवं व्यावसायिक परिसर उपलब्धता सुनिश्चित कराने की प्राथमिकता है तथा मंडल द्वारा अटल आवास योजना, अटल विहार योजना, दीनदयाल आवास योजना में विभिन्न सुविधाओं के साथ आवास एवं व्यवसाय हेतु व्यावसायिक परियोजना के माध्यम से व्यावसायिक परिसर उपलब्ध कराया जाता है। इन योजनाओं के लिए मंडल को राष्ट्रीय स्तर पर सम्मानित किया जा चुका है। इस संबंध में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की स्थापना का प्रमुख उद्देश्य है:-

1. बेरोजगार परिवारों को अनुदान के पश्चात् कम दर पर प्राथमिकता के आधार पर व्यावसायिक परिसर की सुविधा सुनिश्चित करना।
2. राज्य के व्यवसाय एवं रोजगार की सुविधा सुरक्षित करने के लिए प्रेरित करना।
3. राज्य में व्यावसायिक गतिविधियों के मध्य की अनावश्यक प्रशासनिक एवं कानूनी बाधाओं को दूर करना।
4. राज्य की क्षेत्रीय संस्थान एवं पब्लिक प्राइवेट पार्टनरशिप, अर्द्ध निजी संस्थाओं, भवनों में विनियोग के लिए सक्रिय करना एवं प्रोत्साहित करना।

4 शोध अध्ययन का उद्देश्य :-

1. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की परियोजनाओं का अध्ययन करना।
2. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों तक पहुँच की सुनिश्चितता का अध्ययन करना।
3. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का विभिन्न क्षेत्र में योगदान का अध्ययन करना।
4. हितग्राहियों के आर्थिक विकास एवं सामाजिक विकास में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना के योगदान का अध्ययन करना।

5. शोध की परिकल्पना :-

1. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान हैं।
2. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना की पहुँच विभिन्न वर्गों तक है।
3. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की परियोजनाओं का क्रियान्वयन एवं मंडल की स्थिति सुदृढ़ करने में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल संभाग राजनांदगांव का महत्वपूर्ण योगदान है।

6. शोध प्रविधि:-

इस शोध पत्र में प्राथमिक आकड़ों के लिए हितग्राहियों से संपर्क किया गया एवं द्वितीयक आकड़ों के रूप में विवरणात्मक पद्धति का उपयोग किया गया है। छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल की विभागीय वेबसाइट एवं छत्तीसगढ़ गृह

निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव से विभिन्न सूचना पत्र एवं पत्रिकाओं के माध्यम से द्वितीयक आकड़ों का संकलन किया गया है।

7. व्यावसायिक परियोजना :-

छत्तीसगढ़ राज्य शासन द्वारा प्रवर्तित निम्न आय वर्ग (एल.आई.जी.) श्रेणी के हितग्राहियों हेतु इस परियोजना में व्यावसायिक परिसर का निर्माण किया जाता है। शासन के द्वारा रियायती दर पर भूमि उपलब्ध करायी जाती है। योजना स्थल की उपलब्धता तथा आवश्यकतानुसार स्वतंत्र अथवा बहुमंजिले परिसरों का निर्माण किया जाता है। परिसरों का आबंटन जिला कलेक्टर की अध्यक्षता में गठित समिति के माध्यम से किया जाता है। राजनांदगाँव जिले में उक्त योजना न्यू बस स्टैंड परिसर, गोल बाजार, जी.ई. रोड में क्रियान्वित की जा चुकी है, उक्त परियोजना में हितग्राहियों को कम कीमत पर व्यावसायिक परिसर प्रदान किया जा रहा है।

1. व्यावसायिक परिसर परियोजना नया बस स्टैंड परिसर

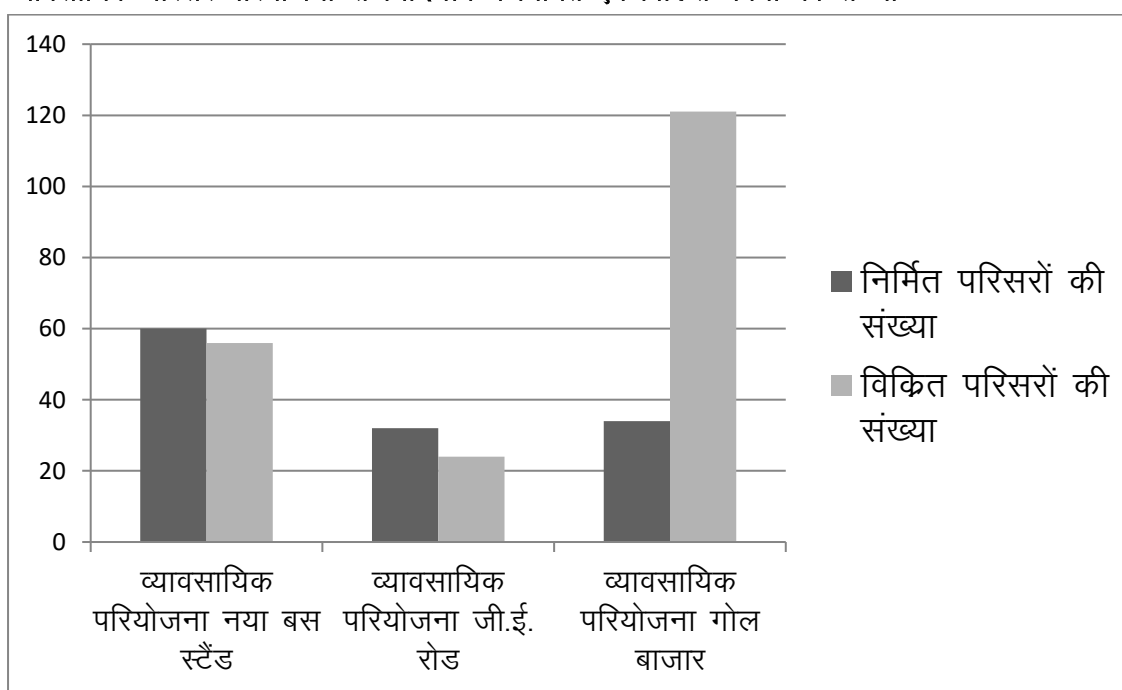
2. व्यावसायिक परिसर परियोजना गोल बाजार

3. व्यावसायिक परिसर परियोजना जी.ई. रोड

व्यावसायिक परिसर परियोजना अंतर्गत निर्मित एवं विक्रित परिसर की संख्या :-

परियोजना का नाम	परिसर का नाम	निर्मित परिसरों की संख्या	विक्रित परिसरों की संख्या
व्यावसायिक परियोजना	नया बस स्टैंड परिसर	60	56
व्यावसायिक परियोजना	जी.ई. रोड परिसर	32	24
व्यावसायिक परियोजना	गोल बाजार परिसर	34	34

व्यावसायिक परिसर परियोजना राजनांदगाँव में निर्मित एवं विक्रित भवनों की संख्या

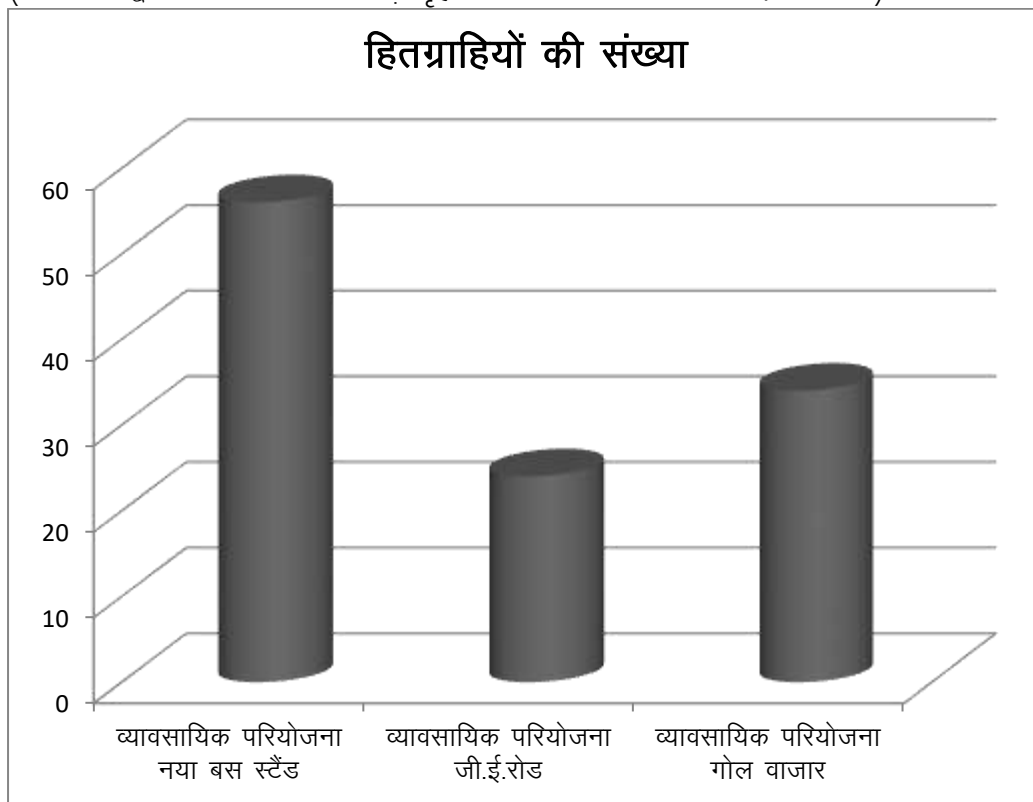


नया बस स्टैंड में निर्मित परिसरों की संख्या 60 एवं विक्रित परिसरों की संख्या 56 जी.ई. रोड में 32 एवं 24 गोल बाजार में 34 एवं 34 है।

(स्रोत :- द्वितीयक स्रोत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव छ.ग.)

क्रमांक	व्यावसायिक परिसर का नाम	हितग्राहियों की संख्या
1.	नया बस स्टैंड परिसर	56
2.	जी.ई. रोड परिसर	24
3.	गोल बाजार परिसर	34

(स्रोत :- द्वितीयक स्रोत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव छ.ग.)



व्यावसायिक परियोजना नया बस स्टैंड में हितग्राहियों की संख्या 56, जी.ई. रोड में 24, गोल बाजार में 34 है।

(स्रोत :- द्वितीय स्रोत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव छ.ग.)

8. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान का विश्लेषणात्मक अध्ययन:-

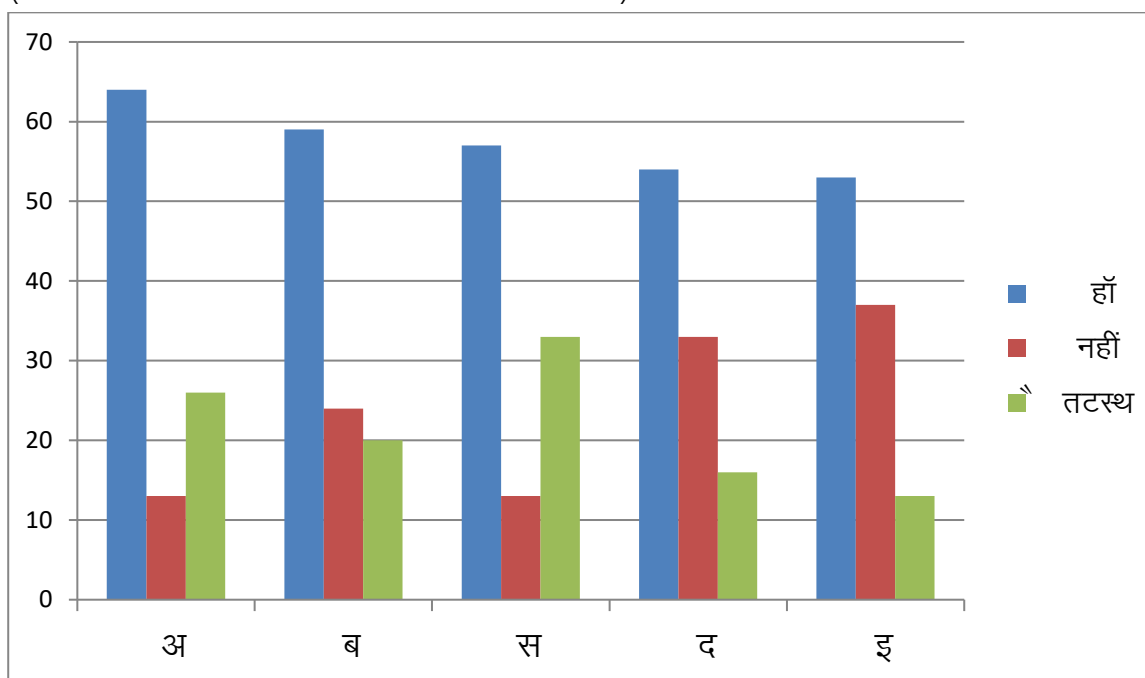
प्राथमिक आकड़ों के लिए प्रश्नावली के माध्यम से आकड़ों का संकलन किया गया प्राप्त आकड़ों के आधार पर विश्लेषणात्मक अध्ययन निम्न है:-

हितग्राहियों की संख्या :- 103

क्र.	विवरण	वर्ग	हाँ	नहीं	तटस्थ
01.	व्यावसायिक परिसर कय करने से वित्तीय स्थिति सुदृढ़ हुई।	अ	64	13	26
02.	व्यावसायिक परिसर कय करने से रोजगार की प्राप्ति हुई।	ब	59	24	20
03.	व्यावसायिक परिसर कय करने से भाड़ा कय की सुविधा प्राप्त हुई।	स	57	13	33

04	व्यावसायिक परिसर क़य करने से भाड़ा क़य की सुविधा से आपकी आय में बचत हुई।	द	54	33	16
05..	क्या आप छ.ग. गृह निर्माण मंडल की कार्यप्रणाली से संतुष्ट हैं।	इ	53	37	13

(स्रोत :- प्राथमिक स्रोत प्रश्नावली के माध्यम से संलग्न)



(स्रोत :- प्राथमिक स्रोत प्रश्नावली के माध्यम से संलग्न)

उपर्युक्त विश्लेषण से स्पष्ट है, कि व्यावसायिक परिसर क़य करने से हितग्राहियों के आय, रोजगार जीवन स्तर में वृद्धि हुई है। जिससे दृष्टिगोचर होता है कि छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान है।

9. छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना के क्रियान्वयन की प्रमुख समस्याएं:-

9.1 योजनाओं की हितग्राहियों तक पहुँच एवं प्रचार प्रसार की समस्या:-

छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल की योजनाओं के प्रचार प्रसार के अभाव के कारण जरूरतमंद हितग्राहियों तक योजना का पहुँच सुनिश्चित नहीं होता है जिससे योजना के क्रियान्वयन में समस्या होती है।

9.2 संकुचित एवं दूरस्थ क्षेत्र में योजना का क्रियान्वयन:-

मंडल द्वारा निर्मित योजना का क्षेत्र संकुचित होता है एवं जितनी भी योजनाएं निर्मित की जाती हैं। वह शहर से दूरस्थ क्षेत्र में होती हैं। जिससे व्यावसायिक परिसर के विक्रय में समस्या होती है।

9.3 शासन द्वारा अनुदान एवं पूँजी की समस्या:-

शासन द्वारा मंडल को हितग्राहियों को अनुदान एवं भूमि के अतिरिक्त कोई छुट नहीं दी जाती है एवं मंडल में पूँजी की समस्या रहती है जिससे नवीन योजना निर्मित करने में समस्या होती है।

9.4 अत्यधिक औपचारिकताएं:-

मंडल की योजना के प्रारंभ में प्रक्रिया पूर्ण करने में अत्यधिक औपचारिकताएं होती हैं एवं हितग्राहियों को नवीन परिसर क़य करने में भी अत्यधिक औपचारिकता को पूर्ण कारना होता परिणामस्वरूप परियोजना के क्रियान्वयन में समस्या होती है

10 सुझाव एवं निष्कर्ष:-

10.1 सुझाव :-

1. योजना प्रचार प्रसार :-

योजनाओं की हितग्राहियों तक पहुँच सुनिश्चित करने के लिए विज्ञापन एवं अन्य माध्यम से योजना का प्रचार प्रसार किया जाना चाहिए।

2.विस्तृत एवं निकट क्षेत्र में परिसर का निर्माण:-

व्यावसायिक परिसर का निर्माण संकुचित क्षेत्र में न करके विस्तृत क्षेत्र में किया जाना चाहिए एवं व्यावसायिक परिसर दुरस्थ क्षेत्र में निर्मित न करके शहर के निकट किया जाना चाहिए।

3.शासन द्वारा अनुदान:-

शासन द्वारा समय समय पर अनुदान उपलब्ध करना चाहिए पूँजी के अभाव में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की परियोजनाओं का क्रियान्वित नहीं हो पाती है एवं अन्य शासकीय व्यावसायिक परिसरों के निर्माण का कार्य भी छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल को प्रदान किया जाना चाहिए जिसके परिणामस्वरूप पूँजी की समस्या नहीं होगी।

4. विशेष छुट एवं योजना का प्रावधान:-

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल के द्वारा परिसर के विक्रय हेतु विशेष छुट का प्रावधान करना चाहिए एवं विशेष वर्गों हेतु विशेष योजनाएं निर्मित करनी चाहिए जिससे व्यावसायिक परिसर के विक्रय की मात्रा में वृद्धि होगी एवं मंडल के लाभ में भी वृद्धि होगी।

5.अत्यधिक औपचारिकता में कमी करना:-

मंडल के द्वारा योजना के प्रारंभ में अत्यधिक औपचारिकता होने के देरी होती है एवं व्यावसायिक परिसर के विक्रय में भी समस्या होती है। अतः औपचारिकता में कमी करने हेतु एकल खिड़की प्रणाली एवं ऑनलाईन भुगतान की सुविधा होनी चाहिए।

10.2 निष्कर्ष:-

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल द्वारा पं.दीनदयाल आवास के माध्यम से राजनांदगाँव जिला में लगभग 150 से अधिक नागरिकों को छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल के माध्यम से व्यावसायिक परिसर की सुविधा प्रदान की गई है जिसके माध्यम से नागरिकों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास हुआ है एवं इस क्षेत्र में मंडल को 10 से अधिक पुरस्कार प्राप्त हो चुके हैं। मंडल के माध्यम से हितग्राहियों को व्यावसायिक परिसर क़य करने से रोजगार प्राप्त होता है एवं स्लम क्षेत्रों विकास होता है एवं जीवन स्तर में वृद्धि जिससे यह परिलक्षित होता है कि, व्यावसायिक परिसर के निर्माण एवं हितग्राहियों के सामाजिक एवं आर्थिक विकास में व्यावसायिक परियोजना की महत्वपूर्ण भूमिका है।

11.संदर्भित ग्रंथ:-

- 1.छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की संगवारी मंडल हितग्राही मार्गदर्शिका ।
- 2.छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की विभागीय वेबसाइट <http://cghb.gov.in> ।
- 3.अन्य वेबसाइट <https://drishtias.com> ।
- 4.शोध पद्धति डॉ. आलोक गुप्ता एवं नितिन गुप्ता ।
- 5.व्या. सांख्यिकी डॉ. एस. एम. शुक्ल एवं डॉ. शिवपूजन सहाय ।
- 6.हरिभूमि आवास एवं पर्यावरण विशेष पत्रिका ।
- 7.रायपुर संभाग के अंतर्गत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की कार्यप्रणाली एवं उपलब्धियों का विश्लेषण देवागन करुणा एवं वर्मा एल. एन. ।
- 8.शोध पत्र :-
 - 1.सबके लिए आवास की सुविधा एवं हितग्राहियों के विकास में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण की भूमिका (राजनांदगाँव जिले के विशेष संदर्भ) डॉ. टाण्डेकर के. एल. डॉ. भाटिया एच. एस. रागिनी ।
 - 2.अटल आवास योजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान (राजनांदगाँव जिले के विशेष संदर्भ) डॉ. टाण्डेकर के. एल. डॉ. भाटिया एच. एस. रागिनी ।
 3. पं.दीनदयाल आवास योजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान (छत्तीसगढ़ के राजनांदगाँव जिले के विशेष संदर्भ में) डॉ. टाण्डेकर के. एल. डॉ. भाटिया एच. एस. रागिनी ।

भारत में कृषि संबंधि समस्या एवं समाधान

डॉ. के.एल. टाण्डेकर, प्राचार्य शासकीय नेहरू स्नातकोत्तर महाविद्यालय, डोंगरगढ़, जिला – राजनांदगांव, छ.ग.

डॉ. संतोष कुमार उके, सहायक प्राध्यापक – वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय,
राजनांदगांव (छ.ग.)

श्री दीपक कुमार परगनिहा रजिस्ट्रार शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.).

शोध सारांश :-

भारत गांव का देश है, यहां कि 70 प्रतिशत से अधिक आबादी ग्रामीण क्षेत्रों में निवास करती है, जिसका प्रमुख व्यवसाय एवं जीविका कृषि पर आधारित है, बिना कृषि के मानव जीवन की कल्पना नहीं की जा सकती, भारत की जनसंख्या निरंतर बढ़ती जा रही है, ऐसी स्थिति में कृषि की समस्या चिंता का विषय है, कृषि केवल जीवन यापन का साधन न रह कर लाभकारी व्यवसाय बने, इसके लिए भूमि जल, बीज, उर्वरक, खादय नियंत्रण एवं कर्षण विधियां, मानव पशु श्रम तथा यांत्रिक ऊर्जा का ऐसा समन्वित प्रयास करना होगा, जिससे की आपेक्षित प्रजाति की फसलों की उन्नत खेती को प्रोत्साहित कर इसे लाभकारी व्यवसाय बनाया जा सके ताकि कृषि क्षेत्र की प्रमुख समस्या पलायन को रोका जा सकेगा, कृषि क्षेत्र में बेहतर आर्थिक अवसर प्रदान कर युवाओं को कृषि के प्रति जागरूक करना एवं उद्योग तथा कृषि क्षेत्रों के संतुलित विकास व कृषि आधारित लघु एवं कुटीर उद्योगों के विकास के माध्यम से कृषि के पिछड़ेपन की समस्या से निजात पाया जा सकता है।

प्रस्तावना :-

भारत एक कृषि प्रधान देश है यहां की अर्थव्यवस्था प्राचीन काल से ही कृषि आधारित है। भारत में 70 प्रतिशत जनसंख्या ग्रामीण क्षेत्रों में निवास करती है, जिनका मुख्य व्यवसाय एवं जीविका कृषि पर आधारित है। आज भारत की अर्थव्यवस्था विश्व की पांचवी सबसे बड़ी अर्थव्यवस्था है। भारतीय अर्थव्यवस्था के सफल घरेलु उत्पाद में कृषि का हिस्सा 17 प्रतिशत है, कृषि केवल जीविका पार्जन का साधन ही नहीं है बल्कि अर्थव्यवस्था को सुदृढ़ करने वाली सीढ़ी है, उद्योग धंधे व्यापार मुद्रा अर्जन विभिन्न योजना की सफलता, राजनितिक स्थायित्व रोजगार आदि की सफलता कृषि पर निर्भर है। आधुनिक समय में भी कृषि को प्राथमिकता देने की आवश्यकता है, यदि कृषि असफल रहती है, तो सरकार एवं राष्ट्र दोनों असफल रहेंगे। भारत एक कृषि प्रधान देश होने के कारण देश की अर्थव्यवस्था में कृषि की एक महत्वपूर्ण भूमिका है। देश की राष्ट्रीय आय, रोजगार, जीवन निर्वाह, पूंजी निर्माण, विदेश व्यापार, उद्योग आदि में कृषि की सशक्त भूमिका को नकारा नहीं जा सकता। देश में कृषि पर निर्भरता 70 प्रतिशत जनसंख्या है, वही लगभग 64 प्रतिशत श्रमिकों के कृषि क्षेत्र में रोजगार प्राप्त है, भारतीय कृषि अधिकांशतय मौसम के स्थितियों पर प्रमुख तौर पर वर्षा व समय पर निर्भर करती है, परिणाम स्वरूप हमें सूखे, बाढ़ व एक सीमा तक ओलो का भी सामना करना पड़ता है, पिछले कुछ दशकों के दौरान अर्थव्यवस्था के विकास में मैन्युफैक्चरिंग तथा सेवा क्षेत्रों का योगदान तेजी से बढ़ा है, जबकि कृषि क्षेत्र के योगदान में गिरावट आई, भारत का खाद्यान्न उत्पादन प्रत्येक वर्ष रहा है, भारत के कुल क्षेत्रफल का लगभग 51 प्रतिशत भाग कृषि, 4 प्रतिशत भाग पर चारागाह, लगभग 21 प्रतिशत पर वन और 24 प्रतिशत पर बंजर तथा बिना उपयोग के है, देश की कुल श्रम शक्ति का लगभग 52 प्रतिशत भाग कृषि तथा इससे संबंधित उद्योग और धंधों से अपनी आजीविका चलाता है।

अवधारणा :-

भारतीय अर्थव्यवस्था में कृषि की महत्वपूर्ण भूमिका है, महात्मा गांधी ने कहा था “भारत गांव में बसता है और कृषि भारतीय अर्थव्यवस्था की आत्मा है” अतः कहा जा सकता है कि कृषि भारतीय अर्थव्यवस्था की रीढ़ है, परन्तु स्वतंत्रता के कई वर्षों के पश्चात् आज भी कृषि दयनीय स्थिति में है, जनगणना 2011 के अनुसार कुल कार्यवृत्ता का 54.6 प्रतिशत आबादी कृषि और उससे संबंधित कार्यकलापों में लगी हुई है, किन्तु भारतीय कृषक की मानसून पर अत्यधिक निर्भरता, भूमि का ह्रास, प्राकृतिक प्रकोप जैसे प्राकृतिक कारण कृषि की उत्पादकता पर प्रतिकूल प्रभाव डाल रहे हैं। आज के औद्योगिक समाज में एक किसान होने की विभिन्न बारिकियों को समझने से पहले यह समझना आवश्यक है कि वास्तव में कृषि को कैसे परिभाषित किया जाता है, कृषि में लाभकारी पौधों की विधिवत बुआई शामिल है, जिसमें मनुष्य की देखरेख में पशुओं का पालन करना शामिल है, दूसरे शब्दों में कृषि में फसलों की खेती या जीवित रहने या मौद्रिक लाभ के लिए पशुधन को विकसित कर पृथ्वी की सतह के एक हिस्से को संशोधित करने के लिए एक व्यक्ति के सचेत

प्रयास शामिल है, इस प्रकार कृषि की अवधारण विभिन्न अर्थों में खेती करना है, अपने खेत पर किसान द्वारा किए गए किसी भी अभ्यास के साथ विभिन्न खेती के रूपों का संचालन शामिल है।

कृषि मात्र एक पदार्थ उत्पादन प्रणाली नहीं है, अपितु सम्पूर्ण मानवीय अर्थव्यवस्था का आधारभूत स्तंभ है, यह स्वयं में एक सृजन है एक सम्पूर्ण प्राकृतिक विज्ञान है, मानव जीवन के पृथ्वी पर अस्तित्व से लेकर अब तक कृषि भरण पोषण का अभिन्न अंग रही है, भारतीय कृषि का उद्गम कब कैसे क्यों हुआ, इसकी प्रमाणिक पुष्टि करना जटिल है, पौराणिक साहित्य इस बात का साथी रहा है कि भारत में कृषि केवल जीविका का साधन नहीं अपितु ऐतिहासिक, सांस्कृतिक धरोहर की भांति है, भारतीय कृषि विभिन्न संम्यताओं को पोषित करती हुई कृमिक विकास की प्रक्रिया से फलीभूत होती आई है।

भारतीय कृषि की समस्याएँ :-

भारत में अधिकांश कृषि क्षेत्र असिंचित होने के कारण कृषि क्षेत्र में समग्र विकास के लिए मानसून महत्वपूर्ण है, खराब मानसून के कारण खेती पर बहुत बुरा असर पड़ता है और किसानों को बहुत भारी नुकसान उठाना पड़ता है, ऐसी ही स्थिति खरीफ फसलों के उत्पादन और उपज में भी उत्पन्न होती है, आजादी के समय देश की लगभग 70 प्रतिशत जनसंख्या जो कृषि कार्य में लगी थी वह कृषि के महत्व को स्वयं बयां करती हैं किन्तु वर्तमान में धीरे-धीरे यह संख्या घटती जा रही है, यह स्थिति विकास की दृष्टि से उत्तम मानी जा सकती है, किन्तु मजबूरी में कृषि क्षेत्र पलायन ठीक नहीं है, यदि इसके वास्तविक कारणों को खोजे तो 1950 के पूर्व जाना पड़ेगा क्योंकि अंग्रेजी शासन के पूर्ण कृषि सापेक्षित दृष्टि से परिपक्व स्थिति में थी, कृषि तथा उद्योग में संतुलन था, कृषक वर्ग की स्थिति अच्छी थी, किन्तु अंग्रेजी शासन की शोषणकारी नीतियों से कृषि की स्थिति खराब होती चली गई, हथकरघा और चरखा नष्ट हो गया तथा कृषि व उद्योग का संतुलन बिगड़ गया और कृषि एक अलामकारी व्यवस्था के रूप में सामने आई, जिसका परिणाम अकाल, भूखमरी, गरीबी, बेरोजगारी, जैसी सामाजिक समस्या उत्पन्न होने लगी और यह दिनों दिन बढ़ती चली जा रही है। बहुराष्ट्रीय संगठनों की संबद्धता से जहां हम अनायस विदेशी पूंजी के हाथों गिरफ्तार होते जा रहे हैं। वहीं कृषि की उपेक्षा कर पुनः उन्हीं देशों का मुंह ताकना पड़ रहा है, अपने खेतों का श्रम व पूंजी दोनों का हस्तांतरण सम्भवतः कृषि की उपेक्षा का ही दुष्परिणाम है।

राष्ट्रीय बीच परियोजना भी 1976 में संचालित विश्व बैंक की महत्वाकांक्षी परियोजना थी, विभिन्न चरणों की यह योजना भी जन-जागरण के अभाव एवं प्रशासनिक दोषों के कारण सफल न हो सकी, इसी तरह तिलहन एवं दलहन के क्षेत्र में विश्व में अग्रणी भारतीय कृषि भी विकास के समानांतरण न चल सही शंकर फसल क्रांति के द्वारा नकदी फसलों में वृद्धि निःसंदेह दृढ़स्थ है तथा कपास एवं गन्ने के उत्पादन ने सरकार द्वारा न्यूनतम समर्थन मुख्यनीति से अपने शीर्षस्थ उत्पादन ने क्षमता को अवश्य प्राप्त किया, परन्तु यथार्थ में सामान्य किसान के हाथ सूने ही रहे, नदियों एवं वर्षा जल को संचित कर असिंचित भूमि के अंचल को हरितिमा बनाने में प्रयास ने देश में नहरों एवं बहुउद्देशीय परियोजना को जन्म दिया, किन्तु इनका गलत उपयोग उद्देश्य प्राप्ति में बाधक रहा है। प्रायः नहरों में पानी तभी आता है, जब या तो फसल सूखने लगती है या खेत लबा-लबा भरे रहते हैं, विश्व बैंक दवा मूक साधन प्रायोजित नल-कूप आज महज कर रहे हैं, विद्युतिकरण पर विद्युत आपूर्ति एवं भ्रष्टाचार नागरिक एवं प्रशासनिक द्वारा पर्दा डाल दिया है, कृषि विपणन के अंतर्गत वनीय बागानी और अन्य कृषि उत्पादों के भंडारण प्रसंस्करण व विपणन के साथ-साथ कृषिगत मशीनरी का वितरण और अंतर्राज्यीय स्तर पर कृषि वस्तुओं का आवागमन भी शामिल है, इनके अलावा कृषि उत्पादन में वृद्धि हेतु तकनीकी सहायता प्रदान करना और भारत में सहकारी को प्रोत्साहन करना भी कृषि विपणन गतिविधियों के अंतर्गत आता है, कृषि विपणन में परिवहन प्रसंदकरण भंडारण ग्रेडिंग आदि जैसे गतिविधियां शामिल हैं, ये गतिविधियां हर देश की अर्थव्यवस्था में बहुत अहम भूमिका निभाती हैं। देश की लगभग दो तिहाई जनसंख्या आज भी प्रत्यक्ष अथवा परोक्ष रूप से कृषि पर आश्रित है, इसके बावजूद सकल घरेलू उत्पादन में कृषि का योगदान लगातार कम होना चिंतनीय है। इसमें कोई संदेह नहीं है कि कृषि एवं किसान देश की अर्थव्यवस्था की रीढ़ हैं। सबके बावजूद भारतीय कृषि से जुड़ी अनेक समस्याएं हमारे यहां विद्यमान हैं पूर्णवर्ती सरकारों के समय में किसान पानी की समस्या खाद्य की समस्या व उनके उत्पादों को उचित मूल्य न मिलना, आयात-निर्यात की दोषपूर्ण नीति ऋण का बढ़ता बोझ बैंकों द्वारा जबरन वसूली आदि ऐसे कारण हैं जो किसानों की बदहाली के लिए जिम्मेदार हैं, जो किसानों में लगभग 3.30 लाख से अधिक किसानों ने आत्महत्या की, परन्तु ऐसा कोई समाधानपरक सुझाव नहीं आ पाया जिससे इस बदतर स्थिति से किसानों की समस्या का समुचित समाधान हो सके, प्रति एकड़ कम उत्पादकता खेती की परम्परागत विधियों का उपयोग, घटते कृषि निवेश में कमी ऋण एवं फसल बीमा तक पहुंच न होना लाभकारी मूल्य का अभाव, मानसून की अनियमितता किसानों की गरीबी एवं ऋणग्रस्तता आदि समस्याएं आज भी विद्यमान हैं।

भारत में कृषि और किसानों की हालात दिनों दिन खराब होती जा रही है, जिसके कारण किसान आत्महत्या पर मजबूर होते जा रहे हैं, भारत में आज भी 60–70 प्रतिशत लोग कृषि पर निर्भर हैं। भारत में किसानों की खराब स्थिति होने के कारणों को जानना बहुत जरूरी है, इन कारणों से समाज, राजनेता और जनमानस को सोचना चाहिए, भारत में किसानों की समस्या दिनों दिन बढ़ रही है। भारत में लोगों की यह धारणा है कि खेती लाभप्रद नहीं है। यह निम्न श्रेणी का कार्य है, किसानों को यह लगता है कि यह कार्य नहीं कर पायेंगे, किसानों को लघु एवं कुटीर उद्योग के बारे में विस्तृत जानकारी का अभाव भारत में आज भी किसान आरक्षित है, जिसके कारण आगामी साहूकारों द्वारा इनका शोषण निरंतर जारी है, जैसी प्रमुख समस्या का सामना भारतीय किसान को करना पड़ रहा है। राष्ट्रीय आय में कमी जनसंख्या का बढ़ता दबाव जोतो का छोटा आकार मिट्टी में दोष उत्पादन की पुरानी तकनीक फसलों की सुरक्षा का अभाव अच्छे किस्म के बीजों का अभाव, रसायनिक खादों के उचित प्रयोग का अभाव, कृषि अनुसंधान की जानकारी का अभाव, कृषि उत्पादों की विपणन की समस्या, बारिश बाढ़ और चक्रवात जैसी प्राकृतिक आपदाओं के कारण फसलों का बड़े पैमाने पर क्षतिग्रस्त होने प्रमुख समस्याएं हैं।

समाधान :-

भारत विश्व में जनसंख्या की दृष्टि से दूसरे स्थान पर है, जनसंख्या के मामले में हमें चेतावनी मिल चुकी है कि 21 वीं सदी के आते-आते हमारी जनसंख्या तेजी से बढ़ेगी, यह चिंता का विषय होना चाहिए बढ़ती जनसंख्या के लिए अनाज, चारे, इंधन और कपड़े की मांग की चुनौतियों का सामना करने के लिए सामूहिक रूप साधनों की तलाश करनी होगी, उन्हें विकसित करना होगा, खाद्यान्नों के अलावा हमें विकास की गति को निरंतर बनाए रखने के लिए अपनी वाणिज्यिक फसलों, बागवानी, पशुपालन और दुग्ध उत्पादन, मछली पालन तथा संबंध क्षेत्रों का विकास करना होगा, ताकि निर्यात के लिए अतिरिक्त उत्पादन किया जा सके। बारिश बाढ़ चक्रवात जैसी प्राकृतिक आपदाओं के कारण क्षतिग्रस्त होने वाली फसलों के नुकसान की भरपाई के लिए सशक्त बीमा कार्यक्रम लागू करके समाधान किया जा सकता है। एकीकृत खेती के तरीकों के उपयोग करके कृषिगत लागत को कम किया जा सकता है, न्यूनतम जोताई का सुझाव द्वारा मिट्टी के क्षरण को रोकने में मदद मिलती है, कृषि में अनुसंधान एवं विकास को भी बढ़ावा दिया जा सकता है, साथ ही जलवायु परिवर्तन के अनुसार ऐसी खेती को बढ़ावा दिया जा रहा है, जिससे पर्यावरण में हो रहे बदलाव के बुरे प्रभाव से बचाया जा सके और पर्यावरण को भी नुकसान न हो सके।

भारत में कृषि संबंधी समस्या को सुलझाने के लिए कुछ प्रमुख उपाय किए जाने की आवश्यकता है जैसे उक्त बीजों का उपयोग आधुनिक यंत्रों का उपयोग का व्यापक प्रचार, सिंचाई सुविधाओं का विकास, बाढ़ नियंत्रण, ऋण ग्रस्तता की सकारित साख व्यवस्था का विस्तार मूल्यों में स्थायित्व विपणन व्यवस्था में सुधार, यंत्रीकरण कृषि अनुसंधान मिश्रित खेती वैज्ञानिक खेती अन्य उपयो में जैसे भू-क्षरण एवं पौधों की रक्षा फसल बीमा सहकारी खेती को बढ़ावा गहन कृषि एवं बहुफसली कार्यक्रमों को बढ़ावा दिया जाना प्रमुख है। इसके अतिरिक्त सरकार को भी कृषि के पिछड़ेपन को दूर करने के लिए अनेक प्रयत्न करने आवश्यक है। जैसे राष्ट्रीय बीज निगमन फसलों की स्थापना रासायनिक खाद इकाइयों की स्थापना सिंचाई सुविधाओं का विस्तार फसलों को कीटाणुओं व रोगी से बचाव चक्रबंदी प्रशिक्षण कृषि लागत एवं मुल्य आयोग की स्थापना ग्रामीण बैंकिंग सुविधा विस्तार कृषि सहकारी कृषि को बढ़ावा कृषि अनुसंधान एवं विकास इसे सुचारु रूप से क्रियान्वयन किया जाना आवश्यक है।

भारत में कृषि की समस्या का बेहतर समाधान हो सके इसके लिए वर्तमान में किसानों के कल्याण एवं कृषि विकास के लिए अनेक कल्याणकारी योजनाओं का शुभारंभ किया है, सरकार ने कृषि को प्राथमिकता देते हुए विगत चार वर्षों में कृषि बजट में 164415 करोड़ रुपये आबंटित किए गये, जो कि पूर्ण यू.पी.ए. सरकार के चार वर्षों (2011 से 2013–14) के 104339 करोड़ रुपये की तुलना में 52.58 प्रतिशत अधिक है। सरकार ने कृषि एवं किसानों के हित में मृदा स्वास्थ्य कार्ड योजना हर खेत तक पानी पहुंचाने के उद्देश्य से शुरू की गई, प्रधानमंत्री कृषि सिंचाई योजना परम्परागत कृषि सिंचाई योजना के अंतर्गत जैविक खेती को बढ़ावा देना, किसानों को उनके उत्पादों का बेहतर मूल्य प्राप्त हो, इसके लिए ऐग्रीटेक इन्फ्रास्ट्रक्चर फंड तथा संगठित राष्ट्रीय कृषि मंडी से उन्हें जोड़ने जैसी कई महत्वपूर्ण योजनाओं का संचालन एवं क्रियान्वयन किया जा रहा है, जिसका सीधा फायदा कृषकों को मिलेगा तथा उनकी आय दुगुनी हो सकेगी, सरकार ने किसानों को कृषि उत्पादों से होने वाले नुकसान के लिए प्रधानमंत्री फसल बीमा योजना शुरू की गई है, पिछले कुछ वर्षों में किसान हित में जिस तेजी से कई योजनाएं आ रही हैं। उससे लगता है कि आने वाले समय में कृषि घाटे का सौदा न रहकर एक व्यवसाय की तरह फलेगी— फूलेगी और ऐसा तभी संभव है, जब हम

खेती बाड़ी के साथ-साथ पशुपालन को बढ़ावा देते हुए जैविक खाद के प्रयोग हेतु किसानों को प्रोत्साहित करें, जिससे विश्व बाजार में न केवल भारतीय खाद्य उत्पादन की गुणवत्ता स्थापित होगी, बल्कि किसानों की आय भी बढ़ेगी, भारतीय किसानों की आर्थिक स्थिति में सुधार के लिए आवश्यक है कि कृषि उपज की बिक्री का उचित प्रबंध किया जाए, हालांकि स्वतंत्रता प्राप्ति के बाद कृषि विपणन प्रक्रिया में काफी प्रगति हुई है, भारत में कृषि की समस्या का समाधान के लिए भारत सरकार द्वारा समर्थन मूल्य पर सभी कृषि फसलों को खरीदने का दावा किया जाता है, इस समर्थन मूल्य पर सभी कृषि फसलों को लेना चाहिए ताकि किसान आत्महत्या जैसे कदम उठाने के लिए मजबूर न हो साथ ही सरकार किसानों को बोनस का भी लाभ देकर उन्हें समस्या से मुक्त कराने में अहम भूमिका निभा सकती है।

निष्कर्ष :-

निष्कर्ष रूप से हम कह सकते हैं कि भारतीय कृषि पूर्णरूप से सशक्त है, परंतु कुव्यवस्था के कारण घाटे का सौदा बन गई है, खेतों में बंपर उत्पादन होता है, गोदामों में अनाज रखने की जगह नहीं बचती फिर किसानों को इसका लाभ नहीं मिल पाता, इसका एकमात्र कारण कृषि के विकास के लिए उचित रोडमैप का अभाव एवं कुव्यवस्था है, यदि देश में कृषि को सुव्यवस्थित कर दिया जाए तो हम अपनी 27 प्रतिशत क्षमता से पूरी दुनिया का पेट भर सकते हैं, किसान जो कि भारतीय समाज का एक बड़ा हिस्सा है, उनकी आय का दुगुनी करने और खुशहाली की दिशा में की जा रहे, सरकारी प्रयास सबका साथ-सबका विकास के सपने को साकार करने की दिशा में एक महत्वपूर्ण कदम है। उम्मीद है कि कृषि क्षेत्रों में सुधार की निरंतर प्रक्रिया से निकटतम भविष्य में कृषि उत्पादन बढ़ने के साथ-साथ इसे किसानों की आर्थिक स्थिति में सुधार कृषि संबंधि समस्याओं के समाधान की दिशा में सरकार समन्वित तरीके से कदम उठा रही है, इसके लिए शासन स्तर पर अनेक कल्याणकारी योजनाओं का संचालन व क्रियान्वयन कर भारतीय कृषि का उत्तम एवं समृद्ध बनाने हेतु सतत् रूप से प्रयत्नशील है।

संदर्भ सूची :-

1. भारत में कृषि संबंधि समस्याएं एवं समाधान शोध संक्षेपिका फरवरी 2020
2. Fundamental of Agricultural Economics Sadhu & Sirg, Himalalaly Publishing House Bombay.
3. Department of Indian Ecomonmics Houghil S.S. desal Himall Publicaiton.
4. Indian Agriculture – A.N. Agrawal, Vani Educational Books , New Delhi.
5. कुरुक्षेत्र सितम्बर 2018, प्रकाशन विभाग, सूचना भवन, नई दिल्ली
6. योजना सितम्बर – 2018, प्रकाशन विभाग सूचना विभाग, नई दिल्ली,
7. भारत में कृषि नवाचार, डॉ. रामनारायण तिवारी, शिवांक प्रकाशन, नई दिल्ली
8. भारतीय कृषि एवं सहकारिता – डॉ. आर.एम. त्रिपाठी, शिवांक प्रकाशन
9. योजना 2020 – सूचना एवं प्रसारण मंत्रालय नई दिल्ली
10. कुरुक्षेत्र – 2021 – सूचना एवं प्रसारण मंत्रालय नई दिल्ली
11. योजना – 2019 – सूचना एवं प्रसारण मंत्रालय नई दिल्ली
12. भारतीय कृषि का इतिहास – डॉ. आर.एम. त्रिपाठी, प्रशांत बुक डिस्ट्रीब्यूटर्स, नई दिल्ली.

लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास में छत्तीसगढ़ राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन (राजनांदगांव जिले के विशेष संदर्भ में)

डॉ. के.एल. टाण्डेकर, प्राचार्य शासकीय नेहरू स्नातकोत्तर महाविद्यालय, डोंगरगढ़, जिला – राजनांदगांव, छ.ग.

डॉ. संतोष कुमार उके, सहायक प्राध्यापक – वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

श्रीमती सुमन बोथरा, सहायक प्राध्यापक – वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.).

शोध सार :-

प्रस्तुत शोध पत्र में लक्षित वर्गों (अनुसूचित जाति, अनु.जनजाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक एवं सफाई कामगार) के आर्थिक विकास में अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन किया गया है । प्रदेश एवं जिले में आर्थिक विकास की दृष्टि से इन वर्गों के विकास हेतु निगम द्वारा संचालित विभिन्न योजनाओं से संबंधित आकड़ों को दर्शाया गया है। विशेष रूप से इन वर्गों द्वारा अपनी इच्छानुसार चयनित व्यवसाय उद्योग के लिए प्रशिक्षण एवं वित्तीय सहायता उपलब्ध कराकर उन्हें आर्थिक रूप से आत्मनिर्भर बनाकर समाज की मुख्यधारा से जोड़ना एवं इनके स्वरोजगार के प्रति आकर्षित कर इनकी मानसिकता को विकसित करना है, इसके लिए निगम के माध्यम से ऋण सुविधा, ऋण वितरण, ऋण वसूली, वसूली के प्रतिशत को भी सारणी द्वारा प्रदर्शित कर विश्लेषण किया गया है तथा लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास में अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम कितना सफल रहा, इसका विश्लेषणात्मक अध्ययन किया गया।

प्रस्तावना :-

भारतीय समाज का इतिहास अत्यंत प्राचीन है, भारतीय समाज भी विश्व के अन्य देशों की संरचनाओं, संस्कृतियों से मौलिक रूप से आध्यात्मिक उद्देश्यों के कारण पृथक है। भारतीय सामाजिक संरचना का एक प्रमुख लक्षण यहाँ व्याप्त जाति व्यवस्था है, निम्न एवं कमजोर वर्ग द्वारा परम्परागत रूप से किये जाने वाले कार्य चाहे वह कितने ही उपयोगी क्यों न हो, उनको घृणा की दृष्टि से ही देखा जाता है। कमजोर वर्ग के लोग प्रतिभावान और अन्य कार्यों में दक्ष होने के बावजूद भी अपने पंसद का कार्य नहीं कर पाते थे, व्यवसायिक स्वतंत्रता के अभाव में योग्य, कुशल और चतुर होने के बाद भी यह समुदाय अपना आर्थिक विकास नहीं कर पाते थे, आजादी के बाद दलितों (लक्षित वर्गों) के उत्थान एवं आर्थिक विकास को लक्ष्य मानकर अनेक योजनाएं व कानून बनाये गए, जिससे की दलितों को सम्मान एवं न्याय मिल सकें।

लक्षित वर्गों के सम्पूर्ण विकास के लिए भारत सरकार तथा राज्य सरकार द्वारा विभिन्न उपक्रमों की स्थापना की गई, उनमें से एक छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित की स्थापना 30 अक्टूबर 2000 को की गई। इस निगम के द्वारा प्रदेश में निवासरत अनुसूचित जाति, अनुसूचित जनजाति, अन्य पिछड़ा वर्ग, अल्प संख्यक वर्ग तथा सफाई कामगार वर्ग को “लक्षित वर्ग” मानकर उनको आर्थिक एवं सामाजिक रूप से ऊपर उठाकर विकास की मुख्य धारा से जोड़कर सशक्त बनाने का लक्ष्य रखा गया है, आर्थिक विकास के लिए इन वर्गों के हितग्राहियों को उनके द्वारा चयनित व्यवसाय हेतु ऋण उपलब्ध कराया जाता है, जिनकी सहायता से इस वर्ग के हितग्राही अपना स्वयं का रोजगार प्रारंभ कर अपना आर्थिक एवं सामाजिक विकास कर अपने जीवन स्तर में सुधार कर सकते हैं।

लक्षित वर्गों की आय, जीवन स्तर एवं रोजगार की असमानता को कम करने के लिए सरकार ने रणनीति के रूप में नियोजित विकास को अपनाया है, इन वर्गों की विभिन्न समस्याओं को देखते हुए एवं इनके सामाजिक आर्थिक उत्थान के लिए राजनांदगांव जिले में कार्य कर रहे “छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित” पूरी सजगता पूर्वक कार्य कर रहा है, निगम द्वारा संचालित योजनाओं ने इन वर्गों को कैसे एवं कहा तक वित्तीय सहायता प्रदान कर आर्थिक रूप से सशक्त व स्वावलम्बी बनाया ताकि इनके आर्थिक विकास के लिए क्या –क्या कार्य किए हैं, इन सभी कार्यों का उनके आर्थिक विकास में क्या प्रभाव पड़ा, आदि का मूल्यांकन करने के लिए शोध विषय का चयन किया गया है।

शब्द सूची :-

लक्षित वर्ग, आर्थिक विकास, उत्थान, स्वावलंबी।

उद्देश्य :-

1. निगम की योजनाएं लक्षित वर्ग के आर्थिक, सामाजिक, शैक्षणिक विकास में कितनी सहायक रही, इसका विश्लेषण करना।
2. छत्तीसगढ़ राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की योजनाओं का लक्षित वर्गों के जीवन स्तर पर क्या प्रभाव रहा।
3. लक्षित वर्गों तक निगम की योजनाओं की जानकारी कैसे पहुंची तथा इनमें कितनी जागरूकता आयी, इसका अध्ययन करना।
4. निगम की योजनाओं का इन वर्गों के रोजगार पर पड़ने वाले प्रभाव का अध्ययन करना।
5. निगम की योजनाओं एवं कार्यक्रमों की समीक्षा करना तथा जागरूकता लाने में कहा तक निगम सफल रहा है।
6. योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों के सशक्तिकरण की स्थिति का मूल्यांकन करना।

परिकल्पना :-

प्रस्तावित शोध कार्य के संबंध में निम्न परिकल्पना की गई –

1. छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों की सामाजिक, आर्थिक स्थिति सुदृढ़ हुई है।
2. योजनाओं/कार्यक्रमों का लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास पर सकारात्मक प्रभाव रहा है।
3. निगम की विभिन्न योजनाओं का सुचारु रूप से क्रियान्वयन हो रहा है।

शोध प्रविधि :-

प्रस्तुत शोध अध्ययन छ.ग. राज्य के राजनांदगांव जिले के लक्षित वर्ग (अनु. जाति, अनु.जन. जाति, अन्य पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक सफाई कामगार) के आर्थिक विकास में छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन किया गया है, इसके लिए प्राथमिक तथा द्वितीयक समंको का प्रयोग किया गया है, प्राथमिक समंको के संकलन के लिए प्रत्यक्ष संपर्क कर अनुसूची एवं प्रश्नावली भरवायी गई है, इसके अलावा निगम से प्राप्त वार्षिक प्रतिवेदन जनगणना, प्रकाशन जिला सांख्यिकी पुस्तिका सांख्यिकी प्रकाशनो, रोजागार समंको से प्राप्त आकड़ों को द्वितीयक समंको के रूप में प्रयोग कर उनके सारणीयन एवं विश्लेषण, सांख्यिकी विधियों के आधार पर प्रतिशत, विकासदर, प्रवृत्तिमान का उपयोग तथ्यों की सार्थकता का प्रस्तुतीकरण किया गया है।

अध्ययन क्षेत्र एवं सीमाएं :-

प्रस्तुत अध्ययन हेतु राजनांदगांव जिला का चयन किया गया है, जिसमें निगम द्वारा संचालित आर्थिक विकास योजनाओं को लिया गया है। राजनांदगांव जिले के अंतर्गत 9 विकासखंड हैं – राजनांदगांव, डोंगरगांव, चौकी, छुरिया, मोहला, मानपुर, खैरागढ़, छुईखदान, डोंगरगढ़ आते हैं। राजनांदगांव जिला छ.ग. राज्य के पश्चिम भाग में स्थित राज्य का सबसे बड़ा जिला है। वर्तमान अध्ययन कार्यक्षेत्र राजनांदगांव जिला में संचालित निगम (विभाग) से प्राप्त सूची के आधार पर लगभग 10 प्रतिशत हितग्राहियों का चयन कर इन्हे अध्ययन की ईकाई के रूप में सम्मिलित किया गया है, जिसमें अनु. जाति, अनु.जन जाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक, सफाई कामगार वर्ग के हितग्राहियों को शामिल किया गया है। शोध प्रबंध के अध्ययन की अवधि का निर्धारण भी करना एक व्यवहारिक समस्या है। अतः उपलब्ध योजनाओं का अध्ययन उन आकड़ों की उपलब्धता के आधार पर अलग-अलग समयावधि पर किया गया है।

राजनांदगांव जिले का परिचय एवं भौगोलिक स्थिति :-

मध्यप्रदेश के तत्कालिक मुख्यमंत्री श्री प्रकाशचंद सेठी ने अविभाजित दुर्ग जिले से राजनांदगांव को जिला बनाने की घोषणा 26 जनवरी 1973 को किया, तब से यह जिला अस्तित्व में आया है, राजनांदगांव जिला छत्तीसगढ़ के अंचल में स्थित पश्चिम भाग में स्थित छ.ग. राज्य का सबसे बड़ा जिला जो वर्तमान में दुर्ग संभाग के अंतर्गत आता है। 1973 में कुल भौगोलिक क्षेत्रफल 11127 वर्ग किमी था। वर्तमान में कुल भौगोलिक क्षेत्रफल 8022.5 वर्ग किमी है। जिले का विस्तार 20°70' से 22°29' उत्तरी अक्षांश तथा 80°23' से 81°29' पूर्वी देशांतर के मध्य है, समुद्रतल से औसत ऊँचाई 330°78 मीटर इसकी उत्तर से दक्षिण लम्बाई 148.4 कि.मी. तथा पूर्व पश्चिम लम्बाई 89 कि.मी. है। जिले की कुल जनसंख्या 2001 के अनुसार 1283224 थी, जो बढ़कर 2011 में 1537133 हो गई, इसी प्रकार जिले के अधिकांश तहसीलों में जनसंख्या वृद्धि हुई है, वर्ष 2011 की जनगणना के अनुसार सर्वाधिक जनसंख्या राजनांदगांव तहसील में तथा सबसे कम मोहला तहसील में दर्ज की गई है।

छ.ग. अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम का परिचय कार्य एवं उद्देश्य :-

भारत सरकार द्वारा संविधान में उल्लेखित अनुच्छेदों के तहत घोषित अनु.जाति, अनु.जन.जाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक एवं सफाई कामगारों (लक्षित वर्ग) के लोगों को स्वरोजगार एवं वित्तीय सहायता प्रदान करने के उद्देश्य से छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम का गठन म.प्र. सहकारी सोसायटी (पुनर्गठन एवं निर्माण) अध्यादेश क्रमांक 04 सन् 2000 के अंतर्गत दिनांक 30.10.2000 को किया गया छ.ग. में कुल आबादी 32% अनुसूचित जनजाति एवं 13% अनुसूचित जाति वर्ग का है, इन दोनों को विशेष ध्यान में रखते हुए इनके आर्थिक विकास एवं गरीबी रेखा से नीचे के अंतिम छोर के व्यक्ति को वित्तीय सहायता दिलाकर स्वालम्बी बनाने के उद्देश्य पर निगम छ.ग. प्रदेश एवं राजनांदगांव जिले में विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन कर रहा है। इसके अतिरिक्त पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक वर्ग, सफाई कामगारों की मुक्ति एवं पुर्नबास के लिए आर्थिक मूलक योजनाओं के दायित्व का निर्वहन निगम कर रहा है। बेरोजगार युवकों में व्यवसायिक मानसिकता विकसित करने के उद्देश्य से व्यवसाय पूर्व प्रशिक्षण देने के लिए उद्यमी विकास संस्थान एवं प्रशिक्षण सह-उत्पाद केन्द्र का विलय छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित में किया गया है।

लक्षित वर्ग समूह – छ.ग. राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम द्वारा लक्षित वर्ग समूह वर्ग समूह के अंतर्गत अनु. जाति, अनुसूचित जनजाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक वर्ग एवं सफाई कामगार वर्ग को शामिल किया गया है, इन वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास हेतु विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन निगम कर रहा है।

अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की लक्षित वर्गों के लिए जिले में संचालित विभिन्न योजनाओं एवं उनका क्रियान्वयन बाबद— राजनांदगांव जिले में लक्षित वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास को ध्यान में रखते हुए छ.ग. अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित राष्ट्रीय वित्त पोषक निगमों के सहयोग से अलग-अलग वर्गों के हितार्थ संचालित विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन सफलतापूर्वक कर रहा है, राष्ट्रीय वित्त पोषक निगमों में प्रमुख (1) राष्ट्रीय अनुसूचित जाति वित्त एवं विकास निगम (2) राष्ट्रीय अनुसूचित जनजाति वित्त एवं विकास निगम (3) राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग वित्त एवं विकास निगम (4) राष्ट्रीय अल्प संख्यक वित्त एवं विकास निगम (5) राष्ट्रीय सफाई कामगार वित्त एवं विकास निगम है, इन लक्षित वर्गों के लिए संचालित योजनाएँ निम्नानुसार हैं—

- 1. अनुसूचित जाति –** अनुसूचित जाति वर्ग के हितग्राहियों को आर्थिक रूप से सशक्त करने हेतु संचालित योजनाएँ (1) महिला समृद्धि योजना (2) माइक्रो क्रेडिट योजना (3) ट्रेक्टर ड्राली योजना (4) स्माल बिजनेस योजना (5) गुड्स कैरियर योजना (6) पेसेन्जर व्हीकल योजना (7) शिक्षा ऋण योजना (8) लघु व्यवसाय योजना
- 2. अनुसूचित जनजाति –** अनुसूचित जनजाति वर्ग के लिये संचालित योजनाएँ (1) ट्रेक्टर ड्राली योजना (2) गुड्स कैरियर योजना (3) पेसेन्जर व्हीकल योजना (4) आदिवासी महिला सशक्तिकरण योजना (5) स्माल बिजनेस योजना (6) शिक्षा ऋण योजना
- 3. राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग—** राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग के लिए संचालित योजनाएँ (1) टर्म लोन योजना (2) माइक्रो क्रेडिट योजना (3) जनरल लोन योजना (4) नई स्वर्णिम योजना (5) आकांक्षा शैक्षिक ऋण योजना (6) महिला समृद्धि योजना
- 4. अल्पसंख्यक वर्ग—** अल्पसंख्यक वर्ग के लिए संचालित योजनाएँ (1) टर्म लोन योजना (2) शैक्षिक ऋण योजना (3) लघु वित्त (माइक्रो फायनेन्स) योजना (4) महिला समृद्धि योजना (5) व्यक्ति मूलक बड़ी ऋण योजना
- 5. सफाई कामगार वर्ग—** सफाई कामगार वर्ग के लिए योजनाएँ (1) व्यक्ति मूलक योजना (2) आटो शिक्षा योजना (3) स्वच्छता से संबंधित वाहन योजना (4) सेनेटरी मार्ट योजना (5) महिला समृद्धि योजना (6) माइक्रो क्रेडिट योजना (7) महिला अधिकारिकता योजना आदि का क्रियान्वयन निगम द्वारा किया जा रहा है। जिला अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित राजनांदगांव द्वारा वर्ष 2000 से 2016 तक वर्गवार योजनाओं में वितरित राशि के आंकड़े निम्न तालिका अनुसार हैं—

वर्गवार योजनाओं के आंकड़े (वर्ष 2000 से जून 2016 तक) राशि लाख रुपये में

क्रमांक	विवरण	वितरित राशि	वसूल की गई राशि	बकाया राशि	वसूली का प्रतिशत
01	अनुसूचित जाति वर्ग	32767840	18598430	14169410	56.75%
02	अनुसूचित जनजाति वर्ग	50337405	25650839	24686566	50.95%
03	पिछड़ा वर्ग	7304968	3823932	3481036	52.35%
04	अल्पसंख्यक वर्ग	5003145	1515493	3487653	30.29%
05	सफाई कामगार वर्ग	12851766	2256663	10596103	17.55%
योग –		108265124	51844357	5642767	47.88%

स्त्रोत – अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम राजनांदगांव (छ.ग.)

उपरोक्त तालिका से स्पष्ट है कि जिला अंत्यावसायी वित्त विकास निगम राजनांदगांव द्वारा जिले में लक्षित वर्गों को आर्थिक एवं सामाजिक विकास की दृष्टि से विभिन्न योजनाओं के माध्यम से आर्थिक सहायता उपलब्ध कराई गई जिससे अनुसूचित जाति, अनुसूचित जनजाति, पिछड़ा वर्ग का वसूली प्रतिशत क्रमशः 56.75%, 50.95%, 52.35%, है जो अन्य वर्गों की तुलना में सर्वाधिक है, इसका कारण इन वर्गों का शिक्षित एवं जागरूक होना दर्शाता है वहीं अल्पसंख्यक तथा सफाई कामगारों क्रमशः 30.29 एवं 17.55 % रहा है। ऋण का प्रतिशत कम होने से जिले में निगम की राशि विभिन्न राष्ट्रीय निगमों को समय पर वापस करने में कठिनाई होती है, जिले में कुल वसूली का प्रतिशत 47.88% है जो कि निगम द्वारा संचालित योजना के सफल क्रियान्वयन से सभी वर्गों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास संभव हो सका है।

समस्या एवं सुझाव –

लक्षित वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योजनाओं के क्रियान्वयन में जिला अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की महत्वपूर्ण भूमिका रही है, विषय के अध्ययन विश्लेषण के समय हमें कई चुनौतियों एवं कठिनाइयों का सामना करना पड़ा है, योजनाओं के क्रियान्वयन में हितग्राहियों की अशिक्षा, निष्ठा, प्रतिबद्धता, कर्मठता, इच्छा शक्ति तथा योजनाओं की सही जानकारी का हितग्राहियों तक सही समय एवं सही परिस्थितियों में नहीं पहुँच पाना तथा इसका ज्ञान न होना निर्धारित समय पर लक्ष्य की पूर्ति न होना वसूली का शत-प्रतिशत नहीं होना, वसूली में विलम्ब जैसी प्रमुख समस्या पायी गई है, निगम के कर्मचारी, अधिकारी का भी सहयोग एवं समन्वय का आभाव रहा है, निगम की योजनाएँ आर्थिक विकास अर्थात् ऋण वितरण से संबंधित होने के कारण वितरण प्रक्रिया में जटिलता से भी हितग्राही योजना का सही लाभ उठाने में असमर्थ रहे हैं, निगम की विभिन्न योजनाओं के क्रियान्वयन का लक्षित वर्गों के आर्थिक सामाजिक विकास पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा एवं उनकी स्थिति सुदृढ़ वसूली हो इसके लिए निम्नलिखित सुझाव प्रस्तुत है –

सुझाव –

1. हितग्राहियों को सरलता से ऋण उपलब्ध हो सके इसके लिए ऋण लेने की औपचारिकता को कम करने की आवश्यकता है।
2. निगम द्वारा ऋण वितरण, ऋण वसूली की प्रक्रिया को सरल बनाना चाहिए।
3. योजनाओं का व्यापक प्रचार-प्रसार किया जाना चाहिए जिससे कि हितग्राहियों द्वारा योजनाओं को अधिक लाभ उठाया जा सके।
4. ऋण पर ब्याज दर में कमी करना आवश्यक है ताकि हितग्राहियों को अधिक भार उठाना ना पड़े।
5. हितग्राहियों को प्रोत्साहन स्वरूप कुछ अतिरिक्त सुविधाएँ प्रदान करनी चाहिए।
6. आवेदकों के चयन प्रक्रिया पूर्ण रूप से पारदर्शी होनी चाहिए, जिससे योग्य, ईमानदार, परिश्रमी, लगनशील दृढ़ ईच्छाशक्ति एवं कर्मठ व्यक्ति का चयन हो ताकि ऋण की राशि का सही उपयोग हो सके।
7. निगम द्वारा योजनाओं के क्रियान्वयन की जवाबदेयता तय होनी चाहिए।
8. निगम की कुछ योजनाओं पर ब्याज मुक्त ऋण दिया जाए ताकि अधिक से अधिक हितग्राही आकर्षित हो सके।

निष्कर्ष –

वर्तमान समय में बेरोजगारी पूरे विश्व में प्याप्त है। अनु.जाति, जनजाति, पिछड़ा वर्ग एवं अल्प संख्यक एवं सफाई कामगारों ने बेरोजगारी की समस्या को समाप्त करने तथा इस वर्ग के हितग्राहियों को स्वरोजगार प्रदान करने के दृश्य से छ.ग. अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन कर रही है। निगम विभिन्न योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों को वित्तीय सहायता प्रदान कर रही है। इन योजनाओं का लक्षित वर्ग पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा है, साथ ही जिले के लक्षित वर्गों की सामाजिक, आर्थिक, शैक्षणिक स्थिति सुदृढ़ हुई साथ ही रोजगार, स्वरोजगार के अवसर उपलब्ध हुए। इन योजनाओं के क्रियान्वयन से लक्षित वर्गों के जीवन स्तर में सुधार आया है और वे विकास की मुख्यधारा से जुड़कर आर्थिक रूप से सक्षम बन रहे हैं। इन वर्गों के आर्थिक रूप से विकसित होने से समाज का, गांव का, जिले का, राज्य का एवं राष्ट्र का भी विकास हो रहा है।

संदर्भ सूची –

1. जिला अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम राजनांदगांव द्वारा प्रकाशित पुस्तिका।
2. मिनी माता स्वालम्बन योजना सफलता की कहानी 2012।
3. राष्ट्रीय अनुसूचित जाति, जनजाति वित्त एवं विकास निगम नई दिल्ली।
4. सफाई कामगार समुदाय खुदशाह संजीव रामकृष्ण प्रकाशन नई दिल्ली।
5. छ.ग. राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम रायपुर मार्गदर्शिका।
6. आदिवासी स्वरोजगार योजना मार्गदर्शिका।
7. जिला सांख्यिकी पुस्तिका 2014।
8. रिसर्च लिंक मार्च-2018।
9. डॉ. शांता शुक्ला, छत्तीसगढ़ सामाजिक आर्थिक इतिहास।
10. आदिवाल चंद्रमोहन आदिवासी हरिजन आर्थिक विकास, नारदन बुक सेंटर, इलाहाबाद।
11. जिला राजनांदगांव की विकास झलक – 2014

भारत में राजनीति का अपराधीकरण – कारण एवं निदान

डॉ.के.एल.टाण्डेकर, प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)
श्री दीपक कुमार परगनिहा, रजिस्ट्रार शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)
श्री अरुण कुमार चौधरी, क्रीडाधिकारी शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

शोध सारांश :-

वर्तमान राजनीति युग में विश्व का प्रत्येक देश अपने देश की राजनीति में अपराधीकरण को दूर करने हेतु प्रयत्नशील हैं, भारत की राजनीति अपने संक्रमण काल के दौर से गुजर रही है। भारतीय स्वतंत्रता आंदोलन के दौरान तात्कालीन राजनीतिज्ञों ने देश प्रेम, त्याग एवं समाज सेवा की एक मिशाल कायम की थी। प्रसिद्ध विधिवेत्ता एवं प्रख्यात राजनीति विचारक नाना पालखीवाला ने कहा कि मैं नहीं सोचता कि भारत वर्ष अपने पांच हजार वर्ष के इतिहास में कभी अधोगति की ऐसी स्थिति में पहुंचा होगा जिस स्थिति में वह आज पहुंच गई है। आज भारतीय राजनीति मूल्यों के संकट और नैतिकता के बाह्य स्थिति से गुजर रही है तथा इस स्थिति में देश में जो दैव्यकारी समस्याएं हैं, भारतीय राजनीति का अपराधीकरण भारतीय राजनीति में भ्रष्टाचार का बोलबाला भारतीय राजनीति में वंशवाद, जातिवाद, संप्रदायवाद, क्षेत्रवाद आदि का समावेश ऐसा नहीं है कि राजनीति में अपराधीकरण को रोकने के प्रयास नहीं किए गए। संसद एवं विधान मण्डल के द्वारा प्रस्ताव भी पास किए गए हैं, किंतु संसद और राज्य विधान सभाओं में सर्वसम्मिति से प्रस्ताव पारित कर देने मात्र से अपराधीकरण के बढ़ते हुए चरणों को रोक पाना संभव नहीं हो पाया है, इसके लिए ठोस राजनीति इच्छा शक्ति की आवश्यकता होगी। राजनीति खुद एक दिन भुक्त भोगी होकर अपराधी और माफिया के चंगुल से मुक्त होने के लिए छटपटाएगी।

प्रस्तावना :-

राजनीति अपराधीकरण आज के सार्वजनिक जीवन की एक महत्वपूर्ण समस्या है। राजनीति और अपराध का इतना गहरा संबंध कायम हो गया कि अपराधीकरण की स्थिति का पूर्णतया अंत संभव नहीं है, लेकिन इसे नियंत्रित करना भी जरूरी हो गया है, ताकि मानवता को इस दावानल से मुक्त किया जा सके, हमारे देश ने सैकड़ों वर्षों के पश्चात् 1947 में अंग्रेजी दासता से आजादी पाई थी। आजादी के समय देश के समस्त नेताओं ने गांधी जी के रामराज्य के स्वप्न को साकार करने का संकल्प किया था, परंतु वर्तमान में भारतीय राजनीति का अपराधीकरण तीव्र गति से बढ़ रहा है, इसे देखते हुए कोई भी कह सकता है कि हम अपने लक्ष्य से भटक चुके हैं। देश के समस्त नागरिक अपना आत्म आंकलन करें और प्रयास करें कि हम जो नैतिक मूल्य खो चुके हैं उन्हें हम पुनः आत्म साध करें। देश में सभी ओर कालाबाजारी, रिश्वतखोरी, भ्रष्टाचार, जमाखोरी, जातिवाद व साम्प्रदायिकता का जहर फैल रहा है। भारत की राजनीति में अपराधीक तत्वों का प्रवेश एक दिन में नहीं हुआ है, स्वतंत्रता के पश्चात् जिस तरह से कुर्सी के लिए जीतोड़ संघर्ष आरम्भ हुआ, सभी दल अपना वर्चस्व स्थापित करने के लिए साधनों की पवित्रता, गांधीवाद, दृष्टिकोण को नकारने लगे, उससे राजनीति एवं अपराध के गठजोड़ को बनाने में अग्रणी भूमिका निभाई। जातिवाद को मिटाने के नाम पर भी इसी प्रक्रिया को बढ़ावा मिला। आवश्यकता है बढ़ते हुए आपराधिक के कारणों को खोजने एवं उसके निदान ढूढ़ने की। सर्वप्रथम हम पाते हैं कि हमारे देश की चुनाव प्रक्रिया में सुधार की आवश्यकता है। हमारी भारतीय राजनीति में धन व शक्ति का बोलबाला है। एक आंकलन के अनुसार 90 प्रतिशत से अधिक हमारे नेतागण या तो अत्याधिक धनाढ्य परिवारों से होते हैं अथवा उनका संबंध अपराधिक तत्वों से होता है।

अवधारणा :-

भारत को सैकड़ों वर्ष के बाद 1947 को आजादी मिल पायी थी, आजादी के लिए समस्त नेताओं ने प्रयास किया था और सभी नेता एक संगठित राष्ट्र बनाना चाहते थे, जिसमें भ्रष्टाचार, कालाबाजारी, रिश्वतखोरी, जातिवाद, साम्प्रदायिकता, भाई भतीजावाद का जहर न फैले ऐसा राष्ट्र चाहते थे। वास्तविक अर्थ में राजनीतिक सामाजिक समस्याओं को हल करने की एक कला और विज्ञान है। समस्याएं जिन्हें केवल सामूहिक प्रयासों के माध्यम से हल किया जा सकता है, राजनीति व्यक्तियों की जरूरतों और प्रयासों को वितरित करने की विधि है, किंतु इसमें स्वार्थीपूर्ति हेतु उत्पन्न अपराधों जो जनता के लिए अनहित सिद्ध होते हैं, राजनीति अपराधीकरण कहलाते हैं। हम सभी सामाजिक प्राणी हैं और समाज का एक नियम होता है, जब कोई प्राणी या व्यक्ति ऐसा कृत्य करने लगे जो समाज के विरुद्ध है या समाज के हित में नहीं है, अपराध की श्रेणी में आता है चाहे वो दुष्कर्म, हत्या, चोरी गलत तरीके से धन कमाना ऐसी

बहुत सारे अपराध हैं और ऐसे लोग जो अपराधिक पृष्ठभूमि से जुड़ जाते हैं और राजनीति में प्रवेश करते हैं तो यही राजनीति में अपराधिकरण कहलाता है। अपराधीकरण शब्द राजनीति में अपराधियों की बढ़ती संख्या माफियाओं की बढ़ती संख्या तथा धनबल और बाहुबल का घोटक है। इस प्रकार के लोगो को राजनीति में लाने वाला है कौन, क्या राजनीति पार्टियां या हम हैं जो इन्हे वोट देते हैं। यह विडम्बना है कि जिस देश में महात्मा गांधी, चाणक्य जैसे राजनीतिक हुए हैं जिन्होंने अहिंसा, आस्तिकता, सत्य आदि सिद्धांतों पर जोर दिया, उसी देश में आज राजनीति का अपराधीकरण चिंता का विषय बना हुआ है।

राजनीति का अपराधीकरण :-

भारत में अपराधीकरण की जड़ें काफी गहरी व पुरानी हैं। प्राचीन भारत में राजतंत्र के अलावा गुटतंत्र एवं गणतंत्र का भी अस्तित्व रहा है, किंतु प्रधानता राजतंत्र की थी। राजतंत्र निरंकुश न हो इसलिए राजनीति पर धर्म का अंकुश था। प्राचीन भारतीय राजनीतिक चिंतन में राज्य की संकल्पना सदजीवन के स्रोत एवं साधन के रूप में की गई है, यह तभी संभव है जब राजनीति निर्मल व स्वच्छ हो। भारतीय राजनीति को अपराध और अराजकता से बचाने के लिए हमारे प्राचीन नीति शास्त्रों में यह व्यवस्था कर दी गई है कि यदि राजा अपराधोन्मुख हो जाये और प्रजा पर अत्याचार करने लगे तो प्रजा को राज्य का त्याग कर राजा का वध कर उसके अराजक आचरण से स्वयं को मुक्त करना चाहिए। वर्तमान समय में धूर्त, दुष्ट और बदमाश अधिकाधिक संख्या में राजनीति में प्रवेश ले रहे हैं, इसका कारण यह है कि राजनीति सबसे शीघ्र और सबसे अधिक लाभ पहुंचाने वाला व्यवसाय बन गया है और यह विचार भी बल पकड़ रहा है कि आपराधिक तौर तरीके को अपनाने में निपुण व्यक्ति के लिए अपराध और राजनीति को एक साथ अपनाकर सत्ता में एक के बाद दूसरी सफलता प्राप्त करना सरल होना, कल जो अपराधी थे वे अब राजनीतिज्ञ बन गये हैं। राजनीति में आने के बाद भी उनके अपराधिक संपर्क बने रहते हैं तथा आपराधिक तौर तरीके छोड़ नहीं पाते या वस्तुतः छोड़ना नहीं चाहते परिणामतया राजनीति का अपराधीकरण हो जाता है इसी तरह राजनीति में भ्रष्टाचार होने के परिणाम स्वरूप अत्यधिक अपराध होने लगे। सत्ताधारी राजनीतिक दल के लोग भाई भतीजावाद, जातिवाद और गुटबाजी को स्वार्थवश प्रोत्साहन देते हैं तो इससे अनैतिकता बढ़ती है। घूसखोरी एवं अवैधानिक तरीके से इनके द्वारा कार्य करवाया जाता है, ये राजनीति दलबंदी की चरम सीमा में फंसकर हत्याये करते और करवाते हैं। राजनीति के अपराधिकरण का अर्थ राजनीति में अपराधिक आरोपों का सामना कर रहे लोगों और अपराधियों की बढ़ती भागीदारी से है, सामान्य अर्थों में यह शब्द आपराधिक पृष्ठभूमि वाले लोगों का राजनेता और प्रतिनिधि के रूप में चुने जाने का घोटक है। वर्ष 1993 में बोहरा समिति की रिपोर्ट और वर्ष 2002 में संविधान के कामकाज की समीक्षा करने के लिए राष्ट्रीय आयोग (NCRWC) की रिपोर्ट ने पुष्टि की है, भारतीय राजनीति में गंभीर अपराधिक पृष्ठभूमि वाले व्यक्तियों की संख्या बढ़ रही है वर्तमान में ऐसी स्थिति बन गई है कि राजनीतिक दलों के मध्य इस बात की प्रतिस्पर्धा है कि किस दल में कितने उम्मीदवार आपराधिक पृष्ठभूमि के हैं क्योंकि इससे उनके चुनाव जीतने की संभावना बढ़ जाती है।

नेशनल इलेक्शन वांच और एसोसिएशन फार डेमोक्रेटिक रिफार्म में (ADR) द्वारा जारी रिपोर्ट के अनुसार जहां एक ओर वर्ष 2009 में गंभीर आपराधिक मामलों वाले सांसदों की संख्या 76 थी वहीं 2019 में बढ़कर 159 हो गई इस प्रकार 2009 से 2019 के बीच गंभीर आपराधिक पृष्ठभूमि वाले सांसदों की संख्या में कुल 109 प्रतिशत की बढ़ोत्तरी देखने को मिली। पिछले लोकसभा चुनावों के आंकड़ों पर गौर किया जाए तो स्थिति यह है कि आपराधिक प्रवृत्ति वाले सांसदों की संख्या में वृद्धि ही हुई है – उदाहरण के लिए 2004 में यह संख्या 128 थी जो 2009 में 162 तथा 2014 में 185 तथा 2019 में 233 हो गई। 2014 के लोकसभा चुनाव के आंकड़ों पर गौर करें तो जांच से पता चलता है कि 542 विजेताओं में 185 (34 प्रतिशत) विजयी उम्मीदवारों के विरुद्ध आपराधिक मामले दर्ज थे इन उम्मीदवारों में से 112 (21%) पर हत्या, हत्या के प्रभाव, साम्प्रदायिक विद्वेष, अपहरण महिलाओं के विरुद्ध अपराध इत्यादि जैसे गंभीर आपराधिक मामले दर्ज थे। चुनाव में एक आपराधिक पृष्ठभूमि वाले उम्मीदवार के विजयी होने की संभावना 13% थी, जबकि एक स्वच्छ छवि वाले उम्मीदवार के जीतने के अवसर मात्र 5 प्रतिशत थे। जब हम 2005 के चुनाव में लड़ने वाले उम्मीदवारों की अपराधिक गतिविधियों के संबंध में जानकारी प्राप्त करते हैं तो सर्वेक्षण से यह पता चलता है कि विभिन्न राजनीतिक दलों के उम्मीदवार तथा उनके विरुद्ध आपराधिक मामले और इन आपराधिक श्रेणी के उम्मीदवारों में से कितने प्रतिशत विजयी होते हैं उनका विवरण निम्न तालिका से पता चलता है :-

दल	उम्मीदवार	आपराधिक मामले	विजेता	प्रतिशत
राजदा	215	74	29	39.19
जनता दल (यू)	138	56	24	42.86
भाजपा	103	48	17	35.42

लोजपा	178	60	11	18.33
कांग्रेस	84	16	03	18.75
सी.पी.आई.	17	06	02	33.33
एन.सी.पी.	31	10	02	20
सी.पी.आई.(एम.एल.)	104	48	02	4.17
सी.पी.आई.(एम)	12	07	01	14.29

एडीआर और न्यू दो गैर सरकारी संगठनों के द्वारा एकत्रित की गई जानकारी अनुसार लोकसभा के कुल 543 सदस्यों में से 162 सदस्य के विरुद्ध आपराधिक मामले दर्ज हैं जो कुल संख्या का 30% है। 14% सदस्यों के खिलाफ गंभीर आपराधिक मामले हैं। इसी प्रकार देश की राज्य विधान सभाओं में विधायकों की कुल संख्या 4032 है जिनमें 1258 सदस्य आपराधिक मामलों में लिप्त हैं जो कि देश के कुल विधायकों की संख्या का 31% है। उक्त दोनों NGO ने सर्वेक्षण में यह भी पाया कि 2009 की लोकसभा में विजयी 543 सदस्यों में से 450 ऐसे सदस्य हैं जो विभिन्न आपराधिक मामलों में लिप्त हैं।

देश के 5 राज्यों उ.प्र., पंजाब, उत्तराखण्ड, गोवा, मणिपुर में विभिन्न चरणों में मतदान प्रक्रिया अंतिम चरणों में पहुंच चुकी है। इन 5 राज्यों के विधानसभा चुनाव में दागी प्रत्याशियों के संबंध में एसोसिएशन फार डेमोक्रेटिक रिफार्मस (ADR) ने उन पांचों चुनावी राज्यों के कुल प्रत्याशियों की एक संयुक्त रिपोर्ट जारी की, जिसके मुताबिक पांचों राज्यों में चुनाव लड़ रहे कुल 6874 प्रत्याशियों में 1694 ऐसे हैं जिन पर अपराधिक मुकदमें दर्ज हैं तथा 1262 प्रत्याशियों पर गंभीर आरोप लगे हैं। सर्वेक्षण से यह भी ज्ञात हुआ कि उ.प्र. व गोवा में सर्वाधिक 26 प्रतिशत दागियों को प्रत्याशी बनाया गया है। यदि पार्टियों की बात करें तो शिरोमणी अकाली दल ने पंजाब में सबसे ज्यादा 68 प्रतिशत दागी उम्मीदवार को टिकट दिया। इस मामले में शिरोमणी अकाली दल सबसे आगे हैं। वहीं सपा 56 प्रतिशत, आरजेडी 51 प्रतिशत क्रमशः दूसरे एवं तीसरे स्थान तथा भाजपा 38 प्रतिशत दागियों के साथ चौथे नंबर पर है। इसी प्रकार दुष्कर्म एवं हत्या के आरोपियों को भी उत्तरप्रदेश चुनाव में टिकट देकर प्रत्याशी बनाया गया है। अकेले उत्तरप्रदेश में ही 37 प्रत्याशी पर हत्या का केस दर्ज है जबकि 159 पर हत्या के प्रयास का मामला चल रहा है। 69 प्रत्याशियों पर महिलाओं से जुड़े अपराध में शामिल होना का आरोप है। यह स्थिति निश्चित ही देश की स्वच्छ राजनीतिक परिवेश के लिए घातक है। समाज का प्रत्येक तबका यही चाहता है कि इस तरीके की आपराधिक गतिविधियों से समाज को मुक्त करने के लिए ठोस कानून बनाया जाना चाहिए।

राजनीति में अपराधिकरण के कारण :- भारत में राजनीति के बढ़ते अपराधीकरण के लिए अनेक कारण जिम्मेदार हैं, जैसे भारतीय राजनीति में बाहुबल का प्रभाव दीर्घकाल से राजनीतिक जीवन में एक महत्वपूर्ण तथ्य बना हुआ है। अनेक राजनेताओं द्वारा अपने वोट बैंक में वृद्धि के लिए अपराधियों के बाहुबल का उपयोग किया जाता है ये बाहुबल चुनावी गतिविधियों में अपना प्रभुत्व कायम रखने धनबल उपलब्ध कराते हैं, मतदाता भी सामान्यतः उम्मीदवार के इतिहास, उनकी योग्यता तथा चरित्रिक की जानकारी न रखते हुए उनके विरुद्ध लंबित आपराधिक मामले के प्रति भी जागरूक नहीं होते। देश की न्याय व्यवस्था की दुर्बलता ने भी अपराध को बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है। राजनीतिक दलों की गतिविधियों पर अंकुश लगाने, राष्ट्रीय एवं क्षेत्रीय दलों के मामलों में निर्धारित मापदण्डों का पालन न करने पर उनकी मान्यता रद्द करने का भी व्यापक अभाव विधान में है। राजनीतिक दलों को मिलने वाले दान, सहयोग अनुदान की राशि का कोई लेखा जोखा भी कभी निरीक्षण के लिए उपलब्ध नहीं कराया जाता। राजनीतिक दलों में आंतरिक लोकतंत्र नियमित दलीय चुनाव, दलों में कार्यकर्ताओं की नियुक्ति, समाजीकरण, विकास और प्रशिक्षण अनुसंधान, चिंतन एवं नीति नियोजन जैसी गतिविधियों का भी अभाव प्रमुख कारण माना जा सकता है।

भारतीय राजनीति में बढ़ते अपराधीकरण का कारण विश्व के सबसे बड़े लोकतंत्र जिसमें आज भी अपराधियों का दबदबा होना, चुनाव में नेताओं द्वारा माफियाओं का सहारा लेना उन लोगों को टिकिट देना जिनका अतीत जुर्म की दुनिया से तालुकात रखता है, ऐसे अनेकों उदाहरण आज हमारे सामने हैं। यदि ऐसी पृष्ठ भूमि के लोग चुनकर लोकसभा विधानसभा में जायेंगे तो निश्चित तौर पर भ्रष्टाचार एवं अपराधीकरण को बल मिलेगा। लोकतंत्र में सर्वोच्च सत्ता जनता है वही राज नेताओं को संसद तक पहुंचने की शक्ति देती है अर्थात् राजनीति की शक्ति जनता में निहित है। अपराधीकरण का इतिहास रहा है कि इन्होंने स्वयं को जिम्मेदार बताने की बजाए आरोप का सहारा लिया। राजनेता इसका जिम्मेदार जनता को मानते हैं। जनता ऐसे राजनेताओं व उनकी पार्टियों को धन व अपराध के बल पर चुनाव

जिताने वाले नेताओं को जनता ही सरकार में पहुंचाने का अवसर देती है। राजनीति में माहिर ये खिलाड़ी स्वयं पर आंच न आने देते हुए सफेद पोश का सहारा लेकर अपने असली रूप को छिपा देते हैं, बाहर से जनता के सेवक व इनका दुष्चरित्र भीतर ही भीतर राजनीति में अपराध को जन्म देता है राजनीति में अपराधिकरण को बढ़ावा

देने के निम्नलिखित प्रमुख कारण है :-

- (1.) राष्ट्रीय चरित्र का पतन
- (2.) राष्ट्रीयता की भावना का अभाव
- (3.) गरीबी, अशिक्षा
- (4.) बेरोजगारी
- (5.) पुलिस राजनीतिज्ञों नौकरशाहों व अपराधियों के मध्य सांठ गांठ का होना
- (6.) बाहरी तत्वों का चुनावी राजनीति पर प्रभाव
- (7.) न्यायिक प्रणाली का दोषपूर्ण होना
- (8.) कानून को प्रभावी तरीके से लागू न करना
- (9.) जनता द्वारा अपराधिक प्रवृत्ति के नेताओं को स्वीकार करना
- (10.) धनबल
- (11.) बाहुबल
- (12.) भौतिकतावादी प्रवृत्ति
- (13.) राजनीतिक दलों में सत्ता प्राप्ति का लालसा
- (14.) दोषपूर्ण निर्वचन प्रणाली का होना
- (15.) शासन की क्षमता एवं गुणवत्ता में गिरावट
- (16.) निष्पक्ष ईमानदार व राष्ट्रहितो के प्रति समर्पित नेतृत्व का अभाव

भारत में राजनीति में अपराधीकरण को बढ़ावा देने में नागरिक समाज का भी बराबर का योगदान रहा है। अक्सर जनता अपराधियों के धन और बाहुबल से प्रभावित होकर बिना जांच किये ही उन्हें वोट दे देता है।

राजनीति में अपराधीकरण का प्रभाव :-

देश की राजनीति और कानून का निर्माण प्रक्रिया में अपराधिक पृष्ठभूमि वाले लोगों की उपस्थिति का लोकतंत्र की गुणवत्ता पर नकारात्मक प्रभाव पड़ता है। अपराधीकरण से चुनाव प्रक्रिया में कालेधन का प्रयोग काफी अधिक बढ़ जाता है, इसके अतिरिक्त देश की न्यायिक प्रक्रिया पर भी विपरीत प्रभाव देखने को मिलता है। अपराधियों के विरुद्ध जांच एवं कानूनी प्रक्रिया की गति धीमी हो जाती है, ऐसे अपराधिक प्रवृत्ति के राजनीतिक सार्वजनिक जीवन में भ्रष्टाचार को बढ़ावा देते हैं, जिससे नौकरशाही, कार्यपालिका, विधायिका तथा न्याय पालिका सहित अनेक संस्थाओं की निष्पक्ष कार्य प्रणाली भी प्रभावित हो रही है। समाज में हिंसा की संस्कृति को प्रोत्साहन मिलता है, यह स्थिति भावी जन प्रतिनिधियों के लिए भी एक गलत परम्परा प्रस्तुत करता है।

राजनीति में अपराधीकरण रोकने के उपाय एवं सुझाव :-

भारतीय राजनीति से अपराधीकरण को दूर करने हेतु यद्यपि सरकार द्वारा अनेक कार्य किए जाते रहे हैं किंतु इसमें आशातीत सफलता नहीं मिल पाई। चुनाव आयोग एवं अन्य संवैधानिक व कानूनी उपाय होने के बावजूद आज भारतीय राजनीति में अपराधीकरण बढ़ते ही जा रहा है इसका प्रमुख कारण कुर्सी की राजनीति, जाति की राजनीति एवं आर्थिक उपार्जन की राजनीति प्रमुख है। भारतीय राजनीति से अपराधीकरण को दूर करने हेतु प्रमुख सुझाव/उपाय इस प्रकार हैं :-

1. सरकार के द्वारा बनाई गई कानूनों का कठोरता से पालन किया जाये।
2. भारतीय राजनीति में युवाओं का प्रवेशीकरण प्रशिक्षणीय तरीके से किया जावे।
3. राजनैतिक नेतृत्व के लिए शिक्षा को भी अनिवार्य योग्यता के रूप में लागू किया जाये।
4. चुनाव आयोग द्वारा कठोरता पूर्वक चुनावी नीति एवं कानून को लागू किया जाना आवश्यक होगा।
5. जन जागरुकता लाई जाए ताकि राजनीति के उद्देश्य व जरूरत को सामान्यजन भी जान सके।

6. नौकरशाही को सुप्रभावी बनाया जाये ताकि सरकार के प्रमुख पदों पर योग्य व्यक्ति नियुक्त हो सके।
7. धनबल के उपयोग को पूर्णता प्रतिबंधित किया जाये तथा चुनाव प्रचार प्रणाली को भी बदला जाये।

भारतीय राजनीति में बढ़ते अपराधीकरण को रोकने की आवश्यकता है इसके लिए अपराधिक कानून में संशोधन किये जाने की आवश्यकता है, जिससे कानून व्यवस्था को और भी अधिक कठोर बनाकर अपराधिक पृष्ठभूमि के लोगो के चुनाव लड़ने पर प्रतिबंध लगाया जाना आवश्यक है, ताकि कोई व्यक्ति किसी न्यायालय से एक बार दंडित हो जाने के बाद चुनाव लड़ने के अयोग्य घोषित कर दिया जाए। इसके साथ-साथ जनता की जागरूकता भी जरूरी है जिससे अपराधिक छवि के लोग न चुने, इसके लिए भी जमीनी स्तर से अर्थात् निचले स्तर से प्रयास किया जाना चाहिए, आवश्यक है कि राजनीति में अपराधियों की बढ़ती संख्या पर रोक लगाने के लिए कानूनी ढांचे को मजबूत किया जाए, राजनीतिक दलों को अपना नैतिक दायित्व निभाते हुए गंभीर अपराध में दोषी ठहराए गए लोगों को दल में शामिल करने और उन्हें चुनाव लड़वाने से बचना चाहिए तथा जनप्रतिनिधियों के खिलाफ मामलों में त्वरित निराकरण हेतु सर्वोच्च न्यायालय द्वारा विशेष अदालतों का गठन किया जाए ताकि अपराधिक मामलो का निराकरण में विलंब न हो सके।

निष्कर्ष:-

निष्कर्ष रूप में हम कह सकते हैं कि भारत में राजनीति के अपराधीकरण एवं भ्रष्टाचार लोकतंत्र की जड़ों पर कूटाराघात कर रहा है। समय की मांग को देखते हुए आवश्यकता इस बात की है कि भारत में राजनीतिक अपराधियों से संबंधित मामलों पर शीघ्रता से विचार किया जाना चाहिए इसके लिए महत्वपूर्ण संगठनों के तत्वावधान में प्रबुद्ध राष्ट्रभक्त राजनीतिज्ञों, बुद्धिजीवियों, दार्शनिकों शिक्षाविदों, न्यायविदों, के न्यायशास्त्रियों और पत्रकारों आदि को आमंत्रित कर इस पर खुला विचार विमर्श किया जाए ताकि एक सुनिश्चित निष्कर्ष पर पहुंचा जा सके। यदि अभी भी सभी राजनेता अपनी नैतिकता और कर्तव्यों को समझें और अमल में लाने की कोशिश करें तो इस राजनीतिक अपराधीकरण को दल-दल से बाहर निकाला जा सकता है। यही स्थिति देश की राजनीति, अपराधीकरण की प्रवृत्ति से दूर साफ-सुथरी स्वच्छ प्रभावोत्पादक, विश्वसनीय एवं राष्ट्रीय जीवन को उन्नतशील बनाने वाली होगी।

संदर्भ सूची :-

1. A.S. Narang Democracy Development and Distortion.
2. Upendra Bakshi and Bhikhu Parikh – Crisis and change in contemporary India.
3. कल्याणी केशरवानी का आलेख रायगढ़ संदेश।
4. म.प्र. के स्वतंत्रता संग्राम सैनिक खण्ड 3 भाषा संचालनालय संस्कृत विभाग, म.प्र.।
5. डॉ. राम आहूजा – अपराधशास्त्र मिनाक्षी प्रकाशन, मेरठ।
6. अंतर्राष्ट्रीय राजनीति के समकालीन मुद्दे साहित्य भवन पब्लिकेशन, आगरा।
7. बाजपेयी डॉ. सुषमा छ.ग. में राजनैतिक समाजीकरण छ.ग. की राजनैतिक, सामाजिक, आर्थिक व्यवस्था विश्वास नगर, नई दिल्ली।
8. राष्ट्रीय शोध संगोष्ठी (संक्षेपिका 2019) – भारत में राजनीतिक अपराधीकरण स्वरूप एवं निदान।
9. पत्रिका 2014
10. म.प्र. संदेश 1984
11. Dr. B.L. Phadia – Western Political Thought
12. दैनिक भास्कर समाचार पत्र, रायपुर।

सोशल मीडिया का समाज के विभिन्न वर्गों पर मनोवैज्ञानिक प्रभाव

डॉ.के.एल.टाण्डेकर, प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

डॉ.एस.के. उके, सहायक प्राध्यापक, वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

शोध सारांश :-

21वीं सदी में सामाजिक परिवर्तन का दौर निरंतर चल रहा है हम सभी जानते हैं कि सोशल मीडिया ने किस तरह समाज के सभी वर्गों तक अपनी पहुंच बना ली है, प्रिंट मीडिया और इलेक्ट्रॉनिक मीडिया का जो एकाधिकार जन मानस के बीच था वह कुछ खास शैक्षिक व पेशागत वर्ग तक तो सीमित था ही साथ ही सभी वर्गों पर सोशल मीडिया का सकारात्मक और नकारात्मक अभाव देखने को मिलता है। व्हाट्सअप, फेसबुक, ट्वीटर, इन्स्टाग्राम एवं शेयर चैट ऐसे और भी कई प्रकार के सोशल साइट हैं, जिनका उपयोग दिन प्रतिदिन बढ़ता जा रहा है, विशेषकर युवा वर्ग जो देश के भविष्य निर्माता हैं जो आगे चलकर देश का नेतृत्व करेंगे, लेकिन इन सोशल मीडिया के कारण उनकी योग्यता, समताओं का विकास भी अवरुद्ध होता जा रहा है। सोशल मीडिया समाज के सभी वर्गों में महत्वपूर्ण स्थान रखता है इसलिए इसका प्रयोग सही तरीके से करना होगा जिससे कि मानव समुदाय वास्तविक विकास कर सके।

प्रस्तावना :-

मानव एक सामाजिक प्राणी है, मानव की संवेदनाएं जब संवेदनहीन होती है तब सोशल मीडिया के बढ़ते चरण कि एक सीढ़ी नीचे गिरते हुए प्रतीत होती है, समाज के सभी वर्गों के जीवन काल में मीडिया, नेटवर्किंग साइट्स का निरंतर असीमित उपयोग हो रहा है, विज्ञान की प्रगति ने आम मानव जीवन को भौतिकता, विलासिता एवं आधुनिकतम सुख सुविधाओं से संपन्न कर दिया है, सोशल मीडिया ने समाज के सभी वर्गों पर नकारात्मक उदाहरण प्रस्तुत किया है, वहीं तकनीकी गुणवत्ता तो बढ़ी है, परंतु मनोवैज्ञानिक समस्याओं में बढ़ोत्तरी भी देखी जा रही है, वर्तमान समय में सामाजिक मीडिया के अंतर्गत इंटरनेट, फेसबुक, व्हाट्सअप, चित्र चल चित्र इत्यादि वर्तमान में करीब 80 प्रतिशत किशोर विद्यार्थियों पर मनोवैज्ञानिकरूप से समस्याएं भी देखने को मिली है, उधर आधुनिकता के इस दौर में सूचना प्रौद्योगिकी के विकास ने मानव जीवन को सरल, सभ्य, आरामदायक एवं मनोरंजनात्मक बनाकर मानवीय संबंधों का एक नया आयाम पैदा किया है, वर्तमान युग में सामाजिक संरचना की समस्त मानवीय इकाइयां बच्चे, युवा, महिलाएं, बुजुर्ग कोई भी सोशल मीडिया से अछूते नहीं है।

भारतीय स्तर पर देखा जाये तो देश की एक अरब 30 करोड़ जनसंख्या में लगभग 15 करोड़ लोग सोशल मीडिया पर सक्रिय है, इसके माध्यम से जहां एक ओर उपयोगकर्ता, किसी प्रकार के फोटो, वीडियो, संदेश यहां तक अपने विचार को भी कुछ ही सेकेण्ड में देश और दुनिया के किसी भी स्थान पर बैठे अपने दोस्तों, परिचितों से शेयर कर सकते हैं यद्यपि सोशल मीडिया के सूचना क्रान्ति ने वैश्विक भौगोलिक दूरी को कम किया है तथापि एक सर्वे के अनुसार 74 स्मार्ट फोन यूजर्स हाल में अपना मोबाइल लिए ही सो जाते हैं (के.आर.सी. रिसर्च) 6 घंटे तक मोबाइल पर बिता रहे हैं, देश के 40 स्मार्टफोन यूजर्स 150 बार दिन में फोन चेक करते हैं 6 मिनट में एक बार (आई.सी.एस.एस.आर. के अनुसार) रिसर्च के आधार पर कहा जा सकता है कि व्यक्तियों के परिवार से बाहर अन्य व्यक्तियों से मीडिया के माध्यम से संबंध तो है किंतु परिवार के अंदर ही पारिवारिक सदस्य के बीच मानवीय संबंध कम हुए हैं। आज भारत में 70 करोड़ लोगों के पास फोन है जिसमें से 25 करोड़ लोग स्मार्टफोन का इस्तेमाल करते हैं, इन 25 करोड़ लोगों में से 15 करोड़ लोग सोशल मीडिया पर सक्रिय हैं।

अवधारणा :-

सोशल मीडिया का मतलब है कि सोशल कम्युनिकेशन के द्वारा लोगों के साथ आपस में जुड़ना ये ठीक फिजिकल नेटवर्क की तरह ही है, बस ये नेटवर्क ऑनलाइन होता है, इसलिए लोग आपस में बातचीत करने के लिए संपर्क बढ़ाने के लिए या अपने पसंदीदा चीजों और इन्फार्मेशन के आदान प्रदान के लिए सोशल मीडिया का इस्तेमाल करते हैं, बहुत बार यह पाया गया है कि हमारे बहुत से दोस्त और रिस्तेदार हमारे पास नहीं रहते और कुछ विदेश में रहते हैं, इसलिए उनके साथ बातचीत करना और फंडशिप मेंटेन करने से सोशल मीडिया हमारा बहुत काम करता है सोशल मीडिया का मकसद लोगों को एक दूसरे से जोड़ने के साथ ही संचार माध्यम को मजबूती देना है और इस मकसद में सोशल मीडिया को सफलता भी मिली है, लेकिन साथ ही इसने सामाजिक संबंधों को भी प्रभावित किया है,

सोशल मीडिया ने लोगो के संबंधों में दखल देना शुरू कर दिया है। जब आपका जीवन साथी सोशल मीडिया पर समय बिताता है तो आपकी भावनाओं को ठेस पहुंचती है ऐसे में आप खुद को उपेक्षित महसूस करते हैं।

सोशल मीडिया (Social Media) एक ऐसा मीडिया है, जो बाकि सारे मीडिया (प्रिंट इलेक्ट्रॉनिक और समानांतर मीडिया) से अलग है सोशल मीडिया इंटरनेट के माध्यम से एक वर्चुअल वर्ल्ड (फेसबुक, ट्विटर, इंस्टाग्राम) आदि का उपयोग कर पहुंच बना सकता है। आज के दौर में सोशल मीडिया जिंदगी का एक अहम हिस्सा बन चुका है जिसके बहुत सारे फीचर हैं, जैसे कि सूचनाएं प्रदान करना, मनोरंजन करना और शिक्षित करना मुख्य है, सोशल मीडिया एक अपरम्परागत मीडिया है जिसे इंटरनेट के माध्यम से पहुंच बना सकते हैं, यह द्रुतगति से सूचनाओं के आदान प्रदान करने जिसमें हर क्षेत्र की खबरें होती हैं को समाहित किए होता है।

समाज के विभिन्न वर्गों पर प्रभाव :-

आज के समय में सोशल मीडिया पर लगभग हर उम्र के एवं हर वर्ग के लोग सक्रिय रहते हैं, खासकर युवा पीढ़ी आज के दौर को सोशल मीडिया का युग कहना कोई अतिशयोक्ति नहीं होगा, क्योंकि सूचना एवं ज्ञान का आदान प्रदान करने का सबसे सशक्त साधन है जिसके माध्यम से शिक्षा, चिकित्सा, व्यापार एवं मनोरंजन के क्षेत्र में आसानी हो रही है, जिस तरह एक सिक्के के दो पहलू होते हैं उसी प्रकार सोशल मीडिया के भी दो पहलू हैं, लाभदायक एवं नुकसान दायक आज हम बात करते हैं सोशल मीडिया के समाज के सभी वर्गों पर पड़ने वाले सकारात्मक एवं नकारात्मक प्रभाव की, मौजूदा समय में इसके नकारात्मक प्रभाव अधिक देखने को मिलते हैं, जिसके पास स्मार्टफोन, टेबलेट, लेपटॉप है वह सोशल मीडिया का उपयोग अवश्य करते हैं वैसे यह मनोरंजन का भी अच्छा साधन बन गया है, सोशल मीडिया का विभिन्न वर्गों पर पड़ने वाले प्रभाव निम्नानुसार है :-

(1) युवा पीढ़ी पर प्रभाव :-

आज के इस सूचना प्रौद्योगिकी युग में सोशल मीडिया का सबसे अधिक उपयोग का प्रचलन, युवा पीढ़ी में देखने को मिलता है, जिसके कारण कई नकारात्मक प्रभाव सामने आ रहे हैं। सोशल मीडिया जहां मनोरंजन का अच्छा साधन है लेकिन युवा पीढ़ी अपने बहुमूल्य समय का उपयोग अपने कैरियर संवारने के लिए न कर इसमें खोते जा रहे हैं। इसके उपयोग से युवा पीढ़ी में नकारात्मक सोच तो बढ़ेगी साथ ही रोजगार की उपलब्ध से जीवन स्तर में भी काफी परिवर्तन हो सकता है, इसके विपरीत इसके उपयोग से लोग अपनों से दूर होते जा रहे हैं, युवाओं में उदासी, तनाव, अवसाद, आतंकवाद, धोखाधड़ी, अकेलापन जैसे लक्षण बढ़ रहे हैं तथा युवा इसके शिकार होते जा रहे हैं जो आने वाले समय के लिए अच्छा संकेत नहीं है।

(2) मानव जीवन पर मनोवैज्ञानिक प्रभाव :-

सोशल मीडिया का आम व्यक्ति अर्थात् मानव के जीवन पर भी प्रभाव हुआ है। सूचना तकनीक ने संचार जगत में क्रांति ला दी है, मानव पर इसका सकारात्मक एवं नकारात्मक प्रभाव पड़ा है, सकारात्मक पहलू यह है कि सोशल मीडिया के द्वारा प्राप्त होने वाली शिक्षा, स्वास्थ्य और रोजगार आदि से संबंधित सूचनाओं की जानकारी में वृद्धि और विकास हुआ जो संतुष्टी एवं खुशी को दर्शाता है वहीं नकारात्मक प्रभाव ने मानव के जीवन में तनाव, अवसाद, नकारात्मक सोच को बढ़ावा दिया है।

(3) बच्चों पर सोशल मीडिया का प्रभाव :-

सोशल मीडिया का बच्चों पर नकारात्मक प्रभाव पड़ रहा है, बच्चों की बिगड़ती मानसिकता का बहुत बड़ा कारण सोशल मीडिया को माना जाता है, जो बच्चे सोशल मीडिया का उपयोग बहुत ज्यादा करते हैं उनके मन में जीवन के प्रति असंतुष्टि का भाव ज्यादा रहता है, सोशल मीडिया पर लोगो को देख कर बच्चे भी अपने अभिभावकों से अनावश्यक वस्तुओं की मांग करने लगते हैं, लड़कों की तुलना में लड़कियां पर इसका ज्यादा प्रभाव पड़ता है, क्योंकि लड़कियां ज्यादा भावुक होती हैं जो बच्चे इसका ज्यादा उपयोग करते हैं उनमें सुबह ही और रात को सोने से पहले इंटरनेट पर आनलाईन रहने की आदत पड़ जाती है, इस आदत के कारण बच्चों को अपने शौक पूरा करने अथवा स्वयं का आत्मविश्लेषण करने का समय ही नहीं मिलता बच्चों का तनावग्रस्त रहना कीमती समय बर्बाद करना एवं उनका

सामाजिक जीवन भी प्रभावित हो रहा है, स्मार्टफोन के उपयोग से आंखों पर बुरा प्रभाव देखा जा सकता है, बच्चों के एक बार इसकी आदत हो जाने के बाद इसके बिना रहना मुश्किल हो जाता है बच्चों के दिमाग पर नकारात्मक विचारों से मानसिक विकास अवरुद्ध हो जाता है साथ ही इनके आत्मसम्मान को भी नुकसान पहुंचाना संभव है, यही कारण है कि आज 12 से 15 साल के तीन में से एक या ज्यादा बच्चों में नींद की भी समस्या बढ़ रही है, शोध के मुताबिक ये उक्त सभी लक्षण बच्चों में दिन प्रतिदिन बढ़ रहे हैं।

(4) संस्कृति पर प्रभाव :-

मानव एक सामाजिक प्राणी है। मानव कि सामाजिक एवं सांस्कृतिक जीवन में इसके दुष्परिणाम दिख रहे हैं, आज मानव स्वयं से भी मिलने का समय नहीं निकाल पा रहा है और अपनों से दूरिया भी स्वभाविकरूप से बढ़ रही है, इससे समाज का ढांचा असंतुलित हो रहा है। मानव का सामाजिक जीवन भी समाप्त हो रहा है इसके विपरित सोशल मीडिया से व्यक्तिगत जीवन को बढ़ावा ही मिलता दिखाई दे रहा है किसी के निजी जीवन के साथ उनके परिवार को भी इसमें घसीट लेना सोशल मीडिया का चलन बन गया है। गाली देना, गलत अपवाह फैलाना, अश्लील और भद्दी बातें करना, फोटो एडिट कर कुछ का कुछ दिखा देना आज आम बात हो गई है, जो कि समाज और हमारी संस्कृति के लिए बहुत सोचनीय है लोग अपनी भडास निकालने के लिए किसी भी हद तक जाकर मर्यादा का उल्लंघन करने में भी परहेज नहीं करते इसलिए हमें समाज में गिरते नैतिक स्तर को बनाए रखने के लिए कोई ठोस कदम उठाने चाहिए जिससे कि हम, हमारे परिवार, हमारे समाज, हमारी संस्कृति, हमारी मर्यादा की गरिमा सदैव बनी रहे।

(5) महिला सशक्तिकरण पर प्रभाव :-

पिछले कुछ वर्षों में महिलाओं को सशक्त बनाने और उनसे संबंधित मुद्दे उठाने में सोशल मीडिया ने अहम भूमिका निभाई है, देश की आधी आबादी महिलाओं की है यह सही है कि इस समय कोई क्षेत्र ऐसा नहीं है जिसमें महिलाओं ने सफलता के झण्डे न गाड़े हो इसके बावजूद आज की महिलाएं अपने अधिकारों से वंचित हैं। महिलाओं की सामाजिक स्थिति में सुधार को लेकर लंबे समय से वैश्विक स्तर पर चिंता व्यक्त की जा रही है और समय-समय पर इसके लिए कदम भी उठाये गए हैं, देश में आजादी के नीति निर्माताओं ने मुख्यधारा से जोड़ने मीडिया रेडियो, टेलिविजन और समाचार पत्रों से महिलाओं की सामाजिक स्थिति में सुधार लाने हेतु प्रयास किए हैं, आज डिजिटल क्रांति के युग में मीडिया से एक नई उम्मीद बनी है कि यह एक ऐसा प्लेटफार्म है, जिसमें महिलाओं की स्थिति में सुधार की संभावनाएं काफी हद तक बढ़ी हैं, मीडिया के कारण ही आज होने वाली जुर्म सामने आ रहे हैं वहीं उनको इंसाफ भी मिल रहा है, इस क्षेत्र में मीडिया की सकारात्मक भूमिका रही है, सोशल मीडिया ने महिलाओं में आत्मविश्वास बढ़ाया है, रेडियो, टी.वी., समाचार पत्रों ने महिलाओं की सोच में बदलाव भी लाया है, आज महिलाओं को सशक्तिकरण बनाने के साथ-साथ राष्ट्र की तरक्की में सोशल मीडिया अहम भूमिका निभा रहा है।

(6) सोशल मीडिया का जीवन प्रबंधन पर प्रभाव :-

सोशल मीडिया का जीवन प्रबंधन पर प्रभाव विषय वस्तु पर सर्वेक्षण एवं विश्लेषण के परिणाम चिंताजनक हैं सोशल मीडिया पर समय के उपयोग का वर्गवार प्रतिशत पाया गया, किशोर वर्ग, विद्यार्थी वर्ग तथा युवा वर्ग, प्रतिदिन औसतन अपने पन्द्रह घंटों में से सोशल मीडिया पर क्रमशः 75.23 प्रतिशत 73.33 प्रतिशत तथा 86.6 प्रतिशत समय पर व्यय करते हैं जबकि अन्य कार्यों में क्रमशः 16.66 प्रतिशत, 24.66 व 35 प्रतिशत समय का ही उपयोग करते हैं, स्पष्ट है कि सोशल मीडिया जीवन पर हावी हो चुका है व जीवन प्रबंधन के लिए अपेक्षाकृत बहुत कम समय दिया जा रहा है।

वर्गवार	प्रतिदिन अनुमानित औसत व्यय किया गया समय 15 घण्टों में से					
सेम्पल संख्या 100	फेसबुक	व्हाटसेप	गेम	वेबसाइट उपयोग अध्ययन हेतु	वेबसाइट उपयोग अन्य प्रयोजनार्थ	अध्ययन व अन्य कार्य
किशोर	1-2	2-4	1.30-2.30	20.-30 मि.	2-3	1-2
विद्यार्थी	2-3	2-3	1-2	15-20 मि.	2-30-3	1-2
युवा	1-3	3-4	2-3	30 मि.-1 घंटा	2-3	2-3

सोशल मीडिया के उपयोग के आदि होने के अनेकानेक दूरगामी परिणाम किशोर, विद्यार्थी और युवा वर्ग में परिलक्षित हो रहे हैं, जिसमें याददाश्त में कमी, एकाग्रता में कमी, कम्युनिकेशन स्किल में कमी, चिंता व तनाव में वृद्धि

काल्पनिकता में वृद्धि, एकाकीपन में वृद्धि, मानसिक विकारों का समावेश, अध्ययन के प्रति अरुचि में वृद्धि, पारिवारिक दायित्वों की उपेक्षा, शारीरिक स्वास्थ्य का प्रभावित, अपव्यय की प्रवृत्ति में वृद्धि, अकादमिक परफार्मेंस में गिरावट, कैरियर के प्रति निरुत्साहित होना प्रमुख नकारात्मक प्रभाव है। समय व जीवन प्रबंधन संकेतकों निम्न स्तर की ओर स्थापित होने लगता है।

सोशल मीडिया विश्व से सतत् जुड़े रहने का बेहतरीन व अतिउपयोगी वैज्ञानिक साधन है किंतु इसका अतिउपयोग नकारात्मक प्रभाव एवं परिणाम उत्पन्न करता है। सार्थक उपयोग व्यक्ति के विकास और परिष्कार में, अपडेट रखने के साथ ही जीवन प्रबंधन के लिए अद्वितीय भागीदारी निभा सकने में मददगार हो सकता है वहीं सोशल मीडिया पर की गयी गतिविधियाँ अगर जीवन में उतरकर जीवन का हिस्सा बनने लगती हैं तो जीवन संकुचित और सीमित होकर व्यक्ति, व्यक्तित्व और मनोवैज्ञानिक विकास को बाधित करने लगती है।

(7) सोशल मीडिया का नकारात्मक एवं सकारात्मक प्रभाव :-

सोशल मीडिया समाज के विकास में अपना योगदान देता है और कई व्यवसायों को बढ़ाने में भी मदद करता है, यह सोशल मीडिया मार्केटिंग जैसे साधन प्रदान करता है जो लाखों सशक्त ग्राहकों तक पहुंचता है, हम आसानी से सोशल मीडिया के माध्यम से जानकारी और समाचार प्राप्त कर सकते हैं, किसी भी सामाजिक कारण के बारे में जागरूकता पैदा करने के लिए सोशल मीडिया का उपयोग अच्छा साधन है, इच्छुक नौकरी तलाशने वालों को भी इससे सहायता मिलती है, यह व्यक्तियों को बिना किसी हिचकिचाहट के दुनिया के साथ सामाजिक विकास और बातचीत करने में मदद कर सकता है, बहुत से लोग उच्च अधिकारियों के प्रोत्साहित भाषण को सुनने के लिए सोशल मीडिया का उपयोग करते हैं। यह आपको लोगो से मेल जोल बढ़ाने में भी मदद कर सकता है, कई चिकित्सकों का मानना है कि सोशल मीडिया लोगो में निराशा और चिंता पैदा करने वाला एक कारक है, ये बच्चों में खराब मानसिक विकास का भी कारण बनता जा रहा है, सोशल मीडिया का अत्यधिक उपयोग निंदा को प्रभावित करता है, साइबर बुलिंग, छवि खराब होना आदि जैसे कई अन्य नकारात्मक प्रभाव भी है। सोशल मीडिया की वजह से युवाओं में गुम हो जाने का भय अत्यधिक बढ़ गया है।

सुझाव :-

भारत में सोशल मीडिया का दुरुपयोग दिन प्रतिदिन बढ़ते जा रहा है, इसे देखते हुए केन्द्र सरकार ने व्हाट्सअप को जवाब तलब किया था, किंतु व्हाट्सअप ने इसे निजता का अधिकार एवं अभिव्यक्ति की आजादी बताकर सरकार की मंशा पर पानी फेर दिया। बोलने की स्वतंत्रता की वजह से सोशल मीडिया में आपत्तिजनक टिप्पणी किया जा रहा है, खुशियों शेयर करने, अपराधियों को पकड़ने, असहाय की मदद करने, स्वच्छ राजनीति के प्रति लोगों को जागरूकता लाने में इसका उपयोग किया जाना चाहिए, हमारी मानसिकता विकृत हो चुकी है। फेक न्यूज की वजह से अनेक मामले दर्ज हो रहे हैं, हमें हमारी सोच एवं सभ्यता को दर्शाने वाला आचरण स्वीकार करना चाहिए। सोशल साइट में बढ़ते फेक न्यूज को रोकने के लिए हमें ग्रामीण स्तर पर जागरूकता अभियान चलाने की आवश्यकता है, इसमें सरकार को भी अपनी भागीदारी निभानी होगी, बिना ठोस गारंटी के कोई भी सूचना का आदान प्रदान न हो देश में माबलिंचिन, दंगे जैसी स्थिति पैदा न हो यह प्रयास किया जाना चाहिए। सरकार को सख्त कानून बनाए जाने चाहिए ताकि इस अपराध के लिए सजा एवं अर्थदण्ड देना चाहिए। कानून का डर व्यक्तियों में खौफ पैदा करे, लॉग इन करते समय यूजरों को बताया जाए कि किसी भी प्रकार के संदेश नहीं भेजे अन्यथा उन पर सजा हो सकती है। नियम कानून की स्पष्ट जानकारी देकर उसका पालन सुनिश्चित हो। सभी सोशल मीडिया कम्पनियों के नियंत्रक कक्ष भारत में बनें, फर्जी खाते की पहचान कर पंजीकृत मोबाईल नंबर और खाता को आजीवन रद्द किया जाए, अगर ऐसा हुआ तो लोगों के मन में भय उत्पन्न होगा और फर्जी खबरों पर धीरे-धीरे लगाम लगेगा।

निष्कर्ष:-

निष्कर्ष रूप में कहा जा सकता है कि, सोशल मीडिया का समाज के सभी वर्गों पर सकारात्मक एवं नकारात्मक प्रभाव पड़ा है किंतु विशेषकर युवा एवं बच्चों पर इसका मनोवैज्ञानिक प्रभाव अधिक देखा गया है, जो नकारात्मक रूप में सामने आया है। व्यक्तियों के परिवार से बाहर अन्य व्यक्तियों से मीडिया के माध्यम से संबंध तो है किंतु परिवार के अंदर ही पारिवारिक सदस्य के बीच मानवीय संबंध कम हुए हैं। सोशल मीडिया का एक मजबूत आधार सोशल साइट्स ने प्रदान किया है, वर्तमान समय में कुछ प्रमुख साइट अपनी सफलता, कामयाबी को वैश्विक स्तर पर फेसबुक के माध्यम

से अपने आपको मजबूती के साथ स्थापित किया है। सोशल साइट्स की उपयोगिता आज के परिवेश में बहुत अधिक सार्थक सिद्ध हो रही है। सोशल मीडिया से जुड़े सभी वर्ग की जिम्मेदारी बनती है कि इनमें किसी भी प्रकार की विकृतियां न आए और अपनी अच्छी छवि समाज के सामने रख सके, शिक्षा का क्षेत्र हो या विज्ञान, गणित या वैज्ञानिक शोध राजनीति या देश संचालन के लिए बनने वाली नीतियां, उद्योग जगत से जुड़ी नीतियां और उनके व्यापार संचालन के तौर तरीके का हर जगह सामाजिक माध्यमों का जबरदस्त उपयोग हो रहा है। (शब्द कुंजी, सोशल मीडिया, परिवार, मनोवैज्ञानिक व्हाटसेप, अवसाद सशक्तिकरण, ट्वीटर, गूगल, इंस्टाग्राम, फेसबुक, चिंता)

संदर्भ सूची :-

1. सोशल मीडिया का युवाओं पर प्रभाव—अंतरविषयक दृष्टिकोण — शोध स्मारिका 2019
2. प्रतियोगिता दर्पण 2015 अपराधिक लेख।
3. वन इण्डिया हिन्दी समाचार 2009
4. अपराध शास्त्र एवं दण्ड प्रशासन — डॉ. ना. वि. परांजये, सेन्ट्रल लॉ पब्लिकेशन 2009
5. अपराध शास्त्र —नरेन्द्र कुमार शर्मा ओमेगा पब्लिकेशन 2011
6. मीडिया — संदीप उपाध्याय
7. सूचना संचार — डॉ. प्रज्ञा श्रीवास्तव
8. मीडिया लेखन और पत्रकारिता — डॉ.यू.सी. गुप्ता

राजनांदगांव जिले में गोधन न्याय योजना का क्रियान्वयन एक समीक्षा

प्रो. एच. सी. जैन सहायक प्राध्यापक (वाणिज्य) शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

डॉ. के. एल. टांडेकर प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

शोध सार :-

राजनांदगांव जिले के 9 विकासखंडों के 346 स्थानों से लाभान्वित हुए 21535 हितग्राहियों की आर्थिक स्थिति, जीवन स्तर में सुधार तथा प्राप्त रोजगार का अध्ययन किया गया है, यह अध्ययन छत्तीसगढ़ सरकार द्वारा संचालित ग्रामीण एवं शहरी क्षेत्रों के विकास के क्रियान्वयन के संदर्भ में छत्तीसगढ़ आदिवासी बहुलता वाला प्रदेश है, यहां की अधिकांश जनसंख्या गांवों में निवास करती है, तथा आर्थिक रूप से कमजोर है, प्रदेश के निवासियों को अधिकाधिक रोजगार प्राप्त हो सके गौपालक सहायता समूह की महिलाएं स्वावलम्बन की दिशा में आगे बढ़ सके, इस भावना को लेकर “गड़बो नवा छत्तीसगढ़” के सपनों को साकार करने के लिए प्रदेश की आंतरिक क्षमताओं गौधन संसाधनों का पूर्ण सदुपयोग करते हुए ग्रामीण क्षेत्रों का पूर्ण विकास करना है जिससे आम जन जीवन के जीवन स्तर में सुधार हो सके, उन्हें आत्मनिर्भर बना सके तथा प्रदेश खुशहाली आ सके।

प्रस्तावना:-

भारत की अधिकांश जनता कृषि पर निर्भर है छत्तीसगढ़ राज्य के लगभग 80% जनसंख्या का जीवन यापन कृषि पर निर्भर है प्रदेश के 40.10 लाख कृषक परिवारों में से 82% लघु एवं सीमांत श्रेणी में आते हैं। गाय को माता मानने के पीछे यही आस्था रही हुई है, कि गाय में समस्त देवी-देवता निवास करते हैं, व प्रकृति की कृपा भी गाय की सेवा करने से मिलती है। जो बातें हमें वेद पुराणों से ऋषि-मुनियों से और अपने पुरखों से विरासत में मिली है उसको धरातल पर लाने की योजना “गोधन नया योजना” है माननीय मुख्यमंत्री श्री भूपेश बघेल ने 20 जुलाई 2020 को इस योजना की शुरुआत की थी।

ग्रामीण क्षेत्रों में गौपालकों, महिलाओं एवं युवाओं को आर्थिक तौर पर मजबूती प्रदान करना इस योजना का लक्ष्य था। पशुपालकों के द्वारा गोबर को एकत्रित कर गौठानों तक भेजने की व्यवस्था की गई और उनके बैंक खाते में राशि का भुगतान किया जाने लगा गोबर खरीदी केंद्रों में गोबर से गौ कास्ट (गोबर से बनी लकड़ी) कंडे और वर्मी कंपोस्ट बनाया जा रहा है, उन्हें शहरों में बेचने की व्यवस्था भी इस योजना के अंतर्गत की गई है तथा इस योजना की राष्ट्रीय स्तर पर सराहना की जा रही है तथा इसे पूरे देश में लागू करने पर विचार किया जा रहा है। पर्यावरण संरक्षण और सतत विकास में उत्कृष्ट योगदान के लिए छत्तीसगढ़ सरकार की इस योजना को 20 मार्च 2021 को “स्काच गोल्ड अवार्ड” से सम्मानित किया गया है इसके पश्चात 19 अप्रैल 2022 को “एलेटस एनोवेशन अवार्ड”(ELETS INOVATION AWARD) से भी सम्मानित किया गया है जो हमारे प्रदेश के लिए अत्यन्त गर्व की बात है।

गोधनन्याय योजना की अवधारणा :-

न्यायकी अवधारणा को आगे बढ़ाते हुए छत्तीसगढ़ में माननीय मुख्यमंत्री श्री भूपेश बघेल के नेतृत्व में “गोधन न्याय योजना” को लागू करने का निर्णय लिया गया। चूंकि राज्य की अधिकांश जनता गांवों में निवास करती है उनमें भी कईयों के पास स्वयं की भूमि नहीं है सिंचाई के पर्याप्त संसाधन की कमी है एवं प्रदेश के अधिकांश स्थानों में एक फसली खेती होती है। जो मानसून पर निर्भर है, ऐसी स्थिति में ग्रामीण जनता के पास आय के कृषि के अलावा विकल्प तैयार हो सके, स्व सहायता समूह एवं युवाओं को रोजगार प्राप्त हो सके भूमिहीनो को कार्य मिल सके। इसी अवधारणा के आधार पर इस महत्वाकांक्षी योजना की शुरुआत की गई।

गोधनन्याय योजना का उद्देश्य :-

1. पशुपालकों की आय में वृद्धि।

2. पशुधन विचरण एवं खुली चराई पर रोक।
3. जैविक खाद के उपयोग को बढ़ावा एवं रासायनिक खाद के उपयोग में कमी लाना।
4. स्थानीय स्व सहायता समूह की महिलाएं एवं युवाओं, गौपालकों को रोजगार के अवसर उपलब्ध कराना।
5. विष रहित खाद्य पदार्थों की उपलब्धता एवं सुपोषण सुनिश्चित करना।
6. गौठानों के समीप तालाब का निर्माण कर मछली पालन को विकसित करना।
7. ग्रामीण क्षेत्र के निवासियों को आत्मनिर्भर बनाकर जीवन स्तर में वृद्धि करना।

शोध के प्रमुख उद्देश्य :-

1. राजनांदगांव के 9 विकासखंडों के पशुपालकों की आर्थिक स्थिति में सुधार का अध्ययन।
2. पशुधन की खुली चराई पर रोक का अध्ययन।
3. स्थानीय एवं स्व सहायता समूह को रोजगार के अवसर का अध्ययन।
4. जैविक खाद के उपयोग को बढ़ावा देने का अध्ययन।

शोध परिकल्पना :-

प्रस्तुतयोजना की शोध परिकल्पना निम्नानुसार है

1. इस योजना का सुचारु रूप से संचालन हो रहा है।
2. राज्य सरकार की इस योजना से ग्रामीण क्षेत्रों की आर्थिक स्थिति में सुधार हुआ है।
3. इस योजना से ग्रामीण क्षेत्र के गौपालकों, युवाओं एवं महिलाओं में रोजगार के अवसरों में वृद्धि हुई है।

शोध प्रविधि :-

राज्य सरकार द्वारा संचालित को गोधन न्याय योजना के हितग्राहियों के आर्थिक विकास एवं रोजगार में वृद्धि की संभावना से संबंधित इस शोध सारांश में तत्वों के संग्रहण विश्लेषण एवं निष्कर्ष हेतु द्वितीयक समको का उपयोग किया गया है। प्रत्यक्ष एवं अप्रत्यक्ष, प्रकाशित एवं अप्रकाशित स्रोतों का आधार लिया गया है।

शोध अध्ययन का क्षेत्र :-

शोध अध्ययन हेतु विषय का चयन एवं शोध के उद्देश्यों को निर्धारित करते हुए शोध क्षेत्र हेतु राजनांदगांव से 9 विकासखंडों को लिया गया है, तथा इन 9 विकासखंडों में पशुपालन से संबंधित क्षेत्रों को इस अध्ययन में शामिल किया गया है।

जिले में योजना का क्रियान्वयन एवं क्रय विक्रय तथा लाभ का विश्लेषण :-

राज्य सरकार की महत्वपूर्ण योजना गोधन न्याय योजना की प्रारंभ 20 जुलाई 2020 को हुई। गांव में निर्मित 2408 गौठानों से 2 रु.किलो की दर से गोबर की खरीदी की जा रही है जिनमें महिला स्व सहायता समूह की महिलाएं गोबर से वर्मी कंपोस्ट, सुपर कम्पोस्ट तथा अन्य उत्पाद तैयार कर रही है। प्रदेश में गोधन न्याय योजना के तहत 41 फीसदी भूमिहीनों को लाभ पहुंचा है राज्य में अब तक 145000 भूमिहीनों में से 59412 किसानों से गोबर की खरीदी की जा रही है। सरकार के जरिए इन्हे अब तक 71 करोड़ 72 लाख रुपये का भुगतान किया गया है। बहुत से बेरोजगार युवा भी इस योजना के जरिए गोबर एवं गोबर से निर्मित अन्य उत्पाद बेचकर अपनी आय बढ़ाने लगे हैं। भूमिहीनों को इस योजना से जोड़ने की सरकार की यह पहल कारगर साबित हो रही है। ग्रामीण क्षेत्रों में गौपालकों, महिलाओं व युवाशक्ति को आर्थिक तौर पर सुदृढ़ करना। इस योजना का प्रमुख लक्ष्य था गोबर खरीदी केंद्रों में गोबर से गौ कास्ट(गोबर से बनी लकड़ी) कंडे और वर्मी कंपोस्ट बनाया जा रहा है इसका उपयोग खेतों से लेकर गार्डनोतक में किया जा रहा है यह खाद गौठानों में बनी टंकियों में तैयार की जा रही है। इसके अतिरिक्त गौठान परिसर में ही तालाब

का निर्माण किया जा रहा है, जिसमें मछली पालन का कार्य किया जा रहा है, जिससे समूह की महिलाएं आत्मनिर्भर होने लगी है।

क्रियान्वयन के चरण निम्नानुसार है :-

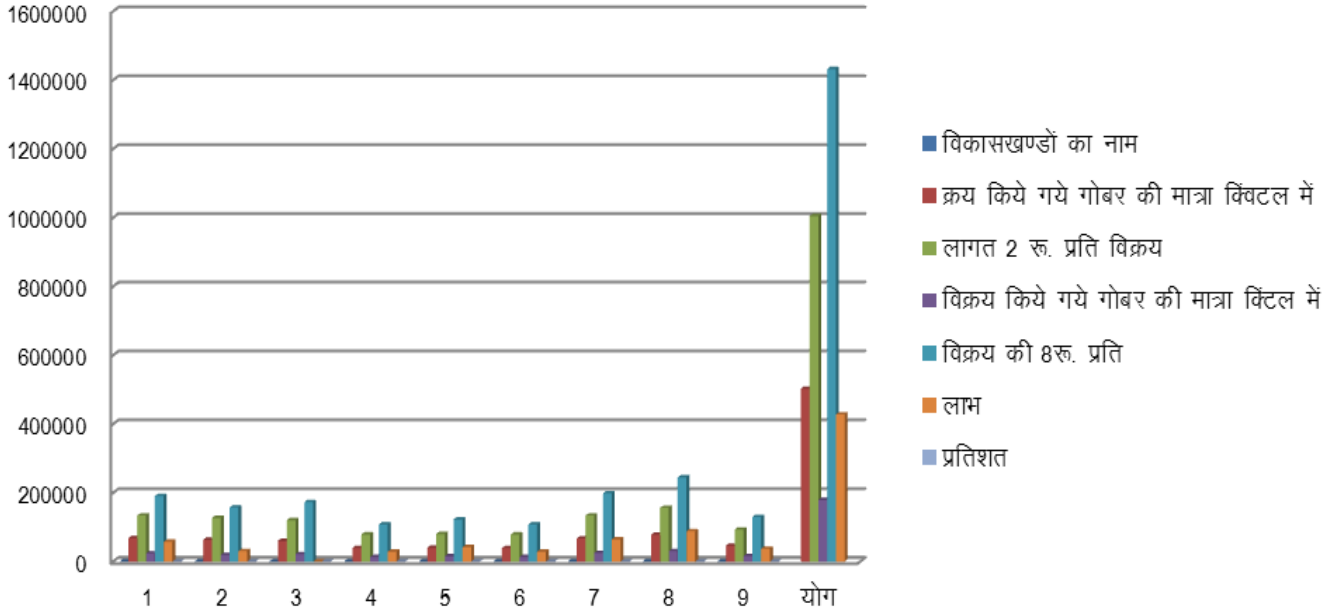
1. गोबर का क्रय एवं भुगतान की प्रक्रिया।
2. वर्मी कंपोस्ट तैयार करने हेतु प्रशिक्षण।
3. वर्मी कंपोस्ट टंकी का निर्माण।
4. गौठान में गोबर प्रसंस्करण।
5. वर्मी कंपोस्ट की पैकेजिंग।
6. वर्मी कंपोस्ट का विपणन।
7. वित्तीय व्यवस्था एवं वित्त प्रवाह।

31 मार्च 2022 तक क्रय एवं विक्रय किए गए खाद का वितरण एवं लाभ का प्रतिशत

Ø-	विकासखण्डों का नाम	क्रय किये गये गोबर की मात्रा (क्विंटल में)	लागत 2 रु. प्रति कि.ग्रा. विक्रय	विक्रय किये गये गोबर की मात्रा क्विंटल में	विक्रय की 8 रु. प्रति कि.ग्रा.	लाभ	लाभ :में
1	राजनांदगांव	68117.35	134234.7	23853.05	190824.40	57589.7	42.17%
2	डोंगरगढ़	63421.33	126842.66	19645.33	157162.64	30319.98	23.90%
3	छुरिया	60085.36	120170.72	21621.27	172970.16	527.99.44	43.94%
4	डोंगरगांव	39519.56	79039.12	13493.96	107951.68	28912.56	36.60%
5	खैरागढ़	40120.19	80240.38	15312.19	122497.52	42257.14	52.67%
6	छुईखदान	39462.49	78924.18	13466.07	107728.56	28803.58	36.56%
7	अम्बागढ़ चौकी	67042.08	134084.16	24844.65	198757.20	64673.04	48.23%
8	मोहला	78173.53	156347.1	30583.98	244671.84	88324.74	56.49%
9	मानपुर	46352.09	92704.18	16225.04	129800.32	37096.14	40.02%
	योग	502294.00	1004588	179025.54	1432204.32	427616.32	

स्रोत :-सांख्यिकीय आंकड़ों से प्राप्त जानकारी

रेखाचित्र विश्लेषण



उपरोक्त सारणी का विश्लेषण करने पर यह प्रतीत होता है, कि राजनांदगांव जिले के 9 विकासखंडों में लाभ का प्रतिशत राजनांदगांव में 42.17%, छुरिया में 40.94%, खैरागढ़ में 52.67%, अम्बागढ़ चौकी में 48.23% है, जो कि ग्रामीण क्षेत्रों में विकास के दृष्टिकोण से सुदृढ़ आधार के रूप में ग्रामीणों को लाभ पहुंचा रहा है, एवं उनकी आर्थिक स्थिति को सुदृढ़ कर जीवन स्तर को बढ़ा रहा है।

समस्या :-

- भुगतान की समस्या**—चूंकि यह योजना राज्य सरकार द्वारा संचालित है जिसके वित्तीय स्रोत की व्यवस्था शासन द्वारा की जाती है क्योंकि गोबर के विक्रय के पश्चात 15 दिन बाद भुगतान किया जाता है ग्रामीणों तथा स्व सहायता समूह को जब राशि की तत्काल आवश्यकता होती है, तब वह उसे तुरंत प्राप्त नहीं हो पाती है।
- परिवहन की समस्या**— प्रत्येक ग्रामीणों के पास गोठानों तक गोबर को विक्रय हेतु पहुंचाने के लिए परिवहन की समुचित व्यवस्था नहीं हो पाती है जिससे संग्रहण केंद्र तक पहुंचाने पर उस पर अतिरिक्त वित्तीय भार पड़ता है।
- प्रचार प्रसार की समस्या** — योजना का समुचित प्रसार प्रत्येक ग्रामीण क्षेत्र में नहीं हो पाया है।
- रासायनिक खाद के प्रयोग की बहुलता** — अधिकतर ग्रामीण क्षेत्र कृषि करने हेतु रासायनिक खाद का उपयोग करते हैं जिससे जैविक खाद के प्रयोग को पर्याप्त स्थान नहीं मिल पाया है।
- ग्रामीण क्षेत्रों में क्रय की रफ्तार ढीमी** — ग्रामीण क्षेत्रों में गोबर खरीदी की रफ्तार समितियों के सक्रियता की कमी से अत्यंत कम है।

उत्पादों के विक्रय की समस्या :-

गोधन न्याय योजना के जरिए महिला कामकाजी समूह के सशक्तिकरण का प्रयास अभी शीथिल है उत्पादों की भी मांग जागरूकता के अभाव में पूर्ति की तुलना में बहुत कम है। उत्पादों की आपूर्ति न होने की वजह से इनके कामकाज फिलहाल ठप्प से हो गए हैं।

1. शासन द्वारा ग्रामीणों को वित्त व्यवस्था शीघ्र उपलब्ध कराई जाए ताकि उन्हें किसी भी प्रकार की आर्थिक समस्या का सामना न करना पड़े।
2. परिवहन के संसाधनों को भी समुचित रूप से विकसित किया जाए।
3. योजना का उचित प्रचार प्रसार कर ग्रामीणों में फैली भ्रांतियों का निराकरण किया जाए एवं जैविक खेती हेतु प्रोत्साहित किया जाए।
4. स्व सहायता समूह द्वारा उत्पादित उत्पादों के विपणन हेतु समुचित प्रबंध किए जाए मांग को बढ़ाने हेतु पर्याप्त विज्ञापन की भी आवश्यकता है।
5. क्रय समितियों को ग्रामीण क्षेत्रों में ज्यादा सक्रिय बनाया जाए ताकि ग्रामीणों को इस योजना का वास्तविक लाभ मिल सके।

निष्कर्ष :-

निष्कर्ष रूप से यह कहा जा सकता है कि राजनांदगांव जिले में गोधन न्याय योजना एवं उसमें लगे गौपालको, ग्रामीणों युवाओं महिलाओं एवं भूमिहीनों के आर्थिक आय को बढ़ाकर एवं रोजगार के नए अवसर उपलब्ध कराकर बेरोजगारी एवं गरीबी जैसी समस्या को दूर करने में मील का पत्थर साबित होगी। योजना के पूर्व जहां पहले गोबर का उपयोग नहीं के बराबर हो पाता था, तथा शासन की इस योजना ने ग्रामीणों को प्रशिक्षित कर गोबर के विविध उपयोग, खाद, दवाइयां, कंडे कास्ट आदि बनाने की विधि से न केवल ग्रामीणों का आर्थिक विकास होगा, वरन राज्य स्तर पर भी तीव्र ग्रामीण विकास को गति मिली है। गौठानों का उपयोग स्व सहायता समूह की महिलाएं वर्मी कंपोस्ट निर्माण की विधि सीखने में करेगी तथा गोबर से अन्य उत्पादों को भी निर्मित कर अपनी आय में वृद्धि करेगी, तात्पर्य यह है कि गौठानों के माध्यम से ग्रामीणों ने उत्पादन को तो बढ़ाया ही है, गांव में रोजगार के नए अवसर का भी निर्माण किया है।

संदर्भसूची

जनमत

कार्यालय जिला पंचायत राजनांदगांव

विकीपीडिया

समाचार पत्रिका

इंटरनेट

**मुख्यमंत्री शहरी स्लम स्वास्थ्य योजना का क्रियान्वयन एक समीक्षा
(छत्तीसगढ़ राज्य के नगरीय निकायों के विशेष संदर्भ में)**

प्रो. एच. सी. जैन सहायक प्राध्यापक (वाणिज्य संकाय) शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

डॉ एच.एस. भटिया विभागाध्यक्ष (वाणिज्य संकाय) शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

डॉ के. एल. टाण्डेकर प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

शोध सारांश :-

छत्तीसगढ़ राज्य के शहरी स्लम क्षेत्र में निवासरत नागरिकों को निशुल्क स्वास्थ्य परीक्षण की सुविधा प्रदान करने हेतु प्रदेश की सरकार द्वारा लोगों के स्वास्थ्य का स्तर बढ़ाने हेतु इस मुख्यमंत्री शहरी स्लम स्वास्थ्य योजना को प्रारंभ किया गया इस योजना की सफल संचालन राज्य के 14 नगरीय निकायों के माध्यम से स्वास्थ्य विभाग द्वारा किया जा रहा है। इस योजना के अंतर्गत विभिन्न कैंपों के माध्यम से हितग्राहियों को विभिन्न प्रकार से स्वास्थ्य लाभ पहुंचाया जाता है। योजना के प्रारंभ से अब तक लगभग 20 लाख स्लम क्षेत्रों में रहने वाले हितग्राहियों को लाभान्वित किया जा चुका है लाभान्वित हितग्राहियों में महिलाएं बच्चे श्रमिक तथा सामान्य वर्ग के निवासी शामिल हैं, इस योजना के माध्यम से स्लम क्षेत्र में रहने वाले नागरिकों को स्वास्थ्य सुविधाएं प्रदान कर प्रदेश के सर्वांगीण विकास में उनकी महती भूमिका का उपयोग किया जाता है। इस योजना से प्रदेश के स्लम क्षेत्रों में रहने वाले नागरिकों के स्वास्थ्य पर हुए प्रभाव का अध्ययन किया गया है।

प्रस्तावना :-

स्वास्थ्य सुविधाओं की दृष्टि से छत्तीसगढ़ राज्य जहां एक ओर भारत के अन्य राज्यों की तुलना में काफी पिछड़ा हुआ है वहीं दूसरी ओर संतोषजनक औद्योगिक विकास न हो पाने के कारण राज्य की अधिकांश जनसंख्या आर्थिक दृष्टि से काफी कमजोर है। राज्यों में पर्यावरण प्रदूषण, वायु प्रदूषण, जल प्रदूषण, खानपान में पौष्टिक आहार की कमी, निम्न स्तरीय जीवन शैली, खानपान में गुणवत्ता में काफी कमी रासायनिक खाद के अत्याधिक उपयोग से होने वाले शारीरिक प्रभाव कृषि फसलों के उत्पादन को बढ़ाने एवं संरक्षण हेतु अत्याधिक कीटनाशक दवाइयों के प्रयोग से राज्य की जनता के स्वास्थ्य पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ा है एक ओर जहां राज्य में अच्छी एवं उन्नत स्वास्थ्य सुविधाओं का अभाव है वहीं दूसरी ओर राज्य के निजी चिकित्सालयों में इलाज करवाने हेतु अत्याधिक आर्थिक भार पड़ता है जो चिंताजनक है शासकीय चिकित्सालय में भी लंबी-लंबी कतारें होने के कारण राज्य की जनता विशेषकर श्रमिक वर्ग के इलाज में काफी विलंब होने के कारण परेशानी उठानी पड़ रही है तथा शासकीय चिकित्सालय में कुछ चुनिंदा बीमारियों का ही दवाइयां उपलब्ध हो पाती है शेष आवश्यक दवाइयों को निजी मेडिकल स्टोर से क्रय करने के कारण आम जनता पर स्वास्थ्य संबंधी आर्थिक व्ययों का अत्याधिक भार पड़ रहा रहा था। कोरोना महामारी के भीषण प्रकोप से भी राज्य के निवासियों की आय प्रभावित हुई थी, इन सब के कारणों से वह शारीरिक ही नहीं वरन् मानसिक तनाव से भी गुजर रहा है, ऐसी विषम परिस्थितियों में जो अस्पताल में नहीं पहुंच पाते उन स्लम क्षेत्रों में रहने वाले व्यक्तियों को गुणवत्ता पूर्वक निःशुल्क स्वास्थ्य परामर्श जांच, उपचार एवं दवाइयां उपलब्ध कराने हेतु राज्य में दिनांक 1 नवंबर 2020 को **“मुख्यमंत्री शहरी स्लम स्वास्थ्य योजना”** का शुभारंभ राज्य के 14 नगरीय निकायों रायपुर, बिरगांव, धमतरी, दुर्ग, भिलाई, रिसाली, भिलाई चरोदा, राजनांदगांव, बिलासपुर, कोरबा, रायगढ़, अबिकापुर, चिरमिरी तथा जगदलपुर में किया गया। स्लम क्षेत्रों में रहने वाले लोगों को व्यक्तिगत चर्चा एवं अन्य माध्यम से परिवार नियोजन के उपायों को समझाना एवं परिवार नियोजन के संसाधनों को उपलब्ध कराना है शहरी स्लम क्षेत्रों में मूलभूत सुविधाएं अपेक्षाकृत कम होती हैं जिसके कारण उन क्षेत्रों में निवासरत व्यक्तियों के स्वास्थ्य पर इसका प्रत्यक्ष असर परिलक्षित होता है उनके स्वास्थ्य स्तर में सुधार के लिए मुख्यमंत्री शहरी श्रम स्वास्थ्य योजना अंतर्गत चलित चिकित्सालय दल का गठन कर स्लम क्षेत्रों में स्वास्थ्य सुविधाएं उपलब्ध पहुंचाने का निर्णय राज्य सरकार द्वारा जनहित में लिया गया है।

अवधारणा :-

छत्तीसगढ़ राज्य की इस महत्वकांक्षी योजना इस अवधारणा को लेकर प्रारंभ की गई कि स्लम घनी आबादी वाले वे शहरी क्षेत्र जो विशेषकर आर्थिक रूप से काफी कमजोर एवं पिछड़े हुए हैं तथा स्लम क्षेत्र याने निम्न वर्गों के आवास व्यवस्था वाले क्षेत्र झुग्गी झोपड़ियों की बहुलता एवं मलिन (गंदी) बस्तियों वाला शहरी क्षेत्र। इन क्षेत्रों में रहने वाले निम्न आय वर्ग के व्यक्तियों को समय की बचत चिकित्सालय में लगने वाली लंबी लंबी कतारों से बचाना एवं चिकित्सालयों में पहुंचने में लगने वाले आर्थिक भार को कम कर उसे स्वास्थ्य लाभ पहुंचाने के उद्देश्य से लेकर दिनांक 01/11/2020 को माननीय मुख्यमंत्री द्वारा इस योजना की शुरुआत की गई ताकि स्लम क्षेत्र में रहने वाले प्रत्येक

नागरिक का स्वास्थ्य का स्तर ऊंचा उठ सके वह प्रदेश से अपने तथा अपने परिवार का जीवन स्तर ऊंचा उठा सके एवं प्रदेश की प्रगति में अपना महत्वपूर्ण योगदान दे सके कोरोना महामारी के प्रकोप से भी जहां जनता की कामकाज प्रभावित हुआ था वही उसका स्वास्थ्य भी बेहतर नहीं हो पा रहा था इस सब कारणों से इस योजना को प्रारंभ किया गया।

योजना के उद्देश्य :-

1. राज्य के शहरी क्षेत्रों में निवासरत जनता को स्वास्थ्य सुविधाओं का अध्ययन करना।
2. शासकीय चिकित्सालयों में रोगोपचार हेतु पहुंचने वाले रोगियों की संख्या को कम करना एवं लाभान्वित का अध्ययन करना।
3. राज्य में निवासियों को त्वरित एवं घर पहुंच निःशुल्क स्वास्थ्य परीक्षण निःशुल्क विभिन्न प्रकार के टेस्ट तथा निःशुल्क औषधि वितरण करना।
4. स्वास्थ्य शिक्षा के माध्यम से स्वास्थ्य संबंधी जानकारी प्रदान करना।

शोध परिकल्पना :-

1. स्लम मलिन बस्तियों में योजना का क्रियान्वयन सुचारु रूप से हो रहा है।
2. स्लम क्षेत्रों में पूर्ण रूप से निःशुल्क स्वास्थ्य परीक्षण विभिन्न प्रकार के लैब टेस्ट तथा जेनेरिक दवाइयों का वितरण किया जा रहा है।
3. झुग्गी झोपड़ियों एवं गंदी बस्तियों में रहने वाले आर्थिक दृष्टि से कमजोर हितग्राही इससे लाभान्वित हो रहे हैं।

शोध प्रविधि :-

राज्य सरकार द्वारा संचालित मुख्यमंत्री शहरी स्लम स्वास्थ्य योजना के हितग्राहियों के स्वास्थ्य परीक्षण एवं उसमें होने वाले सुधार की संभावना से संबंधित इस शोध सारांश में तथ्यों के संग्रहण, विश्लेषण निर्वचन एवं निष्कर्ष हेतु प्राथमिक एवं द्वितीयक समकों का उपयोग किया गया है प्रकाशित एवं अप्रकाशित स्रोतों का भी आधार लिया गया है।

शोध अध्ययन का क्षेत्र एवं सीमाएं :-

भारतीय संघ राज्य मध्य प्रदेश के विभाजन के पश्चात छत्तीसगढ़ राज्य दिनांक 1 नवंबर 2000 को मूल रूप से अस्तित्व में आया राज्य में वर्तमान में कुल 33 जिले हैं 2011 की जनगणना के अनुसार छत्तीसगढ़ की कुल जनसंख्या 25540196 (दो करोड़ पचपन लाख चालिस हजार एक सौ छियानब्बे) है, इसमें से 12827915 (एक करोड़ अट्ठस लाख सत्ताईस हजार नौ सौ पन्द्रह) पुरुष तथा 12712281 (एक करोड़ सत्ताईस लाख बारह हजार दो सौ इक्यासी) महिलाएं हैं। प्रदेश की शहरी आबादी 5936538 (उनसठ लाख छत्तीस हजार पांच सौ अड़तीस) तथा ग्रामीण आबादी लगभग 1963658 (एक करोड़ छियानब्बे लाख तीन हजार छह सौ अट्ठावन) है। राज्य में जनसंख्या घनत्व 189 व्यक्ति प्रति वर्ग किलोमीटर है शोध के अध्ययन हेतु विषय का चयन एवं शोध के उद्देश्य को निर्धारित करते हुए प्रदेश के 14 नगरीय निकायों में रायपुर, बीरगांव, धमतरी, दुर्ग, भिलाई, रिसाली, भिलाई चरोदा, राजनंदगांव, बिलासपुर, कोरबा, रायगढ़, अंबिकापुर, चिरमिरी, तथा जगदलपुर को शामिल किया गया है।

स्लम स्वास्थ्य योजना का क्रियान्वयन एवं प्रगति का विश्लेषण :-

छत्तीसगढ़ सरकार की महत्वपूर्ण स्वास्थ्य योजना मुख्यमंत्री शहरी स्लम स्वास्थ्य योजना दिनांक 1 नवंबर 2020 को प्रारम्भ की गई। इस योजना के तहत शहर में मोबाइल मेडिकल यूनिट की गाड़ियां संचालित हो रही है जिसमें डॉक्टरों की टीम घर के चौखट पर पहुंचकर मरीजों का निःशुल्क इलाज करती है इसमें लैब की भी सुविधा प्रदान की जा रही है जिसमें मरीजों को खून पेशाब से लेकर 41 तरह की जांच की सुविधाएं एवं इस योजनांतर्गत दी जा रही है। राज्य के शहरी क्षेत्रों के गरीब बस्तियों में निवासरत गरीब करीब 16 लाख निवासियों के स्वास्थ्य में सुधार करना है ताकि उनका जीवन स्तर ऊंचा उठ सके और वह स्वस्थ होकर सुख पूर्वक अपना जीवन बगैर किसी किसी अतिरिक्त आर्थिक भार के साथ व्यतीत कर सकें इस स्वास्थ्य योजना के माध्यम से स्लम इलाकों में रहने वाले नागरिकों के स्वास्थ्य जांच टेस्ट तथा जेनेरिक औषधियों का निःशुल्क वितरण मोबाइल मेडिकल यूनिट के माध्यम से किया जा रहा है।

योजना की शुरुआत शुरुआत दो चरणों में की गई पहले चरण में 14 नगरीय निकायों में 60 मोबाइल मेडिकल यूनिट के माध्यम से लोगों को त्वरित एवं घर पहुंच निःशुल्क सुविधा उपलब्ध कराई गई तथा दूसरे चरण में 169 नगर निगम, नगर पालिका एवं नगर पंचायतों में 60 मोबाइल यूनिट मेडिकल के माध्यम से स्वास्थ्य सुविधाओं का संचालन राज्य के निवासियों को शारीरिक व मानसिक रूप से स्वस्थ बनाने के लिए किया जा रहा है निगम के सूत्रों द्वारा बताया गया है कि पूरे प्रदेश में अब तक लगभग 2000000 लोगों को निःशुल्क स्वास्थ्य परीक्षण, 41 प्रकार की टेस्ट तथा 200 से अधिक प्रकार की जेनेरिक दवाइयों का वितरण कर स्वास्थ्य के क्षेत्र में आधारभूत कार्यक्रम संचालित

किए जा रहे हैं। मोबाइल यूनिट में एक डॉक्टर एक नर्स एक फार्मासिस्ट एक लैब टेक्नीशियन एवं एक चालक सहित 5 स्टाफ कार्यरत रहते हैं। शहरी क्षेत्र के झुग्गी झोपड़ियों में निवासरत उन गरीब व्यक्तियों को जिन्हें दैनिक कार्य पर प्रतिदिन कमाओ प्रतिदिन खाओ जाकर अपने एवं अपने परिवार का पालन पोषण करना पड़ता है को शासकीय चिकित्सालय में जाने से एक तो जाने का आर्थिक खर्चा वहीं दूसरी ओर लंबी-लंबी कतारें होने से प्रतीक्षा करने से उसका समय नष्ट होता है जिसके कारण वह उस दिन की आय से वंचित हो जाता है इससे उसे आर्थिक हानि उठानी पड़ती थी, इन्हीं कारणों को दृष्टिगत रखते हुए राज्य शासन द्वारा इस योजना की शुरुआत कर इसका सफल क्रियान्वयन किया जा रहा है।

महामारी के बीच जब लोग सामान्य एवं छोटी-मोटी बीमारियों के लिए अस्पताल जाने से डरने लगे तब यह योजना इलाज के लिए सर्वाधिक मददगार साबित हुई लॉकडाउन होने पर भी घर की चौखट पर सुबह से दोपहर तक इलाज के लिए मोबाइल यूनिट के चौपाल लगाकर बीमार मरीज का न केवल इलाज किया वरन कोरोना का टेस्ट भी किया तथा वैक्सीनेशन हेतु टीकाकरण में भी अपनी महत्वपूर्ण भूमिका का निर्वहन किया गया। निःशुल्क लैब टेस्ट होने से लोगों का पैसा भी बच रहा है और इलाज हेतु इधर-उधर भटकने की जरूरत भी नहीं पड़ रही है।

शहरी स्लम स्वास्थ्य योजना में होने वाली परीक्षणों की सूची

निम्न प्रकार की जांच की सुविधाएं

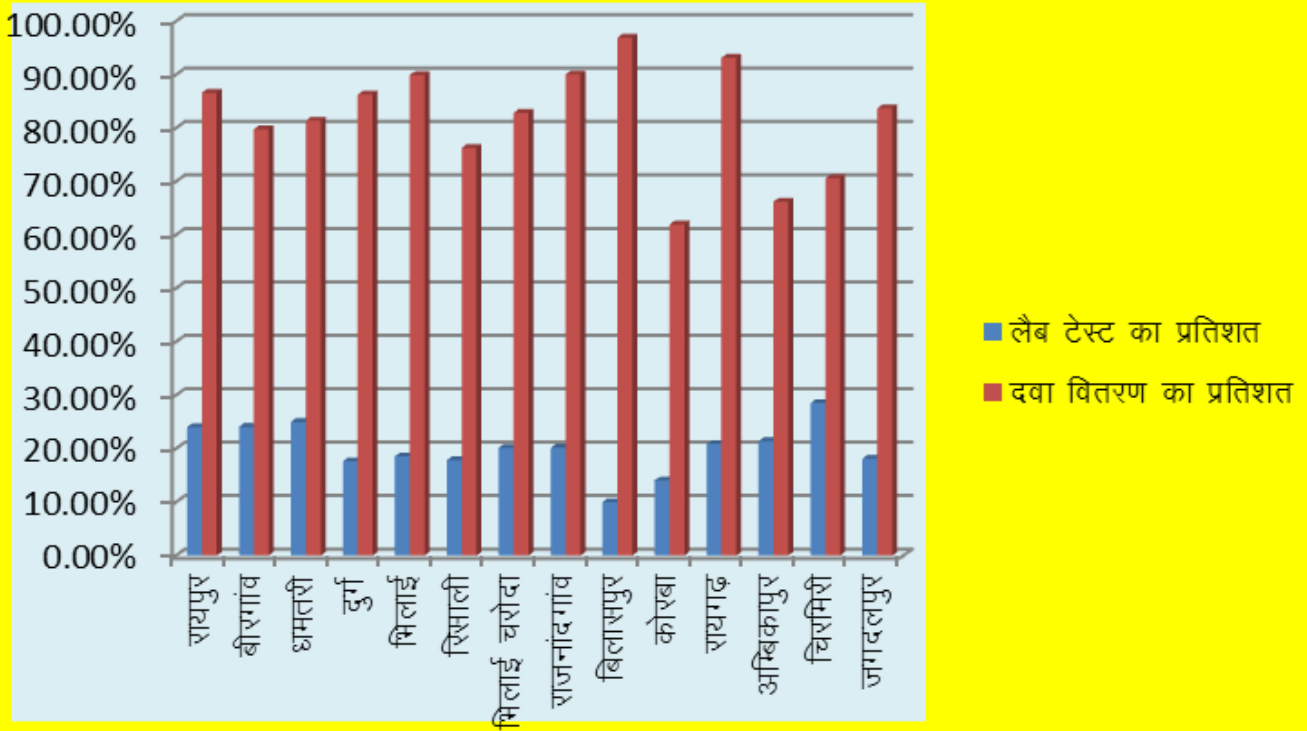
खून टेस्ट, पेशाब टेस्ट, टी बी, थायराइड, मल टेस्ट, थूक, मलेरिया, टाइफाइड, ब्लड शुगर, विटामिन की कमी, कोलेस्ट्रॉल, हिमोग्लोबिन।

निम्न प्रकार की दवाइयां निःशुल्क उपलब्ध

पेरासिटामाल, ब्रुफेन मेटफार्मिन, कैटेनॉल लोल, बी कांपलेक्स, आयरन की गोलियां, फोलिक एसिड, सीपोल एंपसन, ओ आर एस, लिम्सी, टिटनेस इंजेक्शन एवं अन्य जेनेरिक दवाईयां।

छत्तीसगढ़ राज्य के नगरीय निकायों में संचालित योजना के लाभान्वितों का विवरण निम्न तालिका द्वारा प्रदर्शित किया गया है लाभान्वितों की संख्या तालिका

क्र.	नगरीय निकाय टस्ट	डडट के कुल कैम्प संख्या	कुल मरीजों की लैब टेस्ट	कुल मरीजों को दवा वितरण	कैम्प में कुल मरीजों की संख्या	प्रति डडट औसत मरीज संख्या	लैब टेस्ट का :	दवा वितरण का :
1	रायपुर	6906	111713	401827	463936	67	24.08%	86.60%
2	बीरगांव	888	13418	44482	55756	63	24.10%	79.78%
3	धमतरी	879	19169	62356	76582	87	25.03%	81.42%
4	दुर्ग	1849	22811	111618	12939342	70	17.64%	86.30%
5	भिलाई	1384	19817	95853	106587	77	18.59%	89.93%
6	रिसाली	927	12988	53484	72739	78	17.86%	76.28%
7	भिलाई चरोदा	919	12749	52360	63192	69	20.17%	82.86%
8	राजनांदगांव	1845	31069	138636	153942	83	20.18%	90.06%
9	बिलासपुर	1835	15260	147507	152292	83	10.02%	96.92%
10	कोरबा	3409	38845	170844	275716	81	14.09%	61.98%
11	रायगढ़	1751	24502	109136	117150	67	20.90%	93.16%
12	अम्बिकापुर	1725	26682	82406	124482	72	21.43%	66.20%
13	चिरमिरी	824	11780	29077	41273	50	28.54%	70.61%
14	जगदलपुर	1785	18450	85029	101648	57	18.15%	83.72%
			379253	1586845				



स्रोत :- नगरीय निकाय एवं विकास मंत्रालय, छत्तीसगढ़ शासन

विश्लेषण :-

उपरोक्त सारणी से विश्लेषण करने पर यह प्रतीत होता है कि राज्य में कुल 14 नगरीय निकायों में संचालित मुख्यमंत्री शहरी स्लम स्वास्थ्य योजना के तहत कुल 60 मोबाइल में टिकट यूनिट के तहत कुल 1934637 मरीजों का 26926 कैंपो के माध्यम से इलाज किया गया प्रत्येक एमएमयू औसत मरीजों की संख्या 72 है तथा लैब टेस्ट वाले मरीजों की संख्या रायपुर में 24.08%, बीरगांव में 24.10%, धमतरी में 25.03%, दुर्ग में 17.64%, भिलाई में 18.59%, रिसाली में 17.86%, भिलाई चरोदा में 20.17%, राजनांदगांव में 20.18%, बिलासपुर में 10.02%, कोरबा में 14.09%, रायगढ़ में 20.90%, अम्बिकापुर में 21.43%, चिरमिरी में 28.54%, जगदलपुर में 18.15% में एवं दवाई वितरण का विश्लेषण करने पर यह पाया गया कि औसत रूप से 82% मरीजों का परीक्षण उपरांत दवा का वितरण निःशुल्क किया गया जो इस योजना की सफलता को प्रदर्शित करता है।

स्लम स्वास्थ्य योजना की समस्या :-

1. इस योजना में परीक्षण का समय प्रातः 8:00 से 3:00 बजे तक है शहरी क्षेत्र में रहने वाले कामकाजी व्यक्तियों को शाम को ही काम से लौटते समय तथा सुबह जल्दी से ही चले जाते हैं उन्हें उन्हें के लिए इस योजना का लाभ नहीं मिल पा रहा है।
2. केवल छोटी-छोटी चिकित्सा का ही उपचार हो पाता है गंभीर बीमारियों हेतु इस योजना में उपचार संभव नहीं है।

सुझाव :-

1. मोबाइल यूनिट में सेवा का समय बढ़ाया जाना चाहिए ताकि और अधिक लोग इस योजना का लाभ लेकर स्वस्थ हो सकें।
2. मोबाइल यूनिट की संख्या में वृद्धि की जानी चाहिए।
3. मोबाइल यूनिट का विस्तार के वाले नगरी निकाय को ही नहीं वरन ग्रामीण क्षेत्र की जनता के लिए भी किया जाना चाहिए।
4. टेस्ट की संख्या बढ़ाई जानी चाहिए ताकि लोगों को प्राइवेट लैब में न जाना पड़े।

निष्कर्ष :-

किसी भी योजना की सफलता का पैमाना उस योजना का लाभ और लाभ उठाने वाले और उनसे मिली प्रतिक्रिया होती है इस योजना का धरातल पर क्रियान्वयन और मरीजों को मिल रहे लीज़ की हकीकत जानने जब नगरीय निकाय प्रशासन विभाग द्वारा फीडबैक पोल कराया गया तो 3:00 93% लोगों ने इसे एक्सीलेंट बहुत बढ़िया 4.18% लोगों ने बढ़िया गुड कहकर इसकी सफलता पर मुहर लगाई है अब तक लगभग 2000000 बीमार व्यक्ति इस योजना से लाभान्वित हुए हैं जिससे पुरुष महिलाएं बच्चे 30% श्रमिक एवं श्रमिक परिवारों ने इस योजना का लाभ लिया है इस सेवा को बेहतर बनाने विभाग द्वारा सतत मॉनिटरिंग और स्टाफ की उपस्थिति सुनिश्चित करने के लिए रेटिंग रियल टाइम जीपीएस सीसीटीवी कैमरा आदि की भी व्यवस्था की गई है। मुफ्त दवा और लैब टेस्ट से राज्य के बीमार व्यक्ति पर आर्थिक बोझ में भी काफी कमी आई है। अतः यह कहा जा सकता है कि मात्र 1 वर्ष में ही सबके लिए वरदान बनी इस योजना ने कोरोनाकाल में कोविड जाँच सहित वैक्सीनेशन में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है।

संदर्भ :-

जनमत

नगर निगम राजनांदगांव

उद्यमिता

1. योजना, आर्थिक एवं सांख्यिकी संचालनालय छ.ग. शासन रायपुर
2. संचालनालय नगरीय प्रशासन विभाग छ.ग. शासन



राष्ट्रहिताय संस्कृतम्

Journal of Fundamental & Comparative Research

This is to certify that the article entitled

राजीव गांधी ग्रामीण भूमिहीन कृषि मजदूर न्याय योजना एक समीक्षा
(राजनांदगांव जिले के विशेष संदर्भ में)

Authored By

डॉ. के. एल. टाण्डेकर

प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

Published in

Shodhasamhita : Journal of Fundamental & Comparative Research ; IF = 7.268

Vol. VIII, Issue 2, No. 6 July – December : 2022

ISSN: 2277-7067

UGC Care Approved, Peer Reviewed and Referred Journal

Kavikulaguru Kalidas Sanskrit University, Ramtek



ज्ञान-विज्ञान विमुक्तये
UGC

University Grants Commission
Approved Journal



Prof. Shri. V. V. Varkhedi



राष्ट्रहिताय संस्कृतम्

Journal of Fundamental & Comparative Research

This is to certify that the article entitled

राजीव गांधी ग्रामीण भूमिहीन कृषि मजदूर न्याय योजना एक समीक्षा
(राजनांदगांव जिले के विशेष संदर्भ में)

Authored By

डॉ. के. एल. टाण्डेकर

प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

Published in

Shodhasamhita : Journal of Fundamental & Comparative Research ; IF = 7.268

Vol. VIII, Issue 2, No. 6 July – December : 2022

ISSN: 2277-7067

UGC Care Approved, Peer Reviewed and Referred Journal

Kavikulaguru Kalidas Sanskrit University, Ramtek



ज्ञान-विज्ञान विमुक्तये
UGC

University Grants Commission
Approved Journal



Prof. Shri. V. V. Varkhedi

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान (छत्तीसगढ़ के राजनांदगाँव नगर निगम क्षेत्र के विशेष संदर्भ में)

रागिनी शोधार्थी सहायक प्राध्यापक(वाणिज्य) शा. दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय राजनांदगाँव छ.ग. भारत
डॉ. टाण्डेकर के.एल. शोध निर्देशक प्राचार्य शा. दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय जिला राजनांदगाँव छ.ग.
डॉ. भाटिया एच. एस. सह शोध निर्देशक विभागाध्यक्ष शा. दिग्विजय स्वशासी महा. राजनांदगाँव छ.ग. भारत

1. शोध सार :-

राज्य के नागरिकों को रोजगार की सुविधा प्रदान करने के लिए राज्य शासन द्वारा महत्वाकांक्षी योजनाओं को पूर्ण करने के लिए व्यावसायिक परियोजना की शुरुआत की गई। इस योजना का क्रियान्वयन राज्य स्तर पर छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल द्वारा किया जा रहा है इस परियोजना के अंतर्गत प्रत्येक हितग्राहियों को कम कीमत पर व्यावसायिक परिसर प्रदान किया जाता है। वर्तमान में मंडल द्वारा राज्य में लगभग 2000.00 व्यावसायिक परिसरों का निर्माण किया जा चुका है। इस योजना में लगभग 200000.00 से 9000000.00 रु. तक व्यावसायिक परिसर का मूल्य निर्धारित किया गया है। इस योजना में भवनों के क़य हेतु भाड़ा क़य योजना के माध्यम से किस्त भुगतान की सुविधा 10/15 वर्षों तक प्रदान की जा रही है इसके द्वारा निम्न आय स्तर के नागरिकों को व्यावसायिक परिसर की सुविधा प्रदान की जा रही है। इस योजना के माध्यम से हितग्राहियों को रोजगार की प्राप्ति होती है जिससे हितग्राहियों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास होता है।

2. मुख्य शब्द :-

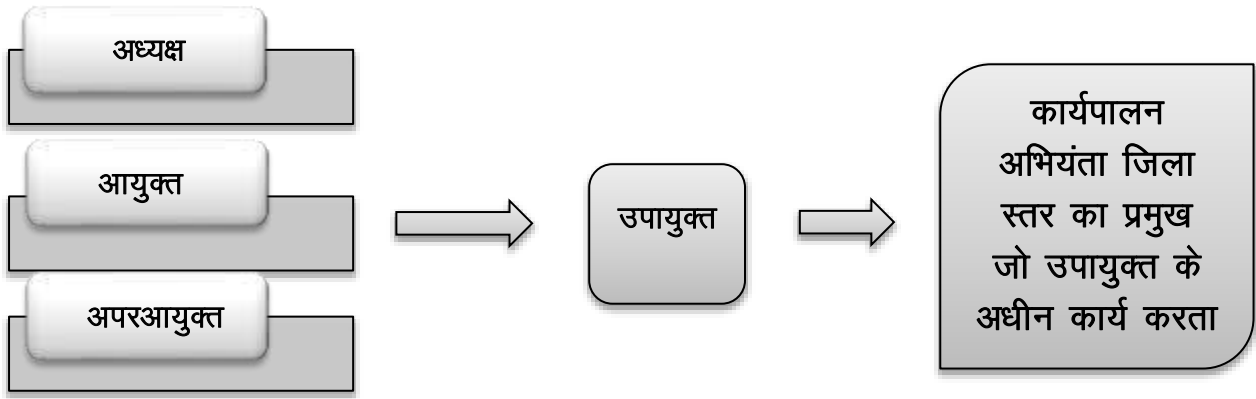
व्यावसायिक परिसर, रोजगार, सामाजिक एवं आर्थिक विकास, योजना का क्रियान्वयन, छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल

3. प्रस्तावना:-

प्राचीन काल में मानव अपनी आवश्यकताओं को पूर्ण करने के लिए शिकार एवं आखेट किया करता था तत्पश्चात् धीरे धीरे समय में परिवर्तन हुआ एवं वर्णों के आधार पर कार्य का विभाजन होने लगा वर्तमान में भी अपनी आवश्यकताओं के लिए मानव रोजगार की तलाश करता है या व्यवसाय करता है। वर्तमान में प्रमुख समस्या रोजगार एवं व्यवसाय की समस्या है। रोजगार से आशय है आजीविका अर्थात् जीवन यापन के लिए अर्थात् भोजन, वस्त्र, आवास, चिकित्सा, शिक्षा आदि पर खर्च करने के लिए आवश्यक धन अर्जन हेतु नियमित रूप से किया जाने वाला काम एवं व्यवसाय से आशय है, एक ऐसा कार्य जिसमें धन के बदले वस्तुओं अथवा सेवाओं का उत्पादन, विक्रय और विनिमय से है। यह नियमित रूप से किया जाता है तथा लाभ कमाने के उद्देश्य से किया जाता है। खनन, उत्पादन, व्यापार, परिवहन, भंडारण, बैंकिंग तथा बीमा आदि क्रियाओं से है। मानव जीवन में व्यवसाय एवं रोजगार का अत्यधिक महत्व है, उन्हें रोजगार एवं व्यवसाय से आजीविका की प्राप्ति होती है एवं मानव की आवश्यकताओं की पूर्ति भी रोजगार एवं व्यवसाय के माध्यम से होती है।

भू-संपदा के क्षेत्र में महत्वपूर्ण भूमिका निभाने के लिए एवं गुणवत्तापूर्ण किफायती आवास की उपलब्धता सुनिश्चित करने के लिए " सबके लिए आवास " कथन के साथ छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की स्थापना छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल अधिनियम 1972 के तहत (no 3 of 1973) 2000 को हुआ तत्पश्चात् अधिसूचना क्रमांक 177/3236/32/2003 दिनांक 12.02.2004 में पुनर्गठन किया गया।

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल निगमित निकाय है। जो आवास एवं पर्यावरण विभाग के अंतर्गत आता है। मंडल में 1 अध्यक्ष होता है जो विधानसभा का सदस्य, 1 आयुक्त जो आई.ए.एस.संवर्ग का होता 3 अपर आयुक्त होते हैं। जो आयुक्त के अधीन कार्य करते हैं इनका मुख्यालय नवा रायपुर है। सर्किल स्तर पर उपायुक्त होता है जिसके अधीन कार्यपालन अभियंता होते हैं कार्यपालन अभियंता जिला स्तर का प्रमुख होता है जिनके अधीन कर्मचारी कार्यरत होते हैं। वर्तमान में प्रथम/द्वितीय/तृतीय/चतुर्थ श्रेणी के कुल 646 अधिकारी/कर्मचारी कार्यरत है।



छत्तीसगढ़ शासन की व्यवसाय हेतु परिसर निर्माण करने एवं आवास की नीतियों लागू करने वाली यह प्रमुख संस्था हैं। छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल एक स्वायत्त संस्था हैं। सीमित साधनों के साथ इसकी स्थापना की गई थी। परन्तु कुछ ही समय में मंडल प्रगति के सोपानों की ओर अग्रसर है। मंडल ने विभिन्न योजनाओं के माध्यम से हितग्राहियों को संतुष्ट किया है एवं किफायती दर पर आवास एवं व्यावसायिक परिसर उपलब्ध कराया जाता है।

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल द्वारा E. W. S. एवं L.I.G. वर्गों के नागरिकों किफायती दर पर आवास एवं व्यावसायिक परिसर उपलब्धता सुनिश्चित कराने की प्राथमिकता है तथा मंडल द्वारा अटल आवास योजना, अटल विहार योजना, दीनदयाल आवास योजना में विभिन्न सुविधाओं के साथ आवास एवं व्यवसाय हेतु व्यावसायिक परियोजना के माध्यम से व्यावसायिक परिसर उपलब्ध कराया जाता है। इन योजनाओं के लिए मंडल को राष्ट्रीय स्तर पर सम्मानित किया जा चुका है। इस संबंध में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की स्थापना का प्रमुख उद्देश्य है:-

1. बेरोजगार परिवारों को अनुदान के पश्चात् कम दर पर प्राथमिकता के आधार पर व्यावसायिक परिसर की सुविधा सुनिश्चित करना।
2. राज्य के व्यवसाय एवं रोजगार की सुविधा सुरक्षित करने के लिए प्रेरित करना।
3. राज्य में व्यावसायिक गतिविधियों के मध्य की अनावश्यक प्रशासनिक एवं कानूनी बाधाओं को दूर करना।
4. राज्य की क्षेत्रीय संस्थान एवं पब्लिक प्राइवेट पार्टनरशिप, अर्द्ध निजी संस्थाओं, भवनों में विनियोग के लिए सक्रिय करना एवं प्रोत्साहित करना।

4 शोध अध्ययन का उद्देश्य :-

1. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की परियोजनाओं का अध्ययन करना।
2. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों तक पहुँच की सुनिश्चितता का अध्ययन करना।
3. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का विभिन्न क्षेत्र में योगदान का अध्ययन करना।
4. हितग्राहियों के आर्थिक विकास एवं सामाजिक विकास में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना के योगदान का अध्ययन करना।

5. शोध की परिकल्पना :-

1. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान है।
2. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना की पहुँच विभिन्न वर्गों तक है।
3. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की परियोजनाओं का क्रियान्वयन एवं मंडल की स्थिति सुदृढ़ करने में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल संभाग राजनांदगांव का महत्वपूर्ण योगदान है।

6. शोध प्रविधि:-

इस शोध पत्र में प्राथमिक आकड़ों के लिए हितग्राहियों से संपर्क किया गया एवं द्वितीयक आकड़ों के रूप में विवरणात्मक पद्धति का उपयोग किया गया है। छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल की विभागीय वेबसाइट एवं छत्तीसगढ़ गृह

निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव से विभिन्न सूचना पत्र एवं पत्रिकाओं के माध्यम से द्वितीयक आकड़ों का संकलन किया गया है।

7. व्यावसायिक परियोजना :-

छत्तीसगढ़ राज्य शासन द्वारा प्रवर्तित निम्न आय वर्ग (एल.आई.जी.) श्रेणी के हितग्राहियों हेतु इस परियोजना में व्यावसायिक परिसर का निर्माण किया जाता है। शासन के द्वारा रियायती दर पर भूमि उपलब्ध करायी जाती है। योजना स्थल की उपलब्धता तथा आवश्यकतानुसार स्वतंत्र अथवा बहुमंजिले परिसरों का निर्माण किया जाता है। परिसरों का आबंटन जिला कलेक्टर की अध्यक्षता में गठित समिति के माध्यम से किया जाता है। राजनांदगाँव जिले में उक्त योजना न्यू बस स्टैंड परिसर, गोल बाजार, जी.ई. रोड में क्रियान्वित की जा चुकी है, उक्त परियोजना में हितग्राहियों को कम कीमत पर व्यावसायिक परिसर प्रदान किया जा रहा है।

1. व्यावसायिक परिसर परियोजना नया बस स्टैंड परिसर

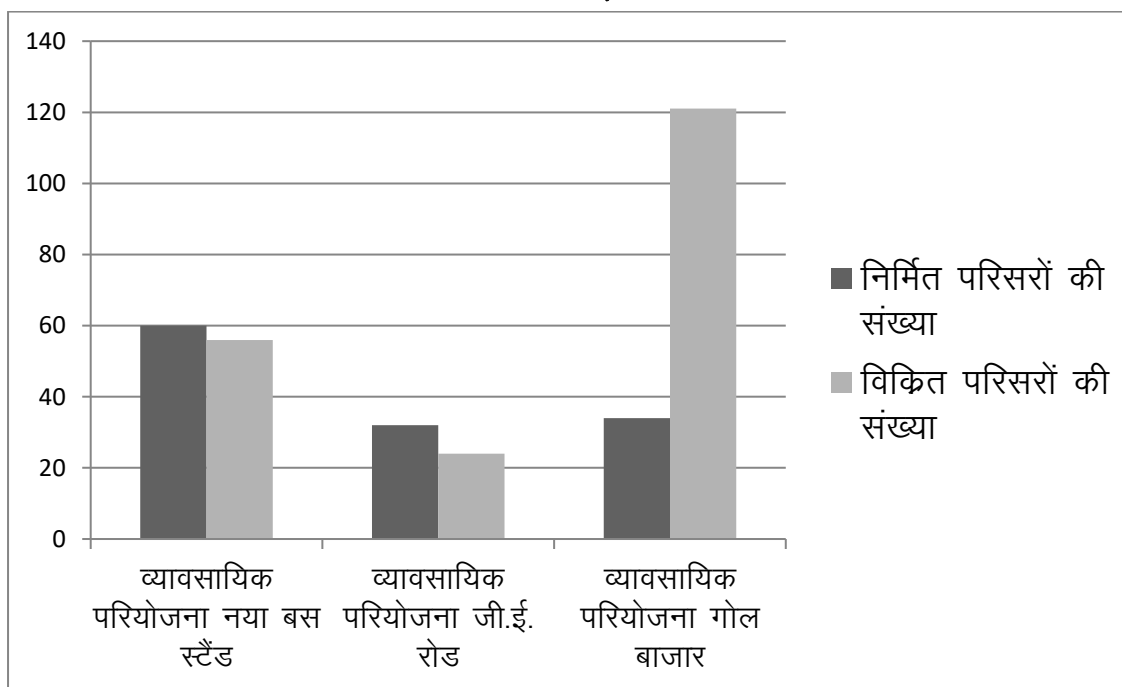
2. व्यावसायिक परिसर परियोजना गोल बाजार

3. व्यावसायिक परिसर परियोजना जी.ई. रोड

व्यावसायिक परिसर परियोजना अंतर्गत निर्मित एवं विक्रित परिसर की संख्या :-

परियोजना का नाम	परिसर का नाम	निर्मित परिसरों की संख्या	विक्रित परिसरों की संख्या
व्यावसायिक परियोजना	नया बस स्टैंड परिसर	60	56
व्यावसायिक परियोजना	जी.ई. रोड परिसर	32	24
व्यावसायिक परियोजना	गोल बाजार परिसर	34	34

व्यावसायिक परिसर परियोजना राजनांदगाँव में निर्मित एवं विक्रित भवनों की संख्या

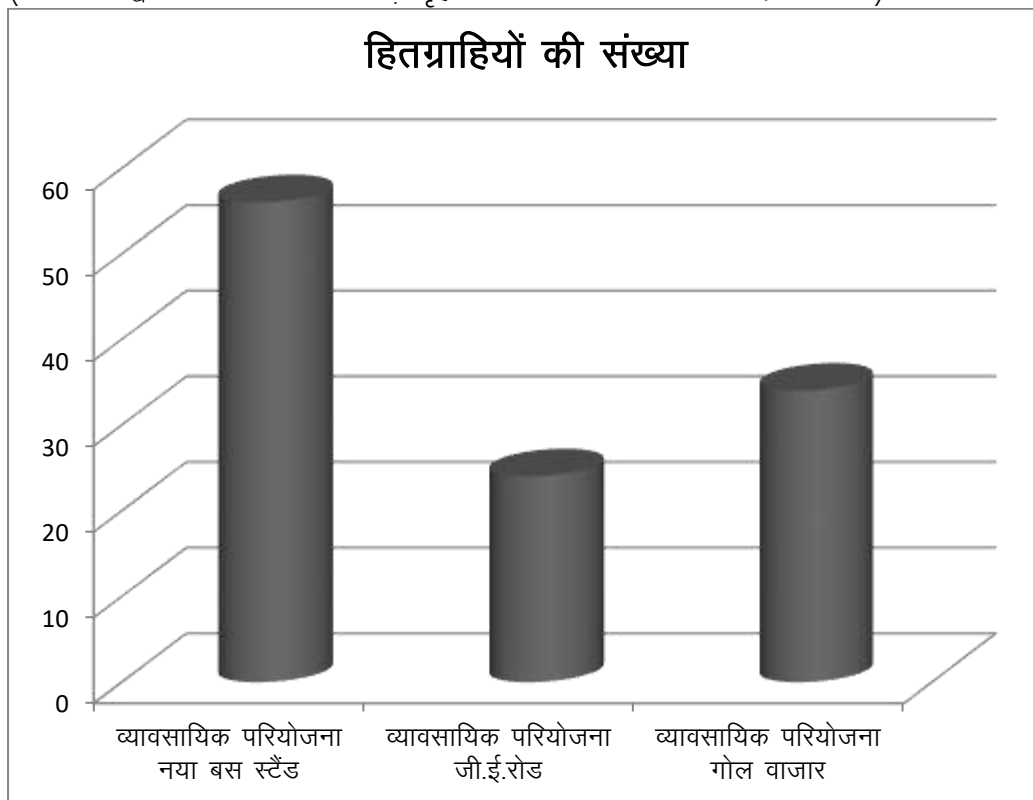


नया बस स्टैंड में निर्मित परिसरों की संख्या 60 एवं विक्रित परिसरों की संख्या 56 जी.ई. रोड में 32 एवं 24 गोल बाजार में 34 एवं 34 है।

(स्रोत :- द्वितीयक स्रोत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव छ.ग.)

क्रमांक	व्यावसायिक परिसर का नाम	हितग्राहियों की संख्या
1.	नया बस स्टैंड परिसर	56
2.	जी.ई. रोड परिसर	24
3.	गोल बाजार परिसर	34

(स्रोत :- द्वितीयक स्रोत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव छ.ग.)



व्यावसायिक परियोजना नया बस स्टैंड में हितग्राहियों की संख्या 56, जी.ई. रोड में 24, गोल बाजार में 34 है।

(स्रोत :- द्वितीय स्रोत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव छ.ग.)

8. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान का विश्लेषणात्मक अध्ययन:-

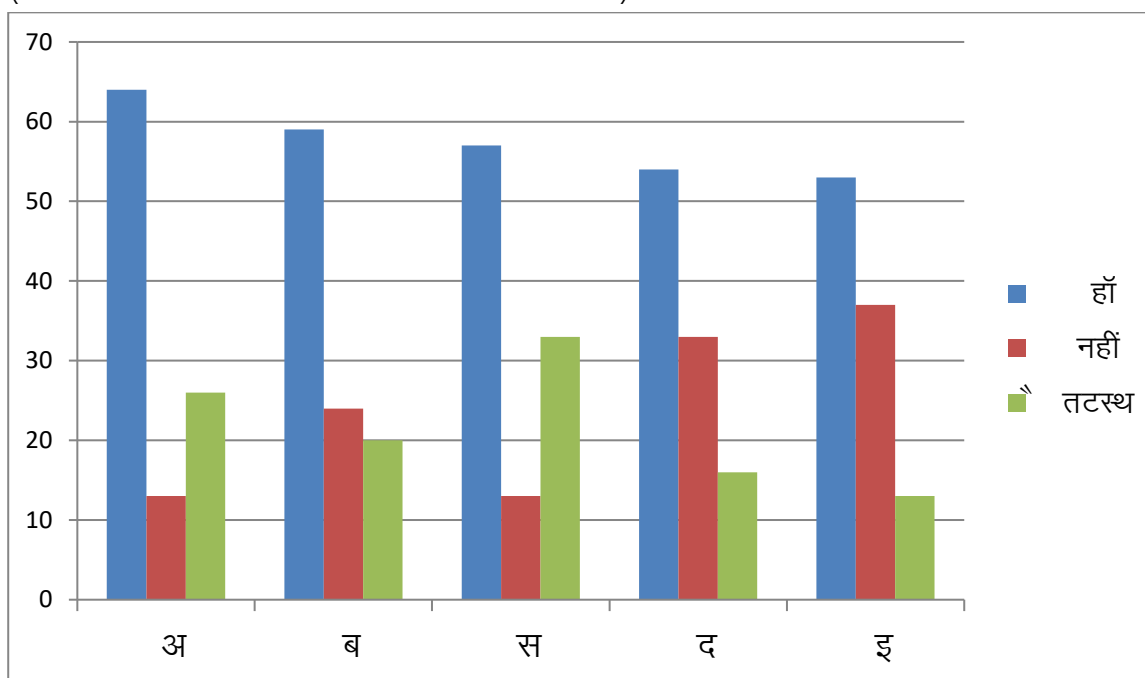
प्राथमिक आकड़ों के लिए प्रश्नावली के माध्यम से आकड़ों का संकलन किया गया प्राप्त आकड़ों के आधार पर विश्लेषणात्मक अध्ययन निम्न है:-

हितग्राहियों की संख्या :- 103

क्र.	विवरण	वर्ग	हाँ	नहीं	तटस्थ
01.	व्यावसायिक परिसर कय करने से वित्तीय स्थिति सुदृढ़ हुई।	अ	64	13	26
02.	व्यावसायिक परिसर कय करने से रोजगार की प्राप्ति हुई।	ब	59	24	20
03.	व्यावसायिक परिसर कय करने से भाड़ा कय की सुविधा प्राप्त हुई।	स	57	13	33

04	व्यावसायिक परिसर क़य करने से भाड़ा क़य की सुविधा से आपकी आय में बचत हुई।	द	54	33	16
05..	क्या आप छ.ग. गृह निर्माण मंडल की कार्यप्रणाली से संतुष्ट हैं।	इ	53	37	13

(स्रोत :- प्राथमिक स्रोत प्रश्नावली के माध्यम से संलग्न)



(स्रोत :- प्राथमिक स्रोत प्रश्नावली के माध्यम से संलग्न)

उपर्युक्त विश्लेषण से स्पष्ट है, कि व्यावसायिक परिसर क़य करने से हितग्राहियों के आय, रोजगार जीवन स्तर में वृद्धि हुई है। जिससे दृष्टिगोचर होता है कि छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान है।

9. छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना के क्रियान्वयन की प्रमुख समस्याएं:-

9.1 योजनाओं की हितग्राहियों तक पहुँच एवं प्रचार प्रसार की समस्या:-

छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल की योजनाओं के प्रचार प्रसार के अभाव के कारण जरूरतमंद हितग्राहियों तक योजना का पहुँच सुनिश्चित नहीं होता है जिससे योजना के क्रियान्वयन में समस्या होती है।

9.2 संकुचित एवं दूरस्थ क्षेत्र में योजना का क्रियान्वयन:-

मंडल द्वारा निर्मित योजना का क्षेत्र संकुचित होता है एवं जितनी भी योजनाएं निर्मित की जाती हैं। वह शहर से दूरस्थ क्षेत्र में होती हैं। जिससे व्यावसायिक परिसर के विक्रय में समस्या होती है।

9.3 शासन द्वारा अनुदान एवं पूँजी की समस्या:-

शासन द्वारा मंडल को हितग्राहियों को अनुदान एवं भूमि के अतिरिक्त कोई छुट नहीं दी जाती है एवं मंडल में पूँजी की समस्या रहती है जिससे नवीन योजना निर्मित करने में समस्या होती है।

9.4 अत्यधिक औपचारिकताएं:-

मंडल की योजना के प्रारंभ में प्रक्रिया पूर्ण करने में अत्यधिक औपचारिकताएं होती हैं एवं हितग्राहियों को नवीन परिसर क़य करने में भी अत्यधिक औपचारिकता को पूर्ण कारना होता परिणामस्वरूप परियोजना के क्रियान्वयन में समस्या होती है।

10 सुझाव एवं निष्कर्ष:-

10.1 सुझाव :-

1. योजना प्रचार प्रसार :-

योजनाओं की हितग्राहियों तक पहुँच सुनिश्चित करने के लिए विज्ञापन एवं अन्य माध्यम से योजना का प्रचार प्रसार किया जाना चाहिए।

2.विस्तृत एवं निकट क्षेत्र में परिसर का निर्माण:-

व्यावसायिक परिसर का निर्माण संकुचित क्षेत्र में न करके विस्तृत क्षेत्र में किया जाना चाहिए एवं व्यावसायिक परिसर दुरस्थ क्षेत्र में निर्मित न करके शहर के निकट किया जाना चाहिए।

3.शासन द्वारा अनुदान:-

शासन द्वारा समय समय पर अनुदान उपलब्ध करना चाहिए पूँजी के अभाव में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की परियोजनाओं का क्रियान्वित नहीं हो पाती है एवं अन्य शासकीय व्यावसायिक परिसरों के निर्माण का कार्य भी छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल को प्रदान किया जाना चाहिए जिसके परिणामस्वरूप पूँजी की समस्या नहीं होगी।

4. विशेष छुट एवं योजना का प्रावधान:-

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल के द्वारा परिसर के विक्रय हेतु विशेष छुट का प्रावधान करना चाहिए एवं विशेष वर्गों हेतु विशेष योजनाएं निर्मित करनी चाहिए जिससे व्यावसायिक परिसर के विक्रय की मात्रा में वृद्धि होगी एवं मंडल के लाभ में भी वृद्धि होगी।

5.अत्यधिक औपचारिकता में कमी करना:-

मंडल के द्वारा योजना के प्रारंभ में अत्यधिक औपचारिकता होने के देरी होती है एवं व्यावसायिक परिसर के विक्रय में भी समस्या होती है। अतः औपचारिकता में कमी करने हेतु एकल खिड़की प्रणाली एवं ऑनलाईन भुगतान की सुविधा होनी चाहिए।

10.2 निष्कर्ष:-

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल द्वारा पं.दीनदयाल आवास के माध्यम से राजनांदगाँव जिला में लगभग 150 से अधिक नागरिकों को छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल के माध्यम से व्यावसायिक परिसर की सुविधा प्रदान की गई है जिसके माध्यम से नागरिकों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास हुआ है एवं इस क्षेत्र में मंडल को 10 से अधिक पुरस्कार प्राप्त हो चुके हैं। मंडल के माध्यम से हितग्राहियों को व्यावसायिक परिसर क़य करने से रोजगार प्राप्त होता है एवं स्लम क्षेत्रों विकास होता है एवं जीवन स्तर में वृद्धि जिससे यह परिलक्षित होता है कि, व्यावसायिक परिसर के निर्माण एवं हितग्राहियों के सामाजिक एवं आर्थिक विकास में व्यावसायिक परियोजना की महत्वपूर्ण भूमिका है।

11.संदर्भित ग्रंथ:-

- 1.छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की संगवारी मंडल हितग्राही मार्गदर्शिका ।
- 2.छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की विभागीय वेबसाइट <http://cghb.gov.in> ।
- 3.अन्य वेबसाइट <https://drishtias.com> ।
- 4.शोध पद्धति डॉ. आलोक गुप्ता एवं नितिन गुप्ता ।
- 5.व्या. सांख्यिकी डॉ. एस. एम. शुक्ल एवं डॉ. शिवपूजन सहाय ।
- 6.हरिभूमि आवास एवं पर्यावरण विशेष पत्रिका ।
- 7.रायपुर संभाग के अंतर्गत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की कार्यप्रणाली एवं उपलब्धियों का विश्लेषण देवागन करुणा एवं वर्मा एल. एन. ।
- 8.शोध पत्र :-
 - 1.सबके लिए आवास की सुविधा एवं हितग्राहियों के विकास में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण की भूमिका (राजनांदगाँव जिले के विशेष संदर्भ) डॉ. टाण्डेकर के. एल. डॉ. भाटिया एच. एस. रागिनी ।
 - 2.अटल आवास योजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान (राजनांदगाँव जिले के विशेष संदर्भ) डॉ. टाण्डेकर के. एल. डॉ. भाटिया एच. एस. रागिनी ।
 3. पं.दीनदयाल आवास योजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान (छत्तीसगढ़ के राजनांदगाँव जिले के विशेष संदर्भ में) डॉ. टाण्डेकर के. एल. डॉ. भाटिया एच. एस. रागिनी ।

लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास में छत्तीसगढ़ राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन (राजनांदगांव जिले के विशेष संदर्भ में)

डॉ. के.एल. टाण्डेकर, प्राचार्य शासकीय नेहरू स्नातकोत्तर महाविद्यालय, डोंगरगढ़, जिला – राजनांदगांव, छ.ग.

डॉ. संतोष कुमार उके, सहायक प्राध्यापक – वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

श्रीमती सुमन बोथरा, सहायक प्राध्यापक – वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.).

शोध सार :-

प्रस्तुत शोध पत्र में लक्षित वर्गों (अनुसूचित जाति, अनु.जनजाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक एवं सफाई कामगार) के आर्थिक विकास में अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन किया गया है । प्रदेश एवं जिले में आर्थिक विकास की दृष्टि से इन वर्गों के विकास हेतु निगम द्वारा संचालित विभिन्न योजनाओं से संबंधित आकड़ों को दर्शाया गया है। विशेष रूप से इन वर्गों द्वारा अपनी इच्छानुसार चयनित व्यवसाय उद्योग के लिए प्रशिक्षण एवं वित्तीय सहायता उपलब्ध कराकर उन्हें आर्थिक रूप से आत्मनिर्भर बनाकर समाज की मुख्यधारा से जोड़ना एवं इनके स्वरोजगार के प्रति आकर्षित कर इनकी मानसिकता को विकसित करना है, इसके लिए निगम के माध्यम से ऋण सुविधा, ऋण वितरण, ऋण वसूली, वसूली के प्रतिशत को भी सारणी द्वारा प्रदर्शित कर विश्लेषण किया गया है तथा लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास में अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम कितना सफल रहा, इसका विश्लेषणात्मक अध्ययन किया गया।

प्रस्तावना :-

भारतीय समाज का इतिहास अत्यंत प्राचीन है, भारतीय समाज भी विश्व के अन्य देशों की संरचनाओं, संस्कृतियों से मौलिक रूप से आध्यात्मिक उद्देश्यों के कारण पृथक है। भारतीय सामाजिक संरचना का एक प्रमुख लक्षण यहाँ व्याप्त जाति व्यवस्था है, निम्न एवं कमजोर वर्ग द्वारा परम्परागत रूप से किये जाने वाले कार्य चाहे वह कितने ही उपयोगी क्यों न हो, उनको घृणा की दृष्टि से ही देखा जाता है। कमजोर वर्ग के लोग प्रतिभावान और अन्य कार्यों में दक्ष होने के बावजूद भी अपने पंसद का कार्य नहीं कर पाते थे, व्यवसायिक स्वतंत्रता के अभाव में योग्य, कुशल और चतुर होने के बाद भी यह समुदाय अपना आर्थिक विकास नहीं कर पाते थे, आजादी के बाद दलितों (लक्षित वर्गों) के उत्थान एवं आर्थिक विकास को लक्ष्य मानकर अनेक योजनाएं व कानून बनाये गए, जिससे की दलितों को सम्मान एवं न्याय मिल सकें।

लक्षित वर्गों के सम्पूर्ण विकास के लिए भारत सरकार तथा राज्य सरकार द्वारा विभिन्न उपक्रमों की स्थापना की गई, उनमें से एक छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित की स्थापना 30 अक्टूबर 2000 को की गई। इस निगम के द्वारा प्रदेश में निवासरत अनुसूचित जाति, अनुसूचित जनजाति, अन्य पिछड़ा वर्ग, अल्प संख्यक वर्ग तथा सफाई कामगार वर्ग को “लक्षित वर्ग” मानकर उनको आर्थिक एवं सामाजिक रूप से ऊपर उठाकर विकास की मुख्य धारा से जोड़कर सशक्त बनाने का लक्ष्य रखा गया है, आर्थिक विकास के लिए इन वर्गों के हितग्राहियों को उनके द्वारा चयनित व्यवसाय हेतु ऋण उपलब्ध कराया जाता है, जिनकी सहायता से इस वर्ग के हितग्राही अपना स्वयं का रोजगार प्रारंभ कर अपना आर्थिक एवं सामाजिक विकास कर अपने जीवन स्तर में सुधार कर सकते हैं।

लक्षित वर्गों की आय, जीवन स्तर एवं रोजगार की असमानता को कम करने के लिए सरकार ने रणनीति के रूप में नियोजित विकास को अपनाया है, इन वर्गों की विभिन्न समस्याओं को देखते हुए एवं इनके सामाजिक आर्थिक उत्थान के लिए राजनांदगांव जिले में कार्य कर रहे “छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित” पूरी सजगता पूर्वक कार्य कर रहा है, निगम द्वारा संचालित योजनाओं ने इन वर्गों को कैसे एवं कहा तक वित्तीय सहायता प्रदान कर आर्थिक रूप से सशक्त व स्वावलम्बी बनाया ताकि इनके आर्थिक विकास के लिए क्या –क्या कार्य किए हैं, इन सभी कार्यों का उनके आर्थिक विकास में क्या प्रभाव पड़ा, आदि का मूल्यांकन करने के लिए शोध विषय का चयन किया गया है।

शब्द सूची :-

लक्षित वर्ग, आर्थिक विकास, उत्थान, स्वावलंबी।

उद्देश्य :-

1. निगम की योजनाएं लक्षित वर्ग के आर्थिक, सामाजिक, शैक्षणिक विकास में कितनी सहायक रही, इसका विश्लेषण करना।
2. छत्तीसगढ़ राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की योजनाओं का लक्षित वर्गों के जीवन स्तर पर क्या प्रभाव रहा।
3. लक्षित वर्गों तक निगम की योजनाओं की जानकारी कैसे पहुंची तथा इनमें कितनी जागरूकता आयी, इसका अध्ययन करना।
4. निगम की योजनाओं का इन वर्गों के रोजगार पर पड़ने वाले प्रभाव का अध्ययन करना।
5. निगम की योजनाओं एवं कार्यक्रमों की समीक्षा करना तथा जागरूकता लाने में कहा तक निगम सफल रहा है।
6. योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों के सशक्तिकरण की स्थिति का मूल्यांकन करना।

परिकल्पना :-

प्रस्तावित शोध कार्य के संबंध में निम्न परिकल्पना की गई –

1. छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों की सामाजिक, आर्थिक स्थिति सुदृढ़ हुई है।
2. योजनाओं/कार्यक्रमों का लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास पर सकारात्मक प्रभाव रहा है।
3. निगम की विभिन्न योजनाओं का सुचारु रूप से क्रियान्वयन हो रहा है।

शोध प्रविधि :-

प्रस्तुत शोध अध्ययन छ.ग. राज्य के राजनांदगांव जिले के लक्षित वर्ग (अनु. जाति, अनु.जन. जाति, अन्य पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक सफाई कामगार) के आर्थिक विकास में छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन किया गया है, इसके लिए प्राथमिक तथा द्वितीयक समंको का प्रयोग किया गया है, प्राथमिक समंको के संकलन के लिए प्रत्यक्ष संपर्क कर अनुसूची एवं प्रश्नावली भरवायी गई है, इसके अलावा निगम से प्राप्त वार्षिक प्रतिवेदन जनगणना, प्रकाशन जिला सांख्यिकी पुस्तिका सांख्यिकी प्रकाशनो, रोजागार समंको से प्राप्त आकड़ों को द्वितीयक समंको के रूप में प्रयोग कर उनके सारणीयन एवं विश्लेषण, सांख्यिकी विधियों के आधार पर प्रतिशत, विकासदर, प्रवृत्तिमान का उपयोग तथ्यों की सार्थकता का प्रस्तुतीकरण किया गया है।

अध्ययन क्षेत्र एवं सीमाएं :-

प्रस्तुत अध्ययन हेतु राजनांदगांव जिला का चयन किया गया है, जिसमें निगम द्वारा संचालित आर्थिक विकास योजनाओं को लिया गया है। राजनांदगांव जिले के अंतर्गत 9 विकासखंड हैं – राजनांदगांव, डोंगरगांव, चौकी, छुरिया, मोहला, मानपुर, खैरागढ़, छुईखदान, डोंगरगढ़ आते हैं। राजनांदगांव जिला छ.ग. राज्य के पश्चिम भाग में स्थित राज्य का सबसे बड़ा जिला है। वर्तमान अध्ययन कार्यक्षेत्र राजनांदगांव जिला में संचालित निगम (विभाग) से प्राप्त सूची के आधार पर लगभग 10 प्रतिशत हितग्राहियों का चयन कर इन्हे अध्ययन की ईकाई के रूप में सम्मिलित किया गया है, जिसमें अनु. जाति, अनु.जन जाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक, सफाई कामगार वर्ग के हितग्राहियों को शामिल किया गया है। शोध प्रबंध के अध्ययन की अवधि का निर्धारण भी करना एक व्यवहारिक समस्या है। अतः उपलब्ध योजनाओं का अध्ययन उन आकड़ों की उपलब्धता के आधार पर अलग-अलग समयावधि पर किया गया है।

राजनांदगांव जिले का परिचय एवं भौगोलिक स्थिति :-

मध्यप्रदेश के तत्कालिक मुख्यमंत्री श्री प्रकाशचंद सेठी ने अविभाजित दुर्ग जिले से राजनांदगांव को जिला बनाने की घोषणा 26 जनवरी 1973 को किया, तब से यह जिला अस्तित्व में आया है, राजनांदगांव जिला छत्तीसगढ़ के अंचल में स्थित पश्चिम भाग में स्थित छ.ग. राज्य का सबसे बड़ा जिला जो वर्तमान में दुर्ग संभाग के अंतर्गत आता है। 1973 में कुल भौगोलिक क्षेत्रफल 11127 वर्ग किमी था। वर्तमान में कुल भौगोलिक क्षेत्रफल 8022.5 वर्ग किमी है। जिले का विस्तार 20°70' से 22°29' उत्तरी अक्षांश तथा 80°23' से 81°29' पूर्वी देशांतर के मध्य है, समुद्रतल से औसत ऊँचाई 330°78 मीटर इसकी उत्तर से दक्षिण लम्बाई 148.4 कि.मी. तथा पूर्व पश्चिम लम्बाई 89 कि.मी. है। जिले की कुल जनसंख्या 2001 के अनुसार 1283224 थी, जो बढ़कर 2011 में 1537133 हो गई, इसी प्रकार जिले के अधिकांश तहसीलों में जनसंख्या वृद्धि हुई है, वर्ष 2011 की जनगणना के अनुसार सर्वाधिक जनसंख्या राजनांदगांव तहसील में तथा सबसे कम मोहला तहसील में दर्ज की गई है।

छ.ग. अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम का परिचय कार्य एवं उद्देश्य :-

भारत सरकार द्वारा संविधान में उल्लेखित अनुच्छेदों के तहत घोषित अनु.जाति, अनु.जन.जाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक एवं सफाई कामगारों (लक्षित वर्ग) के लोगों को स्वरोजगार एवं वित्तीय सहायता प्रदान करने के उद्देश्य से छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम का गठन म.प्र. सहकारी सोसायटी (पुनर्गठन एवं निर्माण) अध्यादेश क्रमांक 04 सन् 2000 के अंतर्गत दिनांक 30.10.2000 को किया गया छ.ग. में कुल आबादी 32% अनुसूचित जनजाति एवं 13% अनुसूचित जाति वर्ग का है, इन दोनों को विशेष ध्यान में रखते हुए इनके आर्थिक विकास एवं गरीबी रेखा से नीचे के अंतिम छोर के व्यक्ति को वित्तीय सहायता दिलाकर स्वालम्बी बनाने के उद्देश्य पर निगम छ.ग. प्रदेश एवं राजनांदगांव जिले में विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन कर रहा है। इसके अतिरिक्त पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक वर्ग, सफाई कामगारों की मुक्ति एवं पुर्नबास के लिए आर्थिक मूलक योजनाओं के दायित्व का निर्वहन निगम कर रहा है। बेरोजगार युवकों में व्यवसायिक मानसिकता विकसित करने के उद्देश्य से व्यवसाय पूर्व प्रशिक्षण देने के लिए उद्यमी विकास संस्थान एवं प्रशिक्षण सह-उत्पाद केन्द्र का विलय छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित में किया गया है।

लक्षित वर्ग समूह – छ.ग. राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम द्वारा लक्षित वर्ग समूह वर्ग समूह के अंतर्गत अनु. जाति, अनुसूचित जनजाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक वर्ग एवं सफाई कामगार वर्ग को शामिल किया गया है, इन वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास हेतु विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन निगम कर रहा है।

अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की लक्षित वर्गों के लिए जिले में संचालित विभिन्न योजनाओं एवं उनका क्रियान्वयन बाबद— राजनांदगांव जिले में लक्षित वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास को ध्यान में रखते हुए छ.ग. अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित राष्ट्रीय वित्त पोषक निगमों के सहयोग से अलग-अलग वर्गों के हितार्थ संचालित विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन सफलतापूर्वक कर रहा है, राष्ट्रीय वित्त पोषक निगमों में प्रमुख (1) राष्ट्रीय अनुसूचित जाति वित्त एवं विकास निगम (2) राष्ट्रीय अनुसूचित जनजाति वित्त एवं विकास निगम (3) राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग वित्त एवं विकास निगम (4) राष्ट्रीय अल्प संख्यक वित्त एवं विकास निगम (5) राष्ट्रीय सफाई कामगार वित्त एवं विकास निगम है, इन लक्षित वर्गों के लिए संचालित योजनाएँ निम्नानुसार हैं—

- 1. अनुसूचित जाति –** अनुसूचित जाति वर्ग के हितग्राहियों को आर्थिक रूप से सशक्त करने हेतु संचालित योजनाएँ (1) महिला समृद्धि योजना (2) माइक्रो क्रेडिट योजना (3) ट्रेक्टर ड्राली योजना (4) स्माल बिजनेस योजना (5) गुड्स कैरियर योजना (6) पेसेन्जर व्हीकल योजना (7) शिक्षा ऋण योजना (8) लघु व्यवसाय योजना
- 2. अनुसूचित जनजाति –** अनुसूचित जनजाति वर्ग के लिये संचालित योजनाएँ (1) ट्रेक्टर ड्राली योजना (2) गुड्स कैरियर योजना (3) पेसेन्जर व्हीकल योजना (4) आदिवासी महिला सशक्तिकरण योजना (5) स्माल बिजनेस योजना (6) शिक्षा ऋण योजना
- 3. राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग—** राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग के लिए संचालित योजनाएँ (1) टर्म लोन योजना (2) माइक्रो क्रेडिट योजना (3) जनरल लोन योजना (4) नई स्वर्णिम योजना (5) आकांक्षा शैक्षिक ऋण योजना (6) महिला समृद्धि योजना
- 4. अल्पसंख्यक वर्ग—** अल्पसंख्यक वर्ग के लिए संचालित योजनाएँ (1) टर्म लोन योजना (2) शैक्षिक ऋण योजना (3) लघु वित्त (माइक्रो फायनेन्स) योजना (4) महिला समृद्धि योजना (5) व्यक्ति मूलक बड़ी ऋण योजना
- 5. सफाई कामगार वर्ग—** सफाई कामगार वर्ग के लिए योजनाएँ (1) व्यक्ति मूलक योजना (2) आटो शिक्षा योजना (3) स्वच्छता से संबंधित वाहन योजना (4) सेनेटरी मार्ट योजना (5) महिला समृद्धि योजना (6) माइक्रो क्रेडिट योजना (7) महिला अधिकारिकता योजना आदि का क्रियान्वयन निगम द्वारा किया जा रहा है। जिला अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित राजनांदगांव द्वारा वर्ष 2000 से 2016 तक वर्गवार योजनाओं में वितरित राशि के आंकड़े निम्न तालिका अनुसार हैं—

वर्गवार योजनाओं के आंकड़े (वर्ष 2000 से जून 2016 तक) राशि लाख रुपये में

क्रमांक	विवरण	वितरित राशि	वसूल की गई राशि	बकाया राशि	वसूली का प्रतिशत
01	अनुसूचित जाति वर्ग	32767840	18598430	14169410	56.75%
02	अनुसूचित जनजाति वर्ग	50337405	25650839	24686566	50.95%
03	पिछड़ा वर्ग	7304968	3823932	3481036	52.35%
04	अल्पसंख्यक वर्ग	5003145	1515493	3487653	30.29%
05	सफाई कामगार वर्ग	12851766	2256663	10596103	17.55%
योग –		108265124	51844357	5642767	47.88%

स्त्रोत – अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम राजनांदगांव (छ.ग.)

उपरोक्त तालिका से स्पष्ट है कि जिला अंत्यावसायी वित्त विकास निगम राजनांदगांव द्वारा जिले में लक्षित वर्गों को आर्थिक एवं सामाजिक विकास की दृष्टि से विभिन्न योजनाओं के माध्यम से आर्थिक सहायता उपलब्ध कराई गई जिससे अनुसूचित जाति, अनुसूचित जनजाति, पिछड़ा वर्ग का वसूली प्रतिशत क्रमशः 56.75%, 50.95%, 52.35%, है जो अन्य वर्गों की तुलना में सर्वाधिक है, इसका कारण इन वर्गों का शिक्षित एवं जागरूक होना दर्शाता है वहीं अल्पसंख्यक तथा सफाई कामगारों क्रमशः 30.29 एवं 17.55 % रहा है। ऋण का प्रतिशत कम होने से जिले में निगम की राशि विभिन्न राष्ट्रीय निगमों को समय पर वापस करने में कठिनाई होती है, जिले में कुल वसूली का प्रतिशत 47.88% है जो कि निगम द्वारा संचालित योजना के सफल क्रियान्वयन से सभी वर्गों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास संभव हो सका है।

समस्या एवं सुझाव –

लक्षित वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योजनाओं के क्रियान्वयन में जिला अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की महत्वपूर्ण भूमिका रही है, विषय के अध्ययन विश्लेषण के समय हमें कई चुनौतियों एवं कठिनाइयों का सामना करना पड़ा है, योजनाओं के क्रियान्वयन में हितग्राहियों की अशिक्षा, निष्ठा, प्रतिबद्धता, कर्मठता, इच्छा शक्ति तथा योजनाओं की सही जानकारी का हितग्राहियों तक सही समय एवं सही परिस्थितियों में नहीं पहुँच पाना तथा इसका ज्ञान न होना निर्धारित समय पर लक्ष्य की पूर्ति न होना वसूली का शत-प्रतिशत नहीं होना, वसूली में विलम्ब जैसी प्रमुख समस्या पायी गई है, निगम के कर्मचारी, अधिकारी का भी सहयोग एवं समन्वय का आभाव रहा है, निगम की योजनाएँ आर्थिक विकास अर्थात् ऋण वितरण से संबंधित होने के कारण वितरण प्रक्रिया में जटिलता से भी हितग्राही योजना का सही लाभ उठाने में असमर्थ रहे हैं, निगम की विभिन्न योजनाओं के क्रियान्वयन का लक्षित वर्गों के आर्थिक सामाजिक विकास पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा एवं उनकी स्थिति सुदृढ़ वसूली हो इसके लिए निम्नलिखित सुझाव प्रस्तुत है –

सुझाव –

1. हितग्राहियों को सरलता से ऋण उपलब्ध हो सके इसके लिए ऋण लेने की औपचारिकता को कम करने की आवश्यकता है।
2. निगम द्वारा ऋण वितरण, ऋण वसूली की प्रक्रिया को सरल बनाना चाहिए।
3. योजनाओं का व्यापक प्रचार-प्रसार किया जाना चाहिए जिससे कि हितग्राहियों द्वारा योजनाओं को अधिक लाभ उठाया जा सके।
4. ऋण पर ब्याज दर में कमी करना आवश्यक है ताकि हितग्राहियों को अधिक भार उठाना ना पड़े।
5. हितग्राहियों को प्रोत्साहन स्वरूप कुछ अतिरिक्त सुविधाएँ प्रदान करनी चाहिए।
6. आवेदकों के चयन प्रक्रिया पूर्ण रूप से पारदर्शी होनी चाहिए, जिससे योग्य, ईमानदार, परिश्रमी, लगनशील दृढ़ ईच्छाशक्ति एवं कर्मठ व्यक्ति का चयन हो ताकि ऋण की राशि का सही उपयोग हो सके।
7. निगम द्वारा योजनाओं के क्रियान्वयन की जवाबदेयता तय होनी चाहिए।
8. निगम की कुछ योजनाओं पर ब्याज मुक्त ऋण दिया जाए ताकि अधिक से अधिक हितग्राही आकर्षित हो सके।

निष्कर्ष –

वर्तमान समय में बेरोजगारी पूरे विश्व में प्याप्त है। अनु.जाति, जनजाति, पिछड़ा वर्ग एवं अल्प संख्यक एवं सफाई कामगारों ने बेरोजगारी की समस्या को समाप्त करने तथा इस वर्ग के हितग्राहियों को स्वरोजगार प्रदान करने के दृष्टि से छ.ग. अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन कर रही है। निगम विभिन्न योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों को वित्तीय सहायता प्रदान कर रही है। इन योजनाओं का लक्षित वर्ग पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा है, साथ ही जिले के लक्षित वर्गों की सामाजिक, आर्थिक, शैक्षणिक स्थिति सुदृढ़ हुई साथ ही रोजगार, स्वरोजगार के अवसर उपलब्ध हुए। इन योजनाओं के क्रियान्वयन से लक्षित वर्गों के जीवन स्तर में सुधार आया है और वे विकास की मुख्यधारा से जुड़कर आर्थिक रूप से सक्षम बन रहे हैं। इन वर्गों के आर्थिक रूप से विकसित होने से समाज का, गांव का, जिले का, राज्य का एवं राष्ट्र का भी विकास हो रहा है।

संदर्भ सूची –

1. जिला अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम राजनांदगांव द्वारा प्रकाशित पुस्तिका।
2. मिनी माता स्वालम्बन योजना सफलता की कहानी 2012।
3. राष्ट्रीय अनुसूचित जाति, जनजाति वित्त एवं विकास निगम नई दिल्ली।
4. सफाई कामगार समुदाय खुदशाह संजीव रामकृष्ण प्रकाशन नई दिल्ली।
5. छ.ग. राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम रायपुर मार्गदर्शिका।
6. आदिवासी स्वरोजगार योजना मार्गदर्शिका।
7. जिला सांख्यिकी पुस्तिका 2014।
8. रिसर्च लिंक मार्च-2018।
9. डॉ. शांता शुक्ला, छत्तीसगढ़ सामाजिक आर्थिक इतिहास।
10. आदिवाल चंद्रमोहन आदिवासी हरिजन आर्थिक विकास, नारदन बुक सेंटर, इलाहाबाद।
11. जिला राजनांदगांव की विकास झलक – 2014

इन्टरनेट बनाम साइबर क्राइम – एक वैश्विक समस्या तथा इसका समाज पर प्रभाव – एक अध्ययन

डॉ.के.एल.टाण्डेकर, प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)
डॉ.अनिल कुमार मंडावी, सहायक प्राध्यापक समाजशास्त्र शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय,
राजनांदगांव (छ.ग.)

शोध सारांश – भारत में पिछले काफी समय से सूचना प्रौद्योगिकी का उपयोग बढ़ा है तो साइबर क्राइम के मामले भी प्रकाश में आने लगे हैं। साइबर क्राइम का बढ़ता हुआ कारण सूचना प्रौद्योगिकी और इंटरनेट की बढ़ती हुई प्रवृत्ति है, जिसके कारण क्राइम पैदा होते हैं, कम्प्यूटर, इंटरनेट, मोबाइल फोन, कम्प्यूटरीकृत बैंकिंग, क्रेडिट व डेबिट कार्ड आदि का प्रयोग आज काफी प्रचलन में है, इंटरनेट के माध्यम से कुछ निजी स्वार्थी सिर्फ कौतुहल के लिए क्राइम को अंजाम देने के प्रयास लगातार कर रहे हैं, इसका समाज पर भी आर्थिक, सामाजिक, मनोवैज्ञानिक प्रभाव पड़ रहा है, सूचना समाज की प्रगति का आधार है सूचना तंत्र का तेजी से विश्व स्तर पर फैलाव हमारी चिंता में बढ़ोत्तरी कर रहा है, यह एक वैश्विक समस्या का रूप ले रहा है। अतः इसके निदान के लिए साइबर क्राइम कानून भी बनाए गए हैं, जिससे इसे जड़ से समूल नष्ट किया जा सकता है, आज वैश्विक जागरूकता तथा बौद्धिक सांस्कृतिक रचनात्मक एकजुटता से इसमें बदलाव किया जा सकता है, जो एक मिशाल होगी।

प्रस्तावना – विश्व में भारत ही नहीं वरन चीन, रूस, अमेरिका, ब्राजील, पूर्वी यूरोप सहित कई देशों में साइबर क्राइम उभरकर सामने आ रहा है, किंतु वर्तमान में कॉल सेंटर के माध्यम से यह हैकिंग एवं धोखाधड़ी का वैश्विक उद्योग बनता जा रहा है जो कि चिंता का विषय है। आज आतंकवादी गतिविधियों में भी इंटरनेट आधारित हमलों से कम्प्यूटर वायरस जैसे साधनों के माध्यम से कम्प्यूटर नेटवर्क में जानबूझ कर व्यवधान उत्पन्न करना है। कम्प्यूटर प्रणालियों में हैकिंग, कमजोर नेटवर्क में वायरस डालना, वेबसाइट विरुद्ध सेवा से इंकार हमला या इलेक्ट्रॉनिक माध्यमों से धमकिया आदि साइबर क्राइम को ही बढ़ा रहा है। यह भी सर्वविदित है कि इंटरनेट के विस्तार होने से साइबर क्राइम का भी विस्तार हो रहा है, कुछ शरारती तत्व मनोरंजन/कौतुहल के लिए साइबर क्राइम को अंजाम देने से भी बाज नहीं आते हैं एक अध्ययन से ज्ञात हुआ है कि अमेरिका में दुनिया भर की एंटी वायरस बनाने वाली कम्पनियां ही साइबर क्राइम को रोक पाने में असमर्थ हो रही हैं। हम आज भले ही अनचाहे काल रिसिव करे हाई टेक्नोलॉजी वाले सिक्योरिटी साफ्टवेयर से कवर कर दें, लेकिन ऐसे अनवांटेड मेल को रोक पाना असंभव है। आज देश में इंटरनेट यूजर की संख्या लगभग 45 मिलियन यानी साढ़े चार करोड़ है, यूजर्स की संख्या में इजाफा हो रहा है, जिससे ऑनलाइन साइबर क्राइम की घटनाएं बढ़ने लगी हैं, एसोचैम के महासचिव श्री डी.एस. रावत की चिंता का सबसे बड़ा कारण है कि साइबर क्राइम में शामिल लोगों में 18–30 वर्ष आयु के लोग अधिक हैं उनका कहना है कि किसी भी देश की आर्थिक वृद्धि तथा आंतरिक व बाह्य सुरक्षा तथा प्रतिस्पर्द्धा क्षमता इस बात पर निर्भर करती है कि साइबर स्पेस कितना सुरक्षित व अभेद है।

जेम्स स्कैवेटजर के अनुसार एक अपराध कम्प्यूटर अथवा उसके संघटक हिस्सों (नेटवर्क, प्रिंटर आदि) तक पहुंच का प्रयोग एक आवश्यक तत्व है अर्थात् कम्प्यूटर के प्रयोग के बिना साइबर क्राइम पारित नहीं किया जा सकता साइबर क्राइम के बढ़ते एवं बदलते आयामों इंटरनेट के उपयोग पर रोक लगाने के संभावित उपायों पर विमर्श ही इस शोध आलेख का उद्देश्य है।

अवधारणा :- साइबर शब्द विलियम गिगसन की देन है, उनकी 1948 में प्रकाशित पुस्तक न्यूरो मेन्सर में वर्णित साइबर स्पेस शब्द से हुआ, इसका अभिप्राय कम्प्यूटर के द्वारा उत्पन्न त्रिआयामी रेखाचित्र है, बाद में साइबर स्पेस का अर्थ बदलकर इंटरनेट के रूप में अंतर्संबंधित वैश्विक कम्प्यूटर तंत्र इंटरनेट बना है। आज वर्ल्ड वाइड वेब (www) इंटरनेट का महत्वपूर्ण स्रोत है जिस पर सभी नेट संचालित होते हैं। साइबर ला से तात्पर्य संसूचना विधि से है। आज हम पलक झपकते ही कल्पना से किसी भी स्थान से किसी भी स्थान पर संपर्क एवं संवाद स्थापित कर सकते हैं। किसी भी व्यक्ति, स्थान, वस्तु से संबंधित जानकारी एवं सूचनाएं आदान-प्रदान कर सकते हैं, जिसका श्रेय इंटरनेट पद्धति को जाता है। इसी के कारण आज पूरी दुनिया सिमटकर एक वैश्विक गांव में परिवर्तित हो गई है, यह भी कहा जा सकता है कि पूरा विश्व एक कम्प्यूटर में समा गया है, साइबर अपराध का क्षेत्र बहुत व्यापक है वायरस के माध्यम से व्यवस्था को बाधित करना पाणोग्राफी छद्म ई-मेल ऑनलाइन खातों को हैक कर लेना आतंकवादी गतिविधियों का संचालन डाटाबेस कि चोरी इंटरनेट के जरिए ठगी तथा आंतरिक सुरक्षा से जुड़ी सूचनाओं कि चोरी आदिकृत साइबर क्राइम की श्रेणी में आते हैं। अतः हम कह सकते हैं कि साइबर क्राइम का तात्पर्य यह है कि संगणक से संबंधित धोखाधड़ी और जालसाजी तथा आंकड़ों तक प्रवेश तथा आंकड़ों के साथ छेड़छाड़ करना एवं क्रेडिट कार्ड ब्यौरा का पता कर चूना लगाना और अहम सूचनाओं की चोरी करना शामिल है, 21वीं शताब्दी में साइबर क्राइम विश्वव्यापी समस्या के रूप में सामने आया है।

उद्देश्य :-

1. साइबर क्राइम के बढ़ते आयामों के कारण एवं उन पर रोक लगाने के संभावित उपाय का अध्ययन करना।

2. साइबर क्राइम के विश्व व्यापी प्रभाव का अध्ययन करना।
3. इंटरनेट एवं साइबर क्राइम के निराकरण हेतु किए जा रहे शासकीय प्रयास का अध्ययन करना।

साइबर क्राइम एक वैश्विक समस्या –

सूचना समाज की प्रगति का मूल आधार है, सूचना प्रौद्योगिकी के युग में सूचना तंत्र का असर पूरे विश्व में तीव्रता के साथ फैल रहा है, यही व्यापक फैलाव विश्व स्तर पर चिंता में बढ़ोतरी कर रहा है, सूचनाओं से संबंधित संपूर्ण जानकारी इंटरनेट, कम्प्यूटर के माध्यम से पलक झपकते ही हमारे सामने होता है, इनसे हमारा कार्य आसान हो जाता है वहीं दूसरा पहलू भी है जो विकास के रास्ते पर सबसे अधिक बाधा उत्पन्न करता है, यही अवरोध की प्रमुख बजह साइबर क्राइम को जन्म देता है। केवल भारत में ही साइबर क्राइम उभर कर सामने आया है ऐसी बात नहीं है बल्कि चीन, रूस, अमेरिका, ब्राजील, पूर्वी यूरोप आदि देश में साइबर अपराध परिलक्षित हुआ है, इसका कारण बड़ी संख्या में काल सेंट्रो स्पेन हैकिंग और धोखाधड़ी वैश्विक उद्योग है, रूस, भारत और ब्राजील में साइबर क्राइम की बढ़ोतरी विशेष चिंता का विषय है।

साइबर क्राइम आतंकवाद हमलों से बचने के लिए भारत में केपीएमजी की संगठन तथा संयुक्त राष्ट्र अमेरिका तथा अन्य देशों ने अपनी महत्वपूर्ण सूचना प्रणालियों की रक्षा के लिए आवश्यक कदम उठाए हैं, जैसे अमेरिका पिछले पांच वर्षों में अपनी महत्वपूर्ण इलेक्ट्रॉनिक सुरक्षा में उच्च अनुसंधान, ग्रीस और इजराइल जैसे देशों में जारी किए हैं, ताकि गंभीर और खतरनाक हमलों से रक्षा हो सके।

वर्तमान समय में विश्व स्तर पर इंटरनेट/सोशल मीडिया के प्रति बढ़ता रुझान तेजी से पारम्परिक सामाजिक एवं सांस्कृतिक मूल्यों को बदल रहा है, आज विकसित और विकासशील देश साइबर क्राइम के मामले में फिक्रमंद हैं। विभिन्न देशों में साइबर क्राइम अपराध की घुसपैठ से सभी जानकारीयों गायब होने का खतरा है, 21वीं शताब्दी में सूचना प्रौद्योगिकी समाज में साइबर क्राइम तथा साफ्टवेयर चोरी हैकिंग, धोखाधड़ी जैसी बुराइयां नई चुनौती के रूप में हमारे सामने हैं। इसके निदान के लिए साइबर क्राइम कानून भी बनाये गये हैं, आवश्यकता इस बात की है कि साइबर क्राइम को जड़ से समाप्त करने के लिए वैश्विक स्तर पर एकजुटता की जरूरत है तभी यह वैश्विक समाज बौद्धिक सांस्कृतिक रचनात्मक, स्वस्थ, खुश, मजबूत और समृद्ध विश्व समुदाय की शक्ल में वैश्विक पटल पर एक सशक्त बदलाव मील का पत्थर साबित होगा।

साइबर क्राइम का समाज पर प्रभाव –

हम यह भली भांती जानते हैं कि सोशल साइट का उपयोग कर सामाजिक दायरा बढ़ाने के लिए किया जा सकता है, लेकिन व्यवहारिक रूप में यह देखा जा रहा है, कि विभिन्न सोशल साइट्स के अधिकतर प्रयोगकर्ता उनका दुरुपयोग ही अधिक करते हैं, यही बजह है कि आजकल लोगो के लिए सोशल साइट्स मौत का कारण बनता जा रहा है, हम दिन प्रतिदिन इस तरह की घटनाएं देख और सुन रहे हैं कि वैश्विक स्तर पर साइबर क्राइम एवं इंटरनेट का दुष्प्रभाव समाज पर पड़ रहा है, इसका सामाजिक जीवन पर भी प्रभाव देखने को मिलता है, इसके जरिये यौन शोषण जैसी घटनाएं भी तेजी से बढ़ रही हैं। आज सामाजिक स्तर पर मित्रता, संबंध का दायरा भी संकुचित होता जा रहा है, सोशल साइट समाज के सामाजिक विकास में अपना योगदान देता है और कई व्यवसायों को बढ़ाने में भी मदद करता है, यह सोशल मीडिया, मार्केटिंग जैसे साधन प्रदान करता है, जो लाखों ग्राहकों तक पहुंचता है, हम आसानी से इसके माध्यम से जानकारी और समाचार प्राप्त कर सकते हैं, किसी भी सामाजिक कारण के बारे में जागरुकता पैदा करने के लिए सोशल साइट का उपयोग बहुत अच्छा है तथा इसके सकारात्मक प्रभाव भी देखे जा रहे हैं। समाज में जागरुकता पैदा करना बहुत आसान है, नौकरी तलाशने में भी मदद मिलती है, विश्व स्तर पर बिना किसी रुकावट के सामाजिक विकास एवं एक-दूसरे से बातचीत में भी सोशल साइट बहुत अच्छा साधन है इसके विपरीत साइबर क्राइम बढ़ने से लोगो में निराशा तथा चिंता पैदा बढ़ रही है, बच्चों में भी विकास विकार के लक्षण बढ़ रहे हैं। यह सभी दशा बौद्धिक स्तर पर नकारात्मकता को बढ़ावा देने में सहायक हो रही है। साइबर क्राइम ने आर्थिक रूप से पैसे के लेन देन तथा बैंकिंग सेवाओं के परिचालन से विक्रिय अपराध भी बढ़ रहे हैं।

साइबर क्राइम से सामाजिक नैतिक मूल्यों में भी गिरावट आई है, अनैतिक दुराचार में वृद्धि से इसका समाज पर बुरा प्रभाव पड़ता है, आरकूट, माइस्पेस, फेसबुक जैसे सैकड़ों देशी-विदेशी वेबसाइट जो सोशल नेटवर्किंग प्लेट फार्म मुहैया करते हैं, इन वेबसाइटों के प्रयोगकर्ता बच्चों और युवको के साथ-साथ बुजुर्ग भी शामिल हैं, सामाजिक साइट्स अर्थात् सोशल साइट्स आज के युवको के सबसे अधिक प्रिय शगल हैं, जहां पर अपना व्यक्तिगत विवरण आदि डालकर लोगो से मित्रता कर मेल जोल करते हैं। इसलिए यह आवश्यक है कि यदि आप सामाजिक नेटवर्किंग साइट्स पर सक्रिय रहते हैं, तो अपने प्रोफाइल को जरा समझाल कर रखे थोड़ी सी तकनीक का इस्तेमाल करते हुए आप अपने पासवर्ड को हैक होने से बचा सकते हैं। आजकल इस प्रकार की साइटों का प्रयोग अधिकतर लोगो द्वारा किया जा रहा है, जिससे सामाजिक संबंधों रिश्ते नातों में दूरियां आयी हैं और इसका स्थान औपचारिकताओं ने लिया है। थोड़ी सी सावधानी बरतकर हम इस प्रकार के खतरनाक प्रभाव से बच सकते हैं। समाज में साइबर क्राइम एक जटिल और गम्भीर समस्या बन गया है, जो सामाजिक और आर्थिक दोनों प्रकार के अपराध है, इस तरह यह क्राइम राष्ट्रीय तथा अन्तर्राष्ट्रीय दोनों स्तर पर सामाजिक आर्थिक एवं न्याय प्रक्रियाओं को प्रभावित कर रहा है, साइबर क्राइम का क्षेत्र विश्व

व्यापी है, इसके दुष्परिणाम से निपटने के लिए सिर्फ भारत ही नहीं बरन विश्व स्तर पर एक मजबूत कानून बनाने की आवश्यकता है, जिस तरह से इंटरनेट आतंकवाद के प्रचार-प्रसार एवं आतंकी घटनाओं को अंजाम देने में मददगार हो रहा है। उससे यही लगता है कि आने वाले दिनों में इसका समाज पर बहुत ही प्रतिकूल प्रभाव देखने को मिलेगा, इसलिए समूचे विश्व को सचेत रहने की आवश्यकता है।

इसमें कोई अतिशयोक्ति नहीं है कि कम्प्यूटर और इंटरनेट विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी की बहुत ही बहुमूल्य सौगात है, इसने जीवन को बहुत ही आसान बना दिया है तथा पूरी दुनिया को जोड़ने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है, यदि इस तकनीक को नकारात्मक एवं आपराधिक स्पर्श देने वालों की हरकतों को नियंत्रित कर लिया जाए तो इसका समुचित प्रयोग समाज के लिए अत्यंत कल्याणकारी सिद्ध होगा। अतः जरूरी हो जाता है कि संपूर्ण विश्व इसके दुष्परिणाम पर नियंत्रण करने में सजगता दिखाएं समाज औद्योगिक क्रांति के फलस्वरूप विकास की ओर अग्रसर हो रहा है लेकिन हम आज भी औद्योगिक क्रांति का लाभ उठाने में सफल नहीं हो पाए हैं, इसके विपरीत आज की युवा पीढ़ी विश्व में चल रहे डिजिटल क्रांति का लाभ उठाने में कहीं भी पीछे नहीं है। औद्योगिक क्रांति व डिजिटल क्रांति इंटरनेट के इस युग में एक नवीन साइबर अपराध के उदय होने से समाज का प्रत्येक वर्ग प्रभावित हो रहा है।

चुनौतियां –

साइबर क्राइम अपराधों में किसी व्यक्ति की निजी जानकारी का पता लगाकर धोखाधड़ी करना, क्रेडिट कार्ड का ब्यौरा पताकर लूटना तथा अत्यधिक महत्वपूर्ण जानकारी की चोरी करना शामिल है, इसके अतिरिक्त छेड़छाड़ के प्रकरण भी बढ़ रहे हैं, इनसे कैसे निपटा जाए आज यह वैश्विक मंच के समक्ष बड़ी चुनौती है, विशेषज्ञों की माने तो इस तरह के अधिकांश क्राइम किसी एक व्यक्ति की हरकत नहीं बल्कि इसके पीछे पूरा संगठित गिरोह काम कर रहा है। आदिकाल से ही क्राइम किसी न किसी रूप में मानव समाज में अपना दुष्प्रभाव छोड़ते रहे हैं, बिडम्बना तो यह है कि इन अपराधों पर नियंत्रण पाने के लिए जैसे-जैसे नए प्रावधानों कानूनी नियमों को अपनाते हैं वैसे वैसे साइबर क्राइम कम होने के बजाए नए नए स्वरूपों में बढ़कर हमारे सामने प्रदर्शित होते रहते हैं, इन विभिन्न प्रकार के क्राइम पर नियंत्रण स्थापित करना मानव समाज के समक्ष एक बहुत बड़ी चुनौती है। सरकार द्वारा उठाये गए कदमों के बावजूद अभी भी जन साधारण ई-व्यापार करने से डरता है ताकि उसे किसी प्रकार का नुकसान न हो, सरकार जनसाधारण में अभी तक इसके लिए जरूरी विश्वास पैदा नहीं कर पाई है, साथ ही सरकारी प्रयास भी अपर्याप्त एवं निरर्थक साबित हो रहे हैं, सरकार को चाहिए कि सूचना प्रौद्योगिक अधिनियमों के संपूर्ण प्रावधानों, नियमों, निर्देशों का शक्ति से लागू करे तथा इसकी कमियों को दूर कर आवश्यक संशोधन करे तभी साइबर क्राइम की चुनौतियों का सामना किया जा सकता है।

निष्कर्ष :-

उपरोक्त अध्ययन से निष्कर्ष रूप में यही कहा जा सकता है कि अत्याधुनिक तकनीक एवं सूचना प्रौद्योगिकी के बढ़ते उपयोग से मानव जीवन को सहज और सरल बनाने में महत्वपूर्ण योगदान दिया है, वहीं दूसरी ओर इससे जुड़े कई गम्भीर साइबर क्राइम भी उभर कर सामने आ रहे हैं। आज वैश्विक स्तर पर सभी देशों की समाजिक, आर्थिक, राजनीतिक, सांस्कृतिक तथा सामरिक सुरक्षा के संबंध में एक गहरी चिंता पैदा कर दी है, विश्व के सभी देश इससे चिंतित हैं तथा अपनी पूरी क्षमता एवं उपायों से इस पर नियंत्रण लगाने प्रयासरत हैं। साइबर क्राइम का प्रभाव समाज के प्रत्येक वर्गों, बच्चे, युवा, महिला, पुरुष, व्यवसाय, उद्योग, बैंकिंग वित्तीय संस्थाओं पर भी पड़ा है। साइबर क्राइम को जड़ से समूह नष्ट करने के लिए वैश्विक एकजुटता की आवश्यकता है, जो समृद्ध विश्व समुदाय की शक्ति को वैश्विक पटल पर सशक्त बदलाव की मिसाल बन सकेगी, आजकल इस प्रकार की साइटों का प्रयोग अधिकांश लोग कर रहे हैं, जिससे सामाजिक पारिवारिक संबंध में दूरियां भी बढ़ी हैं। अतः थोड़ी सी सावधानी बरतकर हम इस प्रकार के साइबर क्राइम के खतरनाक प्रभाव से बच सकते हैं। इसके लिए सामाजिक जागरूकता कम्प्यूटर साक्षरता जैसे उपायों पर ध्यान देना आवश्यक माना गया है।

शब्द कुंजी :- इंटरनेट, सूचना प्रौद्योगिकी, साइबर क्राइम, बैंकिंग, वित्तीय संस्थान, समाज अधिनियम।

संदर्भ सूची :-

1. सूचना संचार – डॉ. प्रज्ञा श्रीवास्तव।
2. प्रतियोगिता दर्पण – 2015 अपराधिक लेख।
3. मीडिया लेखन और पत्रकारिता – डॉ. यू.सी. गुप्ता।
4. साइबर अपराध – कारण एवं चुनौतियां राष्ट्रीय संगोष्ठी, फरवरी 2015 संक्षेपिका।
5. सूचना प्रौद्योगिकी अधिनियम 2000
6. Information Technology Rules 2003
7. World Economics forum Global Risk 2011 reports
8. जागरण।
9. वन इंडिया हिंदी समाचार 2009
10. अनिमेष शर्मा – साइबर सुरक्षा मुद्दे वर्तमान भारतीय साइबर कानून और उठाए जाने वाले कदम – नवभारत राइम्स 2022

भारत में राजनीति का अपराधीकरण – कारण एवं निदान

डॉ.के.एल.टाण्डेकर, प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)
श्री दीपक कुमार परगनिहा, रजिस्ट्रार शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)
श्री अरुण कुमार चौधरी, क्रीडाधिकारी शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

शोध सारांश :-

वर्तमान राजनीति युग में विश्व का प्रत्येक देश अपने देश की राजनीति में अपराधीकरण को दूर करने हेतु प्रयत्नशील हैं, भारत की राजनीति अपने संक्रमण काल के दौर से गुजर रही है। भारतीय स्वतंत्रता आंदोलन के दौरान तात्कालीन राजनीतिज्ञों ने देश प्रेम, त्याग एवं समाज सेवा की एक मिशाल कायम की थी। प्रसिद्ध विधिवेत्ता एवं प्रख्यात राजनीति विचारक नाना पालखीवाला ने कहा कि मैं नहीं सोचता कि भारत वर्ष अपने पांच हजार वर्ष के इतिहास में कभी अधोगति की ऐसी स्थिति में पहुंचा होगा जिस स्थिति में वह आज पहुंच गई है। आज भारतीय राजनीति मूल्यों के संकट और नैतिकता के बाह्य स्थिति से गुजर रही है तथा इस स्थिति में देश में जो दैव्यकारी समस्याएं हैं, भारतीय राजनीति का अपराधीकरण भारतीय राजनीति में भ्रष्टाचार का बोलबाला भारतीय राजनीति में वंशवाद, जातिवाद, संप्रदायवाद, क्षेत्रवाद आदि का समावेश ऐसा नहीं है कि राजनीति में अपराधीकरण को रोकने के प्रयास नहीं किए गए। संसद एवं विधान मण्डल के द्वारा प्रस्ताव भी पास किए गए हैं, किंतु संसद और राज्य विधान सभाओं में सर्वसम्मिति से प्रस्ताव पारित कर देने मात्र से अपराधीकरण के बढ़ते हुए चरणों को रोक पाना संभव नहीं हो पाया है, इसके लिए ठोस राजनीति इच्छा शक्ति की आवश्यकता होगी। राजनीति खुद एक दिन भुक्त भोगी होकर अपराधी और माफिया के चंगुल से मुक्त होने के लिए छटपटाएगी।

प्रस्तावना :-

राजनीति अपराधीकरण आज के सार्वजनिक जीवन की एक महत्वपूर्ण समस्या है। राजनीति और अपराध का इतना गहरा संबंध कायम हो गया कि अपराधीकरण की स्थिति का पूर्णतया अंत संभव नहीं है, लेकिन इसे नियंत्रित करना भी जरूरी हो गया है, ताकि मानवता को इस दावानल से मुक्त किया जा सके, हमारे देश ने सैकड़ों वर्षों के पश्चात् 1947 में अंग्रेजी दासता से आजादी पाई थी। आजादी के समय देश के समस्त नेताओं ने गांधी जी के रामराज्य के स्वप्न को साकार करने का संकल्प किया था, परंतु वर्तमान में भारतीय राजनीति का अपराधीकरण तीव्र गति से बढ़ रहा है, इसे देखते हुए कोई भी कह सकता है कि हम अपने लक्ष्य से भटक चुके हैं। देश के समस्त नागरिक अपना आत्म आंकलन करें और प्रयास करें कि हम जो नैतिक मूल्य खो चुके हैं उन्हें हम पुनः आत्म साध करें। देश में सभी ओर कालाबाजारी, रिश्वतखोरी, भ्रष्टाचार, जमाखोरी, जातिवाद व साम्प्रदायिकता का जहर फैल रहा है। भारत की राजनीति में अपराधीक तत्वों का प्रवेश एक दिन में नहीं हुआ है, स्वतंत्रता के पश्चात् जिस तरह से कुर्सी के लिए जीतोड़ संघर्ष आरम्भ हुआ, सभी दल अपना वर्चस्व स्थापित करने के लिए साधनों की पवित्रता, गांधीवाद, दृष्टिकोण को नकारने लगे, उससे राजनीति एवं अपराध के गठजोड़ को बनाने में अग्रणी भूमिका निभाई। जातिवाद को मिटाने के नाम पर भी इसी प्रक्रिया को बढ़ावा मिला। आवश्यकता है बढ़ते हुए आपराधिक के कारणों को खोजने एवं उसके निदान ढूढ़ने की। सर्वप्रथम हम पाते हैं कि हमारे देश की चुनाव प्रक्रिया में सुधार की आवश्यकता है। हमारी भारतीय राजनीति में धन व शक्ति का बोलबाला है। एक आंकलन के अनुसार 90 प्रतिशत से अधिक हमारे नेतागण या तो अत्याधिक धनाढ्य परिवारों से होते हैं अथवा उनका संबंध अपराधिक तत्वों से होता है।

अवधारणा :-

भारत को सैकड़ों वर्ष के बाद 1947 को आजादी मिल पायी थी, आजादी के लिए समस्त नेताओं ने प्रयास किया था और सभी नेता एक संगठित राष्ट्र बनाना चाहते थे, जिसमें भ्रष्टाचार, कालाबाजारी, रिश्वतखोरी, जातिवाद, साम्प्रदायिकता, भाई भतीजावाद का जहर न फैले ऐसा राष्ट्र चाहते थे। वास्तविक अर्थ में राजनीतिक सामाजिक समस्याओं को हल करने की एक कला और विज्ञान है। समस्याएं जिन्हें केवल सामूहिक प्रयासों के माध्यम से हल किया जा सकता है, राजनीति व्यक्तियों की जरूरतों और प्रयासों को वितरित करने की विधि है, किंतु इसमें स्वार्थीपूर्ति हेतु उत्पन्न अपराधों जो जनता के लिए अनहित सिद्ध होते हैं, राजनीति अपराधीकरण कहलाते हैं। हम सभी सामाजिक प्राणी हैं और समाज का एक नियम होता है, जब कोई प्राणी या व्यक्ति ऐसा कृत्य करने लगे जो समाज के विरुद्ध है या समाज के हित में नहीं है, अपराध की श्रेणी में आता है चाहे वो दुष्कर्म, हत्या, चोरी गलत तरीके से धन कमाना ऐसी

बहुत सारे अपराध हैं और ऐसे लोग जो अपराधिक पृष्ठभूमि से जुड़ जाते हैं और राजनीति में प्रवेश करते हैं तो यही राजनीति में अपराधिकरण कहलाता है। अपराधीकरण शब्द राजनीति में अपराधियों की बढ़ती संख्या माफियाओं की बढ़ती संख्या तथा धनबल और बाहुबल का घोटक है। इस प्रकार के लोगो को राजनीति में लाने वाला है कौन, क्या राजनीति पार्टियां या हम हैं जो इन्हे वोट देते हैं। यह विडम्बना है कि जिस देश में महात्मा गांधी, चाणक्य जैसे राजनीतिक हुए हैं जिन्होंने अहिंसा, अस्तिकता, सत्य आदि सिद्धांतों पर जोर दिया, उसी देश में आज राजनीति का अपराधीकरण चिंता का विषय बना हुआ है।

राजनीति का अपराधीकरण :-

भारत में अपराधीकरण की जड़ें काफी गहरी व पुरानी हैं। प्राचीन भारत में राजतंत्र के अलावा गुटतंत्र एवं गणतंत्र का भी अस्तित्व रहा है, किंतु प्रधानता राजतंत्र की थी। राजतंत्र निरंकुश न हो इसलिए राजनीति पर धर्म का अंकुश था। प्राचीन भारतीय राजनीतिक चिंतन में राज्य की संकल्पना सदजीवन के स्रोत एवं साधन के रूप में की गई है, यह तभी संभव है जब राजनीति निर्मल व स्वच्छ हो। भारतीय राजनीति को अपराध और अराजकता से बचाने के लिए हमारे प्राचीन नीति शास्त्रों में यह व्यवस्था कर दी गई है कि यदि राजा अपराधोन्मुख हो जाये और प्रजा पर अत्याचार करने लगे तो प्रजा को राज्य का त्याग कर राजा का वध कर उसके अराजक आचरण से स्वयं को मुक्त करना चाहिए। वर्तमान समय में धूर्त, दुष्ट और बदमाश अधिकाधिक संख्या में राजनीति में प्रवेश ले रहे हैं, इसका कारण यह है कि राजनीति सबसे शीघ्र और सबसे अधिक लाभ पहुंचाने वाला व्यवसाय बन गया है और यह विचार भी बल पकड़ रहा है कि आपराधिक तौर तरीके को अपनाने में निपुण व्यक्ति के लिए अपराध और राजनीति को एक साथ अपनाकर सत्ता में एक के बाद दूसरी सफलता प्राप्त करना सरल होना, कल जो अपराधी थे वे अब राजनीतिज्ञ बन गये हैं। राजनीति में आने के बाद भी उनके अपराधिक संपर्क बने रहते हैं तथा आपराधिक तौर तरीके छोड़ नहीं पाते या वस्तुतः छोड़ना नहीं चाहते परिणामतया राजनीति का अपराधीकरण हो जाता है इसी तरह राजनीति में भ्रष्टाचार होने के परिणाम स्वरूप अत्यधिक अपराध होने लगे। सत्ताधारी राजनीतिक दल के लोग भाई भतीजावाद, जातिवाद और गुटबाजी को स्वार्थवश प्रोत्साहन देते हैं तो इससे अनैतिकता बढ़ती है। घूसखोरी एवं अवैधानिक तरीके से इनके द्वारा कार्य करवाया जाता है, ये राजनीति दलबंदी की चरम सीमा में फंसकर हत्याये करते और करवाते हैं। राजनीति के अपराधिकरण का अर्थ राजनीति में अपराधिक आरोपों का सामना कर रहे लोगों और अपराधियों की बढ़ती भागीदारी से है, सामान्य अर्थों में यह शब्द आपराधिक पृष्ठभूमि वाले लोगों का राजनेता और प्रतिनिधि के रूप में चुने जाने का घोटक है। वर्ष 1993 में बोहरा समिति की रिपोर्ट और वर्ष 2002 में संविधान के कामकाज की समीक्षा करने के लिए राष्ट्रीय आयोग (NCRWC) की रिपोर्ट ने पुष्टि की है, भारतीय राजनीति में गंभीर अपराधिक पृष्ठभूमि वाले व्यक्तियों की संख्या बढ़ रही है वर्तमान में ऐसी स्थिति बन गई है कि राजनीतिक दलों के मध्य इस बात की प्रतिस्पर्धा है कि किस दल में कितने उम्मीदवार आपराधिक पृष्ठभूमि के हैं क्योंकि इससे उनके चुनाव जीतने की संभावना बढ़ जाती है।

नेशनल इलेक्शन वांच और एसोसिएशन फार डेमोक्रेटिक रिफार्म में (ADR) द्वारा जारी रिपोर्ट के अनुसार जहां एक ओर वर्ष 2009 में गंभीर आपराधिक मामलों वाले सांसदों की संख्या 76 थी वहीं 2019 में बढ़कर 159 हो गई इस प्रकार 2009 से 2019 के बीच गंभीर आपराधिक पृष्ठभूमि वाले सांसदों की संख्या में कुल 109 प्रतिशत की बढ़ोत्तरी देखने को मिली। पिछले लोकसभा चुनावों के आंकड़ों पर गौर किया जाए तो स्थिति यह है कि आपराधिक प्रवृत्ति वाले सांसदों की संख्या में वृद्धि ही हुई है – उदाहरण के लिए 2004 में यह संख्या 128 थी जो 2009 में 162 तथा 2014 में 185 तथा 2019 में 233 हो गई। 2014 के लोकसभा चुनाव के आंकड़ों पर गौर करें तो जांच से पता चलता है कि 542 विजेताओं में 185 (34 प्रतिशत) विजयी उम्मीदवारों के विरुद्ध आपराधिक मामले दर्ज थे इन उम्मीदवारों में से 112 (21%) पर हत्या, हत्या के प्रभाव, साम्प्रदायिक विद्वेष, अपहरण महिलाओं के विरुद्ध अपराध इत्यादि जैसे गंभीर आपराधिक मामले दर्ज थे। चुनाव में एक आपराधिक पृष्ठभूमि वाले उम्मीदवार के विजयी होने की संभावना 13% थी, जबकि एक स्वच्छ छवि वाले उम्मीदवार के जीतने के अवसर मात्र 5 प्रतिशत थे। जब हम 2005 के चुनाव में लड़ने वाले उम्मीदवारों की अपराधिक गतिविधियों के संबंध में जानकारी प्राप्त करते हैं तो सर्वेक्षण से यह पता चलता है कि विभिन्न राजनीतिक दलों के उम्मीदवार तथा उनके विरुद्ध आपराधिक मामले और इन आपराधिक श्रेणी के उम्मीदवारों में से कितने प्रतिशत विजयी होते हैं उनका विवरण निम्न तालिका से पता चलता है :-

दल	उम्मीदवार	आपराधिक मामले	विजेता	प्रतिशत
राजदा	215	74	29	39.19
जनता दल (यू)	138	56	24	42.86
भाजपा	103	48	17	35.42

लोजपा	178	60	11	18.33
कांग्रेस	84	16	03	18.75
सी.पी.आई.	17	06	02	33.33
एन.सी.पी.	31	10	02	20
सी.पी.आई.(एम.एल.)	104	48	02	4.17
सी.पी.आई.(एम)	12	07	01	14.29

एडीआर और न्यू दो गैर सरकारी संगठनों के द्वारा एकत्रित की गई जानकारी अनुसार लोकसभा के कुल 543 सदस्यों में से 162 सदस्य के विरुद्ध आपराधिक मामले दर्ज हैं जो कुल संख्या का 30% है। 14% सदस्यों के खिलाफ गंभीर आपराधिक मामले हैं। इसी प्रकार देश की राज्य विधान सभाओं में विधायकों की कुल संख्या 4032 है जिनमें 1258 सदस्य आपराधिक मामलों में लिप्त हैं जो कि देश के कुल विधायकों की संख्या का 31% है। उक्त दोनों NGO ने सर्वेक्षण में यह भी पाया कि 2009 की लोकसभा में विजयी 543 सदस्यों में से 450 ऐसे सदस्य हैं जो विभिन्न आपराधिक मामलों में लिप्त हैं।

देश के 5 राज्यों उ.प्र., पंजाब, उत्तराखण्ड, गोवा, मणिपुर में विभिन्न चरणों में मतदान प्रक्रिया अंतिम चरणों में पहुंच चुकी है। इन 5 राज्यों के विधानसभा चुनाव में दागी प्रत्याशियों के संबंध में एसोसिएशन फार डेमोक्रेटिक रिफार्मस (ADR) ने उन पांचों चुनावी राज्यों के कुल प्रत्याशियों की एक संयुक्त रिपोर्ट जारी की, जिसके मुताबिक पांचों राज्यों में चुनाव लड़ रहे कुल 6874 प्रत्याशियों में 1694 ऐसे हैं जिन पर अपराधिक मुकदमें दर्ज हैं तथा 1262 प्रत्याशियों पर गंभीर आरोप लगे हैं। सर्वेक्षण से यह भी ज्ञात हुआ कि उ.प्र. व गोवा में सर्वाधिक 26 प्रतिशत दागियों को प्रत्याशी बनाया गया है। यदि पार्टियों की बात करें तो शिरोमणी अकाली दल ने पंजाब में सबसे ज्यादा 68 प्रतिशत दागी उम्मीदवार को टिकट दिया। इस मामले में शिरोमणी अकाली दल सबसे आगे हैं। वहीं सपा 56 प्रतिशत, आरजेडी 51 प्रतिशत क्रमशः दूसरे एवं तीसरे स्थान तथा भाजपा 38 प्रतिशत दागियों के साथ चौथे नंबर पर है। इसी प्रकार दुष्कर्म एवं हत्या के आरोपियों को भी उत्तरप्रदेश चुनाव में टिकट देकर प्रत्याशी बनाया गया है। अकेले उत्तरप्रदेश में ही 37 प्रत्याशी पर हत्या का केस दर्ज है जबकि 159 पर हत्या के प्रयास का मामला चल रहा है। 69 प्रत्याशियों पर महिलाओं से जुड़े अपराध में शामिल होना का आरोप है। यह स्थिति निश्चित ही देश की स्वच्छ राजनीतिक परिवेश के लिए घातक है। समाज का प्रत्येक तबका यही चाहता है कि इस तरीके की आपराधिक गतिविधियों से समाज को मुक्त करने के लिए ठोस कानून बनाया जाना चाहिए।

राजनीति में अपराधिकरण के कारण :- भारत में राजनीति के बढ़ते अपराधीकरण के लिए अनेक कारण जिम्मेदार हैं, जैसे भारतीय राजनीति में बाहुबल का प्रभाव दीर्घकाल से राजनीतिक जीवन में एक महत्वपूर्ण तथ्य बना हुआ है। अनेक राजनेताओं द्वारा अपने वोट बैंक में वृद्धि के लिए अपराधियों के बाहुबल का उपयोग किया जाता है ये बाहुबल चुनावी गतिविधियों में अपना प्रभुत्व कायम रखने धनबल उपलब्ध कराते हैं, मतदाता भी सामान्यतः उम्मीदवार के इतिहास, उनकी योग्यता तथा चरित्रिक की जानकारी न रखते हुए उनके विरुद्ध लंबित आपराधिक मामले के प्रति भी जागरूक नहीं होते। देश की न्याय व्यवस्था की दुर्बलता ने भी अपराध को बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है। राजनीतिक दलों की गतिविधियों पर अंकुश लगाने, राष्ट्रीय एवं क्षेत्रीय दलों के मामलों में निर्धारित मापदण्डों का पालन न करने पर उनकी मान्यता रद्द करने का भी व्यापक अभाव विधान में है। राजनीतिक दलों को मिलने वाले दान, सहयोग अनुदान की राशि का कोई लेखा जोखा भी कभी निरीक्षण के लिए उपलब्ध नहीं कराया जाता। राजनीतिक दलों में आंतरिक लोकतंत्र नियमित दलीय चुनाव, दलों में कार्यकर्ताओं की नियुक्ति, समाजीकरण, विकास और प्रशिक्षण अनुसंधान, चिंतन एवं नीति नियोजन जैसी गतिविधियों का भी अभाव प्रमुख कारण माना जा सकता है।

भारतीय राजनीति में बढ़ते अपराधीकरण का कारण विश्व के सबसे बड़े लोकतंत्र जिसमें आज भी अपराधियों का दबदबा होना, चुनाव में नेताओं द्वारा माफियाओं का सहारा लेना उन लोगों को टिकिट देना जिनका अतीत जुर्म की दुनिया से तालुकात रखता है, ऐसे अनेकों उदाहरण आज हमारे सामने हैं। यदि ऐसी पृष्ठ भूमि के लोग चुनकर लोकसभा विधानसभा में जायेंगे तो निश्चित तौर पर भ्रष्टाचार एवं अपराधीकरण को बल मिलेगा। लोकतंत्र में सर्वोच्च सत्ता जनता है वही राज नेताओं को संसद तक पहुंचने की शक्ति देती है अर्थात् राजनीति की शक्ति जनता में निहित है। अपराधीकरण का इतिहास रहा है कि इन्होंने स्वयं को जिम्मेदार बताने की बजाए आरोप का सहारा लिया। राजनेता इसका जिम्मेदार जनता को मानते हैं। जनता ऐसे राजनेताओं व उनकी पार्टियों को धन व अपराध के बल पर चुनाव

जिताने वाले नेताओं को जनता ही सरकार में पहुंचाने का अवसर देती है। राजनीति में माहिर ये खिलाड़ी स्वयं पर आंच न आने देते हुए सफेद पोश का सहारा लेकर अपने असली रूप को छिपा देते हैं, बाहर से जनता के सेवक व इनका दुष्चरित्र भीतर ही भीतर राजनीति में अपराध को जन्म देता है राजनीति में अपराधिकरण को बढ़ावा

देने के निम्नलिखित प्रमुख कारण है :-

- (1.) राष्ट्रीय चरित्र का पतन
- (2.) राष्ट्रीयता की भावना का अभाव
- (3.) गरीबी, अशिक्षा
- (4.) बेरोजगारी
- (5.) पुलिस राजनीतिज्ञों नौकरशाहों व अपराधियों के मध्य सांठ गांठ का होना
- (6.) बाहरी तत्वों का चुनावी राजनीति पर प्रभाव
- (7.) न्यायिक प्रणाली का दोषपूर्ण होना
- (8.) कानून को प्रभावी तरीके से लागू न करना
- (9.) जनता द्वारा अपराधिक प्रवृत्ति के नेताओं को स्वीकार करना
- (10.) धनबल
- (11.) बाहुबल
- (12.) भौतिकतावादी प्रवृत्ति
- (13.) राजनीतिक दलों में सत्ता प्राप्ति का लालसा
- (14.) दोषपूर्ण निर्वचन प्रणाली का होना
- (15.) शासन की क्षमता एवं गुणवत्ता में गिरावट
- (16.) निष्पक्ष ईमानदार व राष्ट्रहितो के प्रति समर्पित नेतृत्व का अभाव

भारत में राजनीति में अपराधीकरण को बढ़ावा देने में नागरिक समाज का भी बराबर का योगदान रहा है। अक्सर जनता अपराधियों के धन और बाहुबल से प्रभावित होकर बिना जांच किये ही उन्हें वोट दे देता है।

राजनीति में अपराधीकरण का प्रभाव :-

देश की राजनीति और कानून का निर्माण प्रक्रिया में अपराधिक पृष्ठभूमि वाले लोगों की उपस्थिति का लोकतंत्र की गुणवत्ता पर नकारात्मक प्रभाव पड़ता है। अपराधीकरण से चुनाव प्रक्रिया में कालेधन का प्रयोग काफी अधिक बढ़ जाता है, इसके अतिरिक्त देश की न्यायिक प्रक्रिया पर भी विपरीत प्रभाव देखने को मिलता है। अपराधियों के विरुद्ध जांच एवं कानूनी प्रक्रिया की गति धीमी हो जाती है, ऐसे अपराधिक प्रवृत्ति के राजनीतिक सार्वजनिक जीवन में भ्रष्टाचार को बढ़ावा देते हैं, जिससे नौकरशाही, कार्यपालिका, विधायिका तथा न्याय पालिका सहित अनेक संस्थाओं की निष्पक्ष कार्य प्रणाली भी प्रभावित हो रही है। समाज में हिंसा की संस्कृति को प्रोत्साहन मिलता है, यह स्थिति भावी जन प्रतिनिधियों के लिए भी एक गलत परम्परा प्रस्तुत करता है।

राजनीति में अपराधीकरण रोकने के उपाय एवं सुझाव :-

भारतीय राजनीति से अपराधीकरण को दूर करने हेतु यद्यपि सरकार द्वारा अनेक कार्य किए जाते रहे हैं किंतु इसमें आशातीत सफलता नहीं मिल पाई। चुनाव आयोग एवं अन्य संवैधानिक व कानूनी उपाय होने के बावजूद आज भारतीय राजनीति में अपराधीकरण बढ़ते ही जा रहा है इसका प्रमुख कारण कुर्सी की राजनीति, जाति की राजनीति एवं आर्थिक उपार्जन की राजनीति प्रमुख है। भारतीय राजनीति से अपराधीकरण को दूर करने हेतु प्रमुख सुझाव/उपाय इस प्रकार हैं :-

1. सरकार के द्वारा बनाई गई कानूनों का कठोरता से पालन किया जाये।
2. भारतीय राजनीति में युवाओं का प्रवेशीकरण प्रशिक्षणीय तरीके से किया जावे।
3. राजनैतिक नेतृत्व के लिए शिक्षा को भी अनिवार्य योग्यता के रूप में लागू किया जाये।
4. चुनाव आयोग द्वारा कठोरता पूर्वक चुनावी नीति एवं कानून को लागू किया जाना आवश्यक होगा।
5. जन जागरूकता लाई जाए ताकि राजनीति के उद्देश्य व जरूरत को सामान्यजन भी जान सकें।

6. नौकरशाही को सुप्रभावी बनाया जाये ताकि सरकार के प्रमुख पदों पर योग्य व्यक्ति नियुक्त हो सके।
7. धनबल के उपयोग को पूर्णता प्रतिबंधित किया जाये तथा चुनाव प्रचार प्रणाली को भी बदला जाये।

भारतीय राजनीति में बढ़ते अपराधीकरण को रोकने की आवश्यकता है इसके लिए अपराधिक कानून में संशोधन किये जाने की आवश्यकता है, जिससे कानून व्यवस्था को और भी अधिक कठोर बनाकर अपराधिक पृष्ठभूमि के लोगो के चुनाव लड़ने पर प्रतिबंध लगाया जाना आवश्यक है, ताकि कोई व्यक्ति किसी न्यायालय से एक बार दंडित हो जाने के बाद चुनाव लड़ने के अयोग्य घोषित कर दिया जाए। इसके साथ-साथ जनता की जागरूकता भी जरूरी है जिससे अपराधिक छवि के लोग न चुने, इसके लिए भी जमीनी स्तर से अर्थात् निचले स्तर से प्रयास किया जाना चाहिए, आवश्यक है कि राजनीति में अपराधियों की बढ़ती संख्या पर रोक लगाने के लिए कानूनी ढांचे को मजबूत किया जाए, राजनीतिक दलों को अपना नैतिक दायित्व निभाते हुए गंभीर अपराध में दोषी ठहराए गए लोगों को दल में शामिल करने और उन्हें चुनाव लड़वाने से बचना चाहिए तथा जनप्रतिनिधियों के खिलाफ मामलों में त्वरित निराकरण हेतु सर्वोच्च न्यायालय द्वारा विशेष अदालतों का गठन किया जाए ताकि अपराधिक मामलो का निराकरण में विलंब न हो सके।

निष्कर्ष:-

निष्कर्ष रूप में हम कह सकते हैं कि भारत में राजनीति के अपराधीकरण एवं भ्रष्टाचार लोकतंत्र की जड़ों पर कूटाराघात कर रहा है। समय की मांग को देखते हुए आवश्यकता इस बात की है कि भारत में राजनीतिक अपराधियों से संबंधित मामलों पर शीघ्रता से विचार किया जाना चाहिए इसके लिए महत्वपूर्ण संगठनों के तत्वावधान में प्रबुद्ध राष्ट्रभक्त राजनीतिज्ञों, बुद्धिजीवियों, दार्शनिकों शिक्षाविदों, न्यायविदों, के न्यायशास्त्रियों और पत्रकारों आदि को आमंत्रित कर इस पर खुला विचार विमर्श किया जाए ताकि एक सुनिश्चित निष्कर्ष पर पहुंचा जा सके। यदि अभी भी सभी राजनेता अपनी नैतिकता और कर्तव्यों को समझें और अमल में लाने की कोशिश करें तो इस राजनीतिक अपराधीकरण को दल-दल से बाहर निकाला जा सकता है। यही स्थिति देश की राजनीति, अपराधीकरण की प्रवृत्ति से दूर साफ-सुथरी स्वच्छ प्रभावोत्पादक, विश्वसनीय एवं राष्ट्रीय जीवन को उन्नतशील बनाने वाली होगी।

संदर्भ सूची :-

1. A.S. Narang Democracy Development and Distortion.
2. Upendra Bakshi and Bhikhu Parikh – Crisis and change in contemporary India.
3. कल्याणी केशरवानी का आलेख रायगढ़ संदेश।
4. म.प्र. के स्वतंत्रता संग्राम सैनिक खण्ड 3 भाषा संचालनालय संस्कृत विभाग, म.प्र.।
5. डॉ. राम आहूजा – अपराधशास्त्र मिनाक्षी प्रकाशन, मेरठ।
6. अंतर्राष्ट्रीय राजनीति के समकालीन मुद्दे साहित्य भवन पब्लिकेशन, आगरा।
7. बाजपेयी डॉ. सुषमा छ.ग. में राजनैतिक समाजीकरण छ.ग. की राजनैतिक, सामाजिक, आर्थिक व्यवस्था विश्वास नगर, नई दिल्ली।
8. राष्ट्रीय शोध संगोष्ठी (संक्षेपिका 2019) – भारत में राजनीतिक अपराधीकरण स्वरूप एवं निदान।
9. पत्रिका 2014
10. म.प्र. संदेश 1984
11. Dr. B.L. Phadia – Western Political Thought
12. दैनिक भास्कर समाचार पत्र, रायपुर।

“महिला सशक्तिकरण में छत्तीसगढ़ भवन एवं अन्य सन्निर्माण कर्मकार कल्याण मंडल रायपुर द्वारा संचालित मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना— एक अध्ययन

शोध निर्देशक डॉ. के.एल. टाण्डेकर प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासीय स्नातकोत्तर महाविद्यालय राजनांदगांव
जिला—राजनांदगांव (छ.ग.)

शोधार्थी श्रीमति अंकिता शर्मा (वाणिज्य संकाय) शासकीय दिग्विजय स्वशासीय स्नातकोत्तर महाविद्यालय राजनांदगांव
जिला—राजनांदगांव (छ.ग.)

शोध केन्द्र शासकीय दिग्विजय स्वशासीय स्नातकोत्तर महाविद्यालय जिला—राजनांदगांव

// शोध-सारांश //

प्रस्तुत शोध पत्र में छत्तीसगढ़ राज्य के राजनांदगांव जिले के विशेष संदर्भ में महिला सशक्तिकरण में छत्तीसगढ़ भवन एवं अन्य सन्निर्माण कर्मकार कल्याण मंडल द्वारा संचालित योजनाओं में से सबसे महत्वपूर्ण योजना छत्तीसगढ़ मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना का अध्ययन किया गया है। वर्तमान में छत्तीसगढ़ राज्य में बहुत से ऐसे श्रमिक परिवार निवासरत हैं जिनके पास कोई साधन उपलब्ध होने के कारण वे अपने कार्य से वंचित रह जाते हैं। श्रमिक परिवार की आर्थिक स्थिति सामान्य न होने के कारण वे अपने कार्यस्थल पहुंचने में असमर्थ रहते हैं। इसी समस्या को ध्यान में रखते हुए राज्य सरकार द्वारा इस योजना का शुभारंभ किया गया है जिससे की श्रमिक वर्ग को सायकल मिलने से श्रमिकों को साधन से कार्य स्थल जाने में होने वाले खर्च से मुक्ति मिलेगी श्रमिक समाज में सुधार आएगा तो समाज व ग्राम के साथ जिले का भी विकास होगा

प्रस्तुत शोध पत्र में यह भी स्पष्ट किया गया है कि उक्त योजना से राजनांदगांव जिले में लाभांवति हितग्राहियों को किस दर से लाभ प्राप्त हो रहा है।

// प्रस्तावना //

श्रम विभाग का मुख्य दायित्व विभिन्न श्रम अधिनियमों के माध्यम से श्रमिकों के आर्थिक, शारीरिक एवं सामाजिक हितों का संरक्षण करना है। श्रमायुक्त संगठन द्वारा श्रमिकों एवं प्रबंधन के मध्य सामंजस्य स्थापित करते हुए श्रमिक हित एवं औद्योगिक विकास में योगदान दिया जाता है।

संगठित श्रमिकों एवं उनके परिवार के लिए कल्याणकारी योजनाओं के संचालन हेतु श्रम कल्याण मंडल भवन एवं अन्य सन्निर्माण में लगे श्रमिकों एवं उनके परिवार के कल्याण के लिए भवन एवं अन्य सन्निर्माण कर्मकार कल्याण मंडल द्वारा सामाजिक सुरक्षा मंडल का गठन किया गया है इन मंडलों के माध्यम से श्रमिकों की सामाजिक, आर्थिक, शारीरिक सुरक्षा हेतु योजनाएं संचालित की जाती हैं।

श्रमिकों की सामाजिक सुरक्षा योजनाओं में से मुख्य योजना मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना भी राज्य सरकार द्वारा संचालित की गई है जिसके तहत श्रमिकों के आर्थिक हितों को ध्यान में रखते हुए एवं श्रमिकों का कार्य स्थल तक पहुंचने हेतु सायकल की सुविधा प्रदाय करने का निर्णय लिया गया है जिससे की श्रमिक वर्ग नियत समय पर अपने कार्यस्थल पर पहुंच सकें और श्रमिक समाज में सुधार हो सकें।

// शोध अध्ययन के उद्देश्य //

किसी भी शोध कार्य में सफलता के सार्थक परिणाम को ज्ञात करने के लिए यह अत्यंत अनिवार्य एवं आवश्यक है कि प्रस्तुत शोध कार्य के अध्ययन में उसके उद्देश्य निर्धारित हो सकें जिसके आधार पर शोध कार्य को एक नई दिशा प्रदान की जा सके

1. मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना से संबंधित समस्याओं का अध्ययन करना।
2. राजनांदगांव जिले में श्रमिकों के लिए संचालित की गई योजना मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना से क्षेत्र विशेष के विकास पर पड़े योगदान का अध्ययन करना।
3. श्रमिकों के लिए संचालित की गई योजनाओं में सबसे महत्वपूर्ण योजना की महत्ता एवं कार्यशीलता पर प्रकाश डालना।
4. श्रमिकों को मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना का लाभ प्राप्त करने हेतु प्रोत्साहित करना।

5. छत्तीसगढ़ राज्य के राजनांदगांव जिले के ऐसे परिवार के ऐसे श्रमिकों जिनकी आर्थिक स्थिति ठीक नहीं होने के कारण एवं कार्य स्थल की दूरी अधिक होने कारण अपने कार्य से वंचित रह जाते हैं ऐसे श्रमिकों को मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना की महत्ता एवं कार्यशीलता से अवगत कराना ।

// क्षेत्र की शोध परिकल्पना //

किसी भी शोध कार्य की परिकल्पना अनुसंधान का महत्वपूर्ण चरण मानी जाती है शोध परिकल्पना को उपकल्पना, प्राकल्पना एवं पूर्व कल्पना आदि नामों से संबोधित किया जाता है । किसी भी आर्थिक एवं सामाजिक प्रघटना के वैज्ञानिक अध्ययन में अनुसंधानकर्ता एक कदम भी आगे नहीं बढ़ सकता जब तक की वह अपने अनुसंधान कार्य उपकल्पना से प्रारंभ न करें ।

1. श्रमिकों के लिए छत्तीसगढ़ भवन एवं अन्य सन्निर्माण कर्मकार कल्याण मंडल रायपुर द्वारा संचालित योजना **मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना** गरीबी रेखा के नीचे जीवन यापन करने वाले परिवार की एवं आर्थिक स्थिति से कमजोर परिवार का सहायता प्रदान करने में कामगार सिद्ध होगी ।
2. छत्तीसगढ़ राज्य द्वारा श्रमिकों के लिए संचालित **मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना** से छत्तीसगढ़ राज्य के श्रमिकों वर्ग की आर्थिक स्थिति को प्रबल बनाने में किस दर से प्रभावित हो रही है ।
3. शोधार्थी की तीसरी परिकल्पना यह है छत्तीसगढ़ सरकार द्वारा संचालित योजना से अनुसूचित जनजाति, अनुसूचित जाति , अन्य पिछड़ा वर्ग एवं गरीबी रेखा के नीचे जीवन यापन करने वाले परिवार की श्रमिकों के लिए **मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना** के माध्यम से हिग्राहियों की संख्या का आंकलन एवं विश्लेषण करना ।

// शोध प्रविधि //

प्रस्तुत शोध पत्र में योजना पर आधारित मुख्य योजना **मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना** पर आधारित आंकड़ों का संकलन राजनांदगांव जिले के श्रम विभाग के मुख्य कार्यालय से द्वितीय समक द्वारा किया गया है उन आंकड़ों का संग्रहण कर तालिका एवं ग्राफ चार्ट के माध्यम से विश्लेषण करते हुए शोध कार्य किया गया है ।

// शोध कार्य की सीमाएं //

1. केवल छत्तीसगढ़ के स्थायी निवासी ही मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना का लाभ प्राप्त कर सकते हैं ।
2. छत्तीसगढ़ मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना के अंतर्गत महिला श्रमिक की आयु 18 से 35 वर्ष तथा पुरुष श्रमिक की आयु 18 से 50 वर्ष तक होनी चाहिए ।
3. मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना का लाभ केवल उन्हीं श्रमिक परिवार को देय होगा जिन्होंने छत्तीसगढ़ कर्मकार कल्याण मंडल में 90 दिवस पूर्ण कर लिया हो ।
4. छत्तीसगढ़ सरकार द्वारा संचालित योजना का लाभ केवल उन्हीं श्रमिक परिवार को दिया जावेगा जिन्होंने मुख्यमंत्री सिलाई मशीन सहायता योजना का लाभ न लिया हो ।

// मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना का परिचय //

छत्तीसगढ़ राज्य एक विकासशील राज्य है अक्सर यह देखा गया है कि छत्तीसगढ़ राज्य में अनेक ऐसे श्रमिक परिवार निवासरत् हैं जिनकी आर्थिक स्थिति सही न होने के कारण परिवार को आर्थिक तंगी का सामना करना पड़ता है श्रमिक परिवार के श्रमिकों की आर्थिक एवं सामाजिक स्थिति कमजोर होने की वजह से श्रमिक अपने अवागमन का साधन जुटा पाने में असमर्थ हो जाते हैं एवं नियत समय पर अपने कार्य स्थल पर नहीं पहुंच पाते हैं जिसके कारण उन्हें अनेक परेशानियों का सामना करना पड़ता है इसी समस्या के निदान के लिए राज्य सरकार द्वारा वर्ष 2005 में मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना की शुरुआत की गई है । इस योजना के तहत श्रमिक परिवार को प्रत्येक परिवार में एक सायकल प्रदान करने का निर्णय लिया गया है जिससे की श्रमिक समय पर अपने कार्य स्थल पर पहुंच कर अपने कार्य को नियमित रूप से कर सकें एवं उन्हें आवागमन में होने वाली परेशानियों का सामना करना न पड़े ।

मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना एक नजर में :-

विभाग का नाम	श्रम विभाग
योजना का नाम	मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना

क्रियान्वयनकर्ता	श्रम विभाग
कार्य क्षेत्र	सम्पूर्ण छत्तीसगढ़
योजना का उद्देश्य	छत्तीसगढ़ के श्रमिक वर्ग को सायकल वितरण करना जिससे की बिना किसी परेशानी का सामना किए बिना अपने कार्य स्थल पर पहुंच सके ।
पात्रता की शर्तें	प्रत्येक ऐसे पंजीकृत श्रमिक परिवार जिन्होंने श्रम विभाग में अपना कम से कम 90 दिवस का कार्यकाल पूर्ण कर लिया हो एवं मुख्यमंत्री सिलाई मशीन योजना का लाभ प्राप्त न किया हो ।

मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना का विश्लेषण तालिका :- प्रथम

वर्ष	राजनांदगांव जिले के विकास खण्ड								
	अ. चौकी	खैरागढ़	गंडई	डोंगरगढ़	डोंगरगांव	राजनांदगांव	छुरिया	मोहला मानपुर	छुईखदान
2017	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2018	19	3	2	147	52	1358	8	0	2
2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0
कुल	19	3	2	147	52	1358	8	0	2

तालिका :- द्वितीय :-

क्र.	वर्ष	योजना का नाम	लाभान्वित हितग्राहियों की संख्या
1	2017	मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना	1
2	2018	मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना	15,91
3	2019	मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना	0
4	2020	मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना	0
5	2021	मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना	0
योग			1,592

राजनांदगांव जिले में छत्तीसगढ़ भवन एवं अन्य सन्निर्माण कर्मकार कल्याण मंडल रायपुर द्वारा संचालित योजनाओं में से प्रमुख योजना मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना में लाभान्वित हितग्राहियों की कुल संख्या पिछले 5 वर्ष 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 के आंकड़ों के संकलन एवं विश्लेषण के आधार पर पात्र हितग्राहियों की संख्या 1592 पायी गई है।

लाभान्वित हितग्राहियों की संख्या में कमी के कारण :-

1. महिला श्रमिकों का मुख्यमंत्री सिलाई मशीन सहायता योजना का लाभ प्राप्त करने हेतु अत्यधिक झुकाव होना ।
2. कोरोना की वजह से लगातार मजदूरों का पलायन होता रहा जिससे वे अपने हितग्राही पंजीयन कार्डों का नवनीकरण नहीं करा पाये जिस कारण उन्हें इस योजना का लाभ नहीं मिल पाया ।
3. चुनाव के समय में मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना के तहत सायकल वितरण अत्यधिक मात्रा में होना ।

//समस्याएँ//

1. गरीबी रेखा के नीचे जीवन यापन करने वाले श्रमिक परिवार की आर्थिक स्थिति का कमजोर होना ।
2. श्रमिक परिवार की आर्थिक स्थिति कमजोर होने के कारण कार्यस्थल पर पहुंचने हेतु अवागमन का साधन न जुटा पाना ।
3. श्रमिक परिवार का छत्तीसगढ़ राज्य सरकार द्वारा संचालित योजनाओं का लाभ प्राप्त करने हेतु जागरूक न होना ।

//सुझाव//

1. आर्थिक सामाजिक स्तर से कमजोर श्रमिक परिवार के आर्थिक एवं सामाजिक विकास हेतु राज्य सरकार द्वारा संचालित योजनाओं का लाभ प्राप्त करने हेतु श्रमिकों को जागरूक किया जाना चाहिए
2. मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना अत्यंत लाभकारी योजना है इस योजना का लाभ प्राप्त कर श्रमिकों को अपने जीवन के आर्थिक, सामाजिक, एवं शारिरिक स्तर पर सुधार किया जाना चाहिए

//निष्कर्ष//

महिला सशक्तिकरण में छत्तीसगढ़ भवन एवं अन्य सन्निर्माण कर्मकार कल्याण मंडल रायपुर द्वारा संचालित योजनाओं में से सबसे महत्वपूर्ण योजना मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना का द्वितीयक समंक द्वारा आंकड़ों का संकलन कर उन आंकड़ों का तुलनात्मक अध्ययन एवं विश्लेषण राजनांदगांव जिले में करने के पश्चात् यह निष्कर्ष निकलता है कि मुख्यमंत्री सायकल सहायता योजना का लाभ प्राप्त करने वाले हितग्राहियों की संख्या वर्ष 2018 में अधिकतम रही वर्ष 2017 में 01 रही एवं वर्ष 2019, 2020, 2021 में प्रत्येक विकास खण्ड में सायकल सहायता योजना का लाभ प्राप्त करने वाले श्रमिकों की संख्या शून्य पाई गई ।

//संदर्भ ग्रंथ सूची//

- 1 बी.आर.पोतदार एवं गिरिश पटवर्धन भवन और अन्य सन्निर्माण कर्मकार (नियोजन तथा सेवा शर्तों का विनियम) अधिनियम 1996–2018
- 2 डॉ. आर.एन त्रिवेदी एवं डॉ.डी.पी. शुक्ला रिसर्च मैथोलॉजी–2001 ।
- 3 प्रशासकीय प्रतिवेदन वर्ष 2020–21 श्रम विभाग ।
- 4 प्रशासकीय प्रतिवेदन वर्ष 2019–20 श्रम विभाग ।
- 5 गिरिश पटवर्धन– भवन और अन्य सन्निर्माण कर्मकार (नियोजन तथा सेवा शर्तों का विनियम) अधिनियम, 1996 हंसराज बाधवा एण्ड कम्पनी 2018 ।
- 6 प्रशासकीय प्रतिवेदन छत्तीसगढ़ शासन 2018–19 (योजना आर्थिक एवं सांख्यिकीय विभाग)
- 7 छत्तीसगढ़ शासन एवं श्रम विभाग ।
- 8 कुरुक्षेत्र मासिक पत्रिका रोजगार स्थिति जनवरी 2021 ।
- 9 डॉ देवेन्द्र पाल सिंह तोमर रिसर्च मैथोलॉजी तकनीक तथा उपकरण–2015

WEBSITES:-

www.indian संज्ञवनतण्वतह

www.cglabour.nic.in

“असंगठित श्रमिकों के बच्चों के विकास में छात्रवृत्ति योजना के योगदान का अध्ययन”

इमरान मेमन (शोधार्थी), वाणिज्य विभाग, शासकीय दिग्विजय स्वशामी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, जिला :-
राजनांदगांव (छत्तीसगढ़)

डॉ. के. एल. टाण्डेकर (शोध निर्देशक), प्राचार्य, शासकीय दिग्विजय स्वशामी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, जिला :-
राजनांदगांव (छत्तीसगढ़)

शोध सार :-

प्रस्तुत शोध पत्र में असंगठित श्रमिकों के बच्चों के विकास में छात्रवृत्ति योजना के योगदान का अध्ययन किया गया है छत्तीसगढ़ शासन श्रम विभाग द्वारा असंगठित श्रमिकों के लिए विभिन्न प्रकार की योजनाएं चलाई जाती हैं ताकि असंगठित श्रमिकों व उनके परिवार वालों का सामाजिक एवं आर्थिक विकास किया जा सके उन विभिन्न योजनाओं में से एक योजना छात्रवृत्ति योजना भी है जो असंगठित श्रमिकों के बच्चों के लिए चलाई जाती है ताकि छात्रवृत्ति योजनाओं के माध्यम से असंगठित श्रमिकों के बच्चों को अच्छी शिक्षा मिल सके और उनका विकास हो सके। प्रस्तुत शोध पत्र में असंगठित श्रमिकों के बच्चों के लिए छत्तीसगढ़ शासन श्रम विभाग द्वारा कौन-कौन सी छात्रवृत्ति योजनाएं चलाई जा रही हैं इसके संबंध में अध्ययन किया गया है और यह भी अध्ययन किया गया है की छत्तीसगढ़ के धमतरी जिले के पिछले कुछ वर्षों में कुल कितने असंगठित श्रमिकों के बच्चों ने छात्रवृत्ति योजनाओं का लाभ उठाया है।

प्रस्तावना :-

असंगठित श्रमिक उन्हें कहा जाता है जो संगठित नहीं हैं जिनके पास ना तो निश्चित रोजगार है और ना ही उनके कार्य का समय निश्चित है और ना ही उनके वेतन की दशाएं निश्चित हैं उनके लिए किसी भी प्रकार की प्रोविडेंट फंड की सुविधा भी नहीं है इन श्रमिकों में सफाई कामगार, घरेलू कर्मकार, हमाल, नाई, दर्जी, खेतीहर मजदूर, राउत, चरवाहा आदि आते हैं इन श्रमिकों के लिए किसी प्रकार का श्रम संबंधी कानून भी नहीं है इसलिए सरकार इन श्रमिकों व उनके परिवार वालों के सामाजिक एवं आर्थिक विकास के लिए विभिन्न प्रकार की योजनाएं चलाती है ताकि इन योजनाओं के माध्यम से इन श्रमिकों व उनके परिवार वालों का सामाजिक एवं आर्थिक विकास किया जा सके सरकार द्वारा चलाई जा रही विभिन्न योजनाओं में से एक योजना छात्रवृत्ति योजना भी है इसमें असंगठित श्रमिकों के बच्चों को अच्छी शिक्षा प्रदान करने के लिए सरकार द्वारा छात्रवृत्ति प्रदान की जाती है ताकि असंगठित श्रमिकों के बच्चों को अच्छी शिक्षा मिल सके तथा उनका विकास हो सके।

शोध अध्ययन का उद्देश्य :-

- (1.) असंगठित श्रमिकों के बच्चों की अच्छी शिक्षा में छात्रवृत्ति योजना के योगदान का अध्ययन करना।
- (2.) असंगठित श्रमिकों के बच्चों के लिए चलाई जा रही विभिन्न छात्रवृत्ति योजनाओं का अध्ययन करना।
- (3.) असंगठित श्रमिकों के बच्चों के लिए चलाई जा रही विभिन्न छात्रवृत्ति योजनाओं की कमियों का पता लगाना।
- (4.) असंगठित श्रमिकों के बच्चों के लिए चलाई जा रही छात्रवृत्ति योजना की सफलता व असफलता का अध्ययन करना।
- (5.) असंगठित श्रमिकों के बच्चों की शिक्षा के लिए चलाई जा रही छात्रवृत्ति योजनाओं की स्थिति का अध्ययन करना।

शोध परिकल्पना :-

- (1.) असंगठित श्रमिकों के बच्चों के विकास में छात्रवृत्ति योजना का महत्वपूर्ण योगदान रहा है।
- (2.) असंगठित श्रमिकों के बच्चों के लिए चलाई जा रही छात्रवृत्ति योजनाओं से असंगठित श्रमिकों के बच्चों का विकास संभव है।

शोध विधि :-

प्रस्तुत शोध अध्ययन हेतु प्राथमिक एवं द्वितीयक आंकड़ों का प्रयोग किया गया है प्राथमिक आंकड़ों के संकलन के लिए छत्तीसगढ़ के धमतरी जिला के श्रम विभाग के पदाधिकारियों से साक्षात्कार के माध्यम से जानकारी प्राप्त की गई है तथा द्वितीयक आंकड़ों के संकलन के लिए संबंधित शोध अध्ययन, मिग्वे पेपर, शासन की प्रकाशित पुस्तिका, समाचार-पत्र, पत्रिकाएं आदि माध्यमों से द्वितीयक आंकड़ों का संकलन किया गया है।

शोध अध्ययन का क्षेत्र :-

प्रस्तुत शोध अध्ययन हेतु अध्ययन का उद्देश्य, परिकल्पना व विधि निर्धारित करने के पश्चात अध्ययन का क्षेत्र निर्धारित करना आवश्यक हो जाता है प्रस्तुत शोध अध्ययन हेतु छत्तीसगढ़ के धमतरी जिला को अध्ययन क्षेत्र के रूप में लिया गया है तथा छत्तीसगढ़ के धमतरी जिला के श्रम विभाग के पदाधिकारियों से साक्षात्कार के माध्यम से जानकारी प्राप्त की गई है।

छत्तीसगढ़ शासन श्रम विभाग द्वारा असंगठित श्रमिकों के बच्चों के लिए चलाई जाने वाली छात्रवृत्ति योजनाओं का विवरण :-

(1.) असंगठित कर्मकारों के बच्चों हेतु छात्रवृत्ति योजना (2018-19 से लागू) :-

पात्रता :- (1.) पंजीकृत असंगठित कर्मकारों के कक्षा 1 से स्नातकोत्तर पीएच.डी. तक अध्ययनरत पुत्र/पुत्रियों को छात्रवृत्ति की पात्रता होगी।

(2.) यदि कोई छात्र/छात्रा अन्य शासकीय विभाग/संस्था की अन्य योजनांतर्गत छात्रवृत्ति राशि प्राप्त कर रहा है जो उसके लिए हितकर/लाभप्रद है तो वह इस योजना के लिए अपात्र होंगे।

देय लाभ :- पंजीकृत असंगठित कर्मकार के प्रथम दो अध्ययनरत संतान को कक्षा 01 से स्नातकोत्तर स्तर तक रुपये 500/- से रुपये 5000/- वार्षिक कक्षावार छात्रवृत्ति देय होगी।

(2.) सफाई कर्मकार के बच्चे हेतु छात्रवृत्ति योजना (2015-16 से लागू) :-

पात्रता :- (1.) पंजीकृत सफाई कर्मकार के कक्षा 1 से स्नातकोत्तर पीएच.डी. तक अध्ययनरत पुत्र/पुत्रियों को छात्रवृत्ति की पात्रता होगी।

(2.) यांत्रिकी या चिकित्सा शिक्षा हेतु महाविद्यालय/पॉलिटेक्निक अथवा अन्य पाठ्यक्रम के पश्चात् न्यूनतम 01 वर्ष अध्ययन की अनिवार्यता होगी। 01 वर्ष के बीच सत्र में अध्ययन रोक देने की स्थिति में छात्रवृत्ति की राशि वापस जमा करनी होगी।

(3.) यदि कोई छात्र/छात्रा अन्य शासकीय विभाग/संस्था की अन्य योजनांतर्गत छात्रवृत्ति राशि प्राप्त कर रहा है जो उसके लिए हितकर/लाभप्रद है तो वह इस योजना के लिए अपात्र होंगे।

देय लाभ :- रुपये 1000/- से रुपये 15000/- तक पंजीकृत सफाई कर्मकारों के अध्ययनरत 02 पुत्र/पुत्रियों को कक्षावार वार्षिक छात्रवृत्ति एकमुश्त प्रदाय की जायेगी।

(3.) ठेका श्रमिक, घरेलू महिला कामगार एवं हमाल श्रमिक के बच्चों हेतु छात्रवृत्ति योजना (2015-16 से लागू) :-

पात्रता :- (1.) पंजीकृत ठेका श्रमिक, घरेलू महिला कामगार एवं हमाल श्रमिक के कक्षा 1 से स्नातकोत्तर पीएच.डी. तक अध्ययनरत पुत्र/पुत्रियों को छात्रवृत्ति की पात्रता होगी।

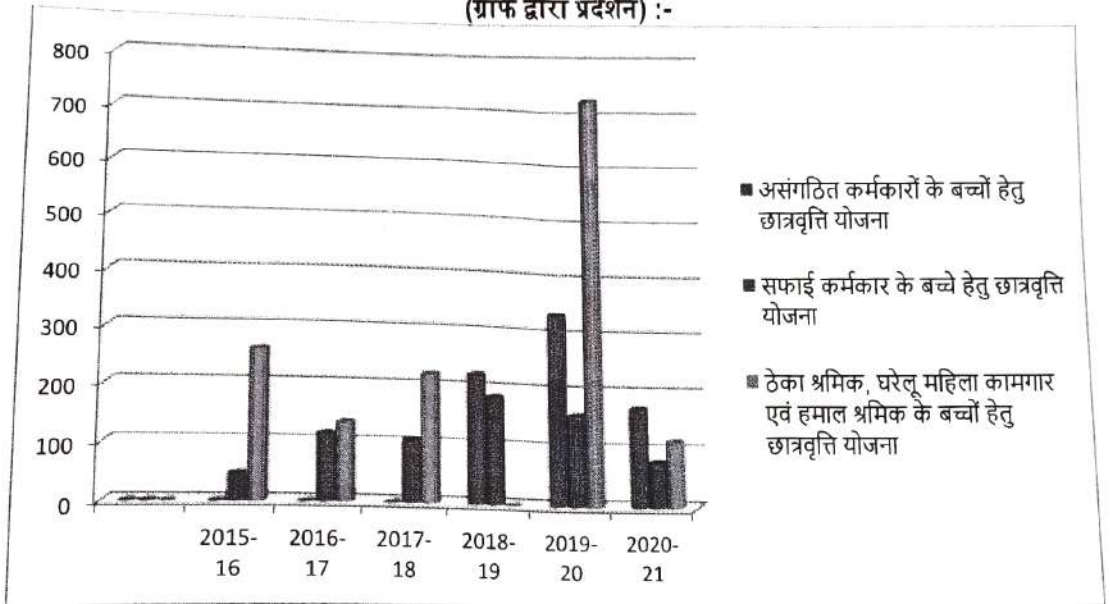
(2.) यदि कोई छात्र/छात्रा अन्य शासकीय विभाग/संस्था की अन्य योजनांतर्गत छात्रवृत्ति राशि प्राप्त कर रहा है जो उसके लिए हितकर/लाभप्रद है तो वह इस योजना के लिए अपात्र होंगे।

देय लाभ :- रुपये 500/- से रुपये 5000/- तक पंजीकृत ठेका श्रमिक, घरेलू महिला कामगार एवं हमाल श्रमिक के अध्ययनरत 02 पुत्र/पुत्रियों को कक्षावार वार्षिक छात्रवृत्ति एकमुश्त प्रदाय की जायेगी।

छत्तीसगढ़ शासन श्रम विभाग द्वारा असंगठित श्रमिकों के बच्चों के लिए चलाई जाने वाली छात्रवृत्ति योजनाओं से (धमतरी जिले के अंतर्गत) लाभान्वित श्रमिकों के बच्चों की वर्षवार रिपोर्ट (कार्यालय श्रम विभाग धमतरी) :-
 [स्रोत

वर्ष	योजनावार लाभान्वित श्रमिकों के बच्चों की संख्या			योग
	असंगठित कर्मकारों के बच्चों हेतु छात्रवृत्ति योजना (2018-19 से लागू)	सफाई कर्मकार के बच्चे हेतु छात्रवृत्ति योजना (2015-16 से लागू)	ठेका श्रमिक, घरेलू महिला कामगार एवं हमाल श्रमिक के बच्चों हेतु छात्रवृत्ति योजना (2015-16 से लागू)	
2015-16	-	47	262	309
2016-17	-	117	136	253
2017-18	-	107	224	331
2018-19	226	188	0	414
2019-20	339	160	733	1232
2020-21	174	80	117	371
योग	739	699	1472	2910

द्वितीयक स्रोत कार्यालय श्रम पदाधिकारी, जिला - धमतरी (छ.ग.)]
 (ग्राफ द्वारा प्रदर्शन) :-



[स्रोत :- द्वितीयक स्रोत कार्यालय श्रम पदाधिकारी, जिला - धमतरी (छ.ग.)]

समस्या :-

(1.) प्रस्तुत शोध अध्ययन के दौरान यह समस्या देखने को मिली कि बहुत से श्रमिक शिक्षित ना होने के कारण इन छात्रवृत्ति योजनाओं का लाभ नहीं उठा पा रहे हैं।

- (2.) यह भी समस्या सामने आई कि बहुत श्रमिकों के बच्चों के बैंक खाने ना होने के कारण वे छात्रवृत्ति योजनाओं का लाभ नहीं उठा पा रहे हैं।
- (3.) यह भी समस्या देखने को मिली कि बहुत से श्रमिकों के बच्चों के बैंक से संबंधित दस्तावेज पूरे न होने के कारण वे छात्रवृत्ति योजनाओं से वंचित हो जा रहे हैं।
- (4.) बहुत से श्रमिकों को इन छात्रवृत्ति योजनाओं के संबंध में जानकारी ना होने के कारण वे इन योजनाओं का लाभ नहीं उठा पा रहे हैं।

सुझाव :-

- (1.) श्रम विभाग द्वारा समय-समय पर शिविर लगाकर श्रमिकों व उनके बच्चों को छात्रवृत्ति योजनाओं व अन्य योजनाओं के संबंध में जानकारी प्रदान की जानी चाहिए।
- (2.) जिन कारणों से श्रमिक अपने बच्चों के लिए छात्रवृत्ति योजनाओं का लाभ नहीं उठा पा रहे हैं उन कारणों का पता लगाकर उनकी समस्याओं को दूर करके विभाग द्वारा उन्हें छात्रवृत्ति योजना का लाभ प्रदान करने का प्रयास करना चाहिए।
- (3.) श्रम विभाग द्वारा श्रमिकों को उनके बैंक संबंधी दस्तावेजों की भी पूर्ण जानकारी प्रदान की जानी चाहिए तथा उन्हें छात्रवृत्ति योजनाओं का लाभ उठाने के लिए जागरूक किया जाना चाहिए।
- (4.) श्रम विभाग द्वारा स्कूलों में भी जाकर समस्त बच्चों को इन छात्रवृत्ति योजनाओं के संबंध में जानकारी प्रदान करना चाहिए।
- (5.) वर्तमान में जिन कारणों से श्रमिकों के बच्चों की छात्रवृत्ति निरस्त हो जा रही है श्रम विभाग द्वारा उन कारणों का पता लगाकर उन्हें दूर करके श्रमिकों के बच्चों को इन छात्रवृत्ति योजनाओं का लाभ प्रदान करवाना चाहिए।
- (6.) श्रम विभाग द्वारा श्रमिकों के बच्चों को दी जाने वाली छात्रवृत्ति की राशि में थोड़ी बढ़ोतरी की जानी चाहिए ताकि उनका अच्छे से शिक्षित विकास हो सके।

निष्कर्ष :-

प्रस्तुत शोध अध्ययन में यह निष्कर्ष निकलता है कि छत्तीसगढ़ के धमतरी जिले के बहुत से असंगठित श्रमिकों के बच्चों ने छत्तीसगढ़ शासन श्रम विभाग की छात्रवृत्ति योजनाओं का लाभ उठाया है छत्तीसगढ़ के धमतरी जिले में कुल 2910 असंगठित श्रमिकों के बच्चों ने छत्तीसगढ़ शासन श्रम विभाग की छात्रवृत्ति योजनाओं का लाभ उठाया है जिसमें से 739 असंगठित श्रमिकों के बच्चों ने 'असंगठित कर्मकारों के बच्चों हेतु छात्रवृत्ति योजना' के अंतर्गत लाभ उठाया है तथा 699 असंगठित श्रमिकों के बच्चों ने 'सफाई कर्मकार के बच्चे हेतु छात्रवृत्ति योजना' के अंतर्गत लाभ उठाया है एवं 1472 असंगठित श्रमिकों के बच्चों ने 'ठिका श्रमिक, घरेलू महिला कामगार एवं हमाल श्रमिक के बच्चों हेतु छात्रवृत्ति योजना' के अंतर्गत लाभ उठाया है जिससे इन असंगठित श्रमिकों के बच्चों का विकास हुआ है इस प्रकार छत्तीसगढ़ शासन श्रम विभाग की इन छात्रवृत्ति योजनाओं का असंगठित श्रमिकों के बच्चों का विकास में महत्वपूर्ण योगदान रहा है तथा यह कहा जा सकता है कि श्रम विभाग की इन छात्रवृत्ति योजनाओं से असंगठित श्रमिकों के बच्चों का विकास संभव है।

सन्दर्भग्रन्थ सूची :-

1. कार्यालय श्रम पदाधिकारी, जिला – धमतरी (छ.ग.)
2. श्रम एवं रोजगार मंत्रालय, वार्षिक रिपोर्ट 2020-21
3. <http://cglabour.nic.in/>
4. <http://labour.gov.in/>

**“प्रधानमंत्री मुद्रा योजना अंतर्गत शिशु लोन के प्रदर्शन का अध्ययन”
(राजनांदगांव जिले के विशेष सन्दर्भ में)**

छन्नी साहू शोधार्थी वाणिज्य विभाग शा.दिग्विजय स्वशासी महाविद्यालय राजनांदगांव छ.ग.

डॉ. टाण्डेकर के.एल., शोध निर्देशक & प्राचार्य शा. दिग्विजय स्वशासी महाविद्यालय राजनांदगांव छ.ग. भारत
डॉ.भाटिया एच.एस. सह-शोध निर्देशक & विभागाध्यक्ष, शा. दिग्विजय स्वशासी महाविद्यालय राजनांदगांव छ.ग. भारत

सार:-

प्रस्तुत शोध-पत्र में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना का प्रदर्शन शिशु लोन के विशेष सन्दर्भ में किया गया है। प्रधानमंत्री मुद्रा योजना उद्यमियों के विकास के लिए एक बहुत ही महत्वपूर्ण योजना है। जिस प्रकार सरकार ने जन-धन योजना के माध्यम से बिना बैंक वालों को बैंक वाला बना रही है, उसी प्रकार यह योजना बिना वित्त वालों को वित्त वाला बनाने का कार्य कर रही है। इस शोध-पत्र का उद्देश्य प्रधानमंत्री मुद्रा योजना की भूमिका, लाभ एवं उसके प्रदर्शन को उजागर करना है।

प्रस्तावना:-

भारत एक विकासशील देश है। यहाँ की अधिकांश जनसंख्या अपने जीविका-उपार्जन के लिए खेती पर निर्भर रहती है। परन्तु हमारे देश में ऐसे भी लोग हैं जिनके पास अपने जीविका-उपार्जन के लिए खेत भी नहीं है। देश के सकल घरेलू उत्पाद का अधिकांश भाग उद्यमियों के माध्यम से ही आता है। हमारे देश में ऐसे लाखों उद्यम हैं जो अपंजीकृत हैं। ऐसे अपंजीकृत उद्यमों को जब व्यवसाय में वृद्धि करने के लिए वित्त की आवश्यकता होती है तब वे बैंकों के पास जाते हैं और उद्यम अपंजीकृत होने के कारण बैंक उन्हें ऋण देने में असमर्थ होता दिखाई देता है। हमारे देश में ऐसे करोड़ों लोग हैं, जो छोटे-मोटे व्यवसाय लगाकर अपना जीवन चला रहे हैं। परन्तु उनके पास सबसे बड़ी समस्या वित्त की ही होती है। उन्हें वित्त की आवश्यकता के लिए स्थानीय साहूकारों पर निर्भर रहना पड़ता है। ये साहूकार उंची ब्याज दर पर ऋण देते हैं, जिसे चुकाना किसी व्यवसायी के लिए आसान नहीं होता है, यदि व्यवसाय चला तो ठीक, नहीं तो यदि व्यवसाय में घाटे होने लगे तो साहूकार के ऋणचक्र में फँस जाते हैं और यह ऋण पीढ़ी-दर-पीढ़ी चलता रहता है। इन्हीं सभी उद्देश्यों की पूर्ति प्रधानमंत्री मुद्रा योजना करता है। यह योजना उद्यमियों के लिए एक महत्वाकांक्षी योजना है। यह योजना स्वयं का व्यवसाय खोलने वाले उद्यमियों को 50,000/- तक का ऋण उपलब्ध करा रही है तथा जो व्यवसायी अपने स्थापित व्यवसाय में वृद्धि करना चाहती है उन्हें 50,000 से 10,00,000/- रुपये तक का ऋण उपलब्ध करा रही है। इस योजना की सबसे महत्वपूर्ण बात यह है कि इसके अंतर्गत जो ऋण प्रदान किया जाता है वह बिना किसी प्रोसेसिंग शुल्क व गारंटी के प्रदान किया जाता है।

मुख्य शब्द:- प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना, आर्थिक विकास, सामाजिक विकाश, रोजगार, शिशु लोन, किशोर लोन, तरुण लोन।

उद्यमी,

शोध अध्ययन का उद्देश्य:-

1. राजनांदगांव जिले में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना अंतर्गत शिशु लोन लेने वाले हितग्राहियों का प्रदर्शन
2. भारत में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना अंतर्गत शिशु लोन का प्रदर्शन करना।
3. प्रधानमंत्री मुद्रा योजना के अवसर एवं लाभ को उजागर करना।

शोध परिकल्पना:-

1. प्रधानमंत्री मुद्रा योजना में शिशु लोन के हितग्राहियों की संख्या अधिक है।
2. राजनांदगांव जिले में प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना के क्रियान्वयन से तबके के लोगो के आय एवं रोजगार में वृद्धि हुई है।
3. शिशु लोन नीचले तबके के लोगो के लिए सहायक सिद्ध हुई है।

शोध अध्ययन की प्रविधि:-

इस शोध अध्ययन में राजनांदगांव जिले के लीड बैंक से प्रधानमंत्री मुद्रा योजना से संबंधित आकड़ों को द्वितीयक समंक के रूप में लिया गया है तथा अन्य आकड़े संबंधित संस्था में उपलब्ध अभिलेखों से, वार्षिक प्रतिवेदनों से, बजट रिपोर्टों से, प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना की पोर्टल साईट से, अधिकारिक वेबसाईट से प्राप्त किये गये हैं।

उक्त स्रोत से प्राप्त जानकारीयों को संकलित करने के पश्चात उपर्युक्त साख्यिकी प्रविधियों का आवश्यकतानुसार उपयोग कर विश्लेषण किया गया है।

प्रधानमंत्री मुद्रा योजना का परिचय:-

प्रधानमंत्री मुद्रा योजना की शुरुवात हमारे देश के प्रधानमंत्री श्री नरेन्द्र मोदी जी के द्वारा 8 अप्रैल 2015 को की गयी थी। राष्ट्रीय नमूना सर्वेक्षण संगठन के सर्वेक्षण (2013) के अनुसार देश में लगभग 5.77 करोड़ लघु/सूक्ष्म इकाइयाँ हैं, जिनमें लगभग 12 करोड़ लोग कार्यरत हैं। इनमें से ज्यादातर स्वामित्व-आधारित/लेखा उद्यम हैं। 60 प्रतिशत से अधिक इकाइयों के मालिक अनुसूचित जाति, अनुसूचित जनजाति अथवा पिछड़े वर्ग के लोग हैं। इनमें से अधिकतर इकाइयाँ औपचारिक बैंकिंग प्रणाली के दायरे के बाहर हैं। इसलिए उन्हें या तो अनौपचारिक स्रोतों से लोन लेने के लिए बाध्य होना पड़ता है या अपने सीमित धन का इस्तेमाल करने के लिए। मुद्रा ऋण योजना इस अन्तराल को पाटने के लिए बनाई गयी है। मुद्रा ऋण योजना का उद्देश्य पहली पीढ़ी का उद्यमी बनने के लिए इच्छुक युवाओं तथा अपनी गतिविधियों का विस्तार करने के लिए मौजूदा लघु व्यवसायियों के मनोबल में वृद्धि करना है। इस योजना को तीन भागों शिशु लोन 50000/-रुपये तक, किशोर लोन 50001/- से 5,00,000/- तक, तरुण लोन 500001/- से 10,00,000/-तक में वर्गीकृत किया गया है।

हमारे देश में इस योजना की शुरुवात से पहले अपना खुद का व्यवसाय शुरू करने के लिए उद्यमियों को लोन पाने के लिए बैंकों के चक्कर लगाने पड़ते थे तथा बहुत सी कठिनाइयों का सामना करना पड़ता था, मुद्रा योजना से पहले तक छोटे उद्यम के लिए बैंक से लोन लेने में काफी औपचारिकताएं पूरी करनी पड़ती थी, लोन लेने के लिए गारंटी भी देनी पड़ती थी, इस वजह से कई लोग उद्यम तो शुरू करना चाहते थे, लेकिन बैंक से लोन लेने से कतराते थे, लेकिन प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना के अंतर्गत सभी उद्यमियों को आसानी से 10 लाख का ऋण बिना किसी गारंटी के तथा बिना किसी प्रोसेसिंग फीस के बैंक द्वारा मिलता है। मुद्रा ऋण वाणिज्यिक बैंक, RBFS, लघु वित्त बैंक, सहकारी बैंक MFI द्वारा प्रदान किये जाते हैं। मुद्रा ऋण के तहत कोई निश्चित ब्याज दर नहीं है। विभिन्न बैंक मुद्रा ऋण के लिए अलग-अलग ब्याज दर लेती हैं। मुख्यतः ब्याज दर 10 से 12 प्रतिशत है।

योजना के अंतर्गत सरकार द्वारा मार्च 2021 तक 28.81 करोड़ लाभार्थियों को शामिल किया है तथा अभी तक 15.10 लाख करोड़ रुपये योजना के अंतर्गत आबंटित किया गया है, जिसके माध्यम से मुख्यतः समाज के निर्बल वर्गों के उधारकर्ता लाभान्वित हुए हैं। मुद्रा (MUDRA) एक पुनर्वित्त संस्थान है। मुद्रा सीधे सूक्ष्म उद्यमियों/व्यक्तियों को उधार नहीं देता है।

मुद्रा (MUDRA) यानि माइक्रो यूनिट्स डेवलपमेंट एंड रिफाइनंस एजेंसी लिमिटेड सूक्ष्म ईकाइयों के विकास तथा पुनर्वित्तपोषण से संबंधित गतिविधियों हेतु भारत सरकार द्वारा गठित एक नयी संस्था है। इसकी घोषणा माननीय वित्तमंत्री जी ने वित्तीय वर्ष 2016 का बजट पेश करते हुए की थी। मुद्रा का उद्देश्य गैर निगमित लघु व्यवसाय क्षेत्र (NCSBS) को निधि/वित्तपोषण प्रदान कराना है।

मुद्रा लोन के प्रकार:-

प्रधानमंत्री मुद्रा योजना के तत्वावधान में, मुद्रा ने उत्पाद/योजनाएँ बनाई हैं। लाभार्थी की सूक्ष्म ईकाई, उद्यमी के विकास, विकास और वित्त पोषण की जरूरतों के चरण को दर्शाने के लिए इसे शिशु, किशोर एवं तरुण नाम दिये हैं।

I - शिशु लोन—इसके तहत उन लोगों को लोन दिया जाता है जो सिर्फ अपना व्यवसाय शुरू कर रहे हैं और आर्थिक मदद की तलाश कर रहे हैं। इसके अंतर्गत अधिकतम 50,000/-रुपये का लोन दिया जाता है। 5 वर्ष की पुनर्भुगतान अवधि के साथ इसकी ब्याज दर 10 से 12 प्रतिशत सलाना है।

II - किशोर लोन—ये लोन उनके लिए है जिनका व्यवसाय पहले ही शुरू हो चुका है, लेकिन अभी तक स्थापित नहीं हुआ है। इसके तहत दी जाने वाली लोन की राशि 50,000/- से 5 लाख रुपये के बीच होती है। ब्याज की दर लोन देने वाली संस्था के आधार पर अलग-अलग होती है। व्यवसाय की योजना के साथ-साथ आवेदक का क्रेडिट रिकार्ड ब्याज दर तय करने में महत्वपूर्ण भूमिका अदा करता है। लोन भुगतान की अवधि बैंक द्वारा तय की जाती है।

III - तरुण लोन—ये उन लोगों के लिए है, जिनका व्यापार स्थापित हो चुका हो और उसे बढ़ाने और सम्पत्ति की खरीदी के लिए धन की आवश्यकता होती है। इसमें लोन की राशि 5 लाख से 10 लाख के बीच होती है। ब्याज दर और भुगतान की अवधि योजना आवेदक के क्रेडिट रिकार्ड पर आधारित होती है।

इन सभी मुद्रा लोन की ब्याज दरें एक बैंक से दूसरे बैंक में अलग-अलग हो सकती हैं।

जिस भी आवेदक को मुद्रा ऋण लेना होता है वह बैंको से अथवा बैंक की किसी भी शाखा से संपर्क कर जानकारी लेकर आवेदन भर सकता है और नियमानुसार बैंको की सम्पूर्ण कार्यवाही उपरांत आवेदन का लोन पास होने पर उनके खाते में लोन की राशि वितरित कर दी जाती है। आवेदक किसी भी प्रकार के शंका समाधान के लिए मुद्रा के नोडल एंजेंसी से संपर्क कर सकता है।

प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना के अंतर्गत हितग्राहियों को वित्त/निधि/ बैंको के माध्यम से दिया जाता है।

भिन्न-भिन्न बैंको द्वारा हितग्राहियों के खाते खोले गये तथा उनके खातों में लोन का वितरण किया गया जिन्हे सारणी के माध्यम से बताया गया है। वित्तीय वर्ष 2016-2017 से 2019-2020 तक की शिशु लोन की स्थिति को सारणी के माध्यम से बताया गया है। इनमें शिशु लोन के खातों की संख्या तथा वितरण की राशि है। खातों की संख्या के आधार पर अनुमान लगाया जा सकता है कि इतने अधिक संख्या में शिशु लोन के हितग्राहियों को रोजगार मिला है।

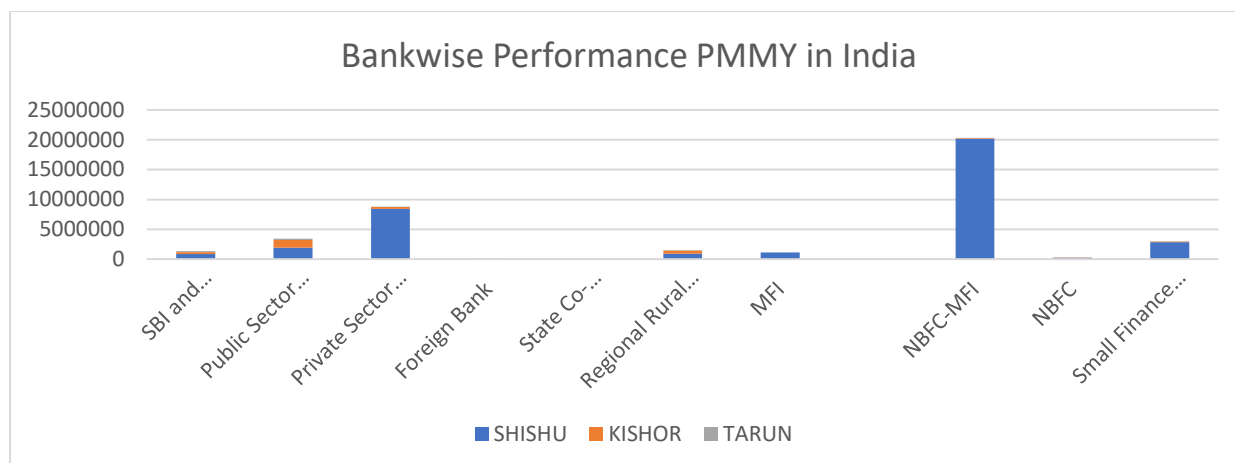
भारत में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना अंतर्गत शिशु लोन के हितग्राहियों का बैंकवार प्रदर्शन

TABLE-1 (Amount Rs. in Crore)

FINANCIAL YEAR	2016-2017		2017-2018		2018-2019		2019-2020	
	No. of A/cs	Dis-burse-ment Amt	No. of A/cs	Dis-burse-ment Amt	No. of A/cs	Dis-burse-ment Amt	No. of A/cs	Disbursement Amt
SBI and Associates	860165	1251.53	798577	1873.21	2114366	6113.25	3072304	9322.83
Public Sector Commercial Banks	1934990	4385.45	1710815	4951.76	2083695	4254.94	2546364	4458.93
Private Sector Commercial Banks	8420195	24728.75	9402971	27658.61	11234138	34281.22	18780712	57797.66
Foreign Bank	0	0	0	0	0	0	0	0
State Co-operative Banks	0	0	0	0	197	1	58	0.29
Regional Rural Bank	926498	2762.59	808234	2792.66	765050	2651.32	721610	2336.07
MFI	1129709	2105	1800974	1815.62	1879391	2357.41	2059118	3000.93
NBFC-MFI	20182496	41606.26	19497467	44441.51	22555542	56733.62	16832312	49981.32
NBFC	195092	440.24	1850286	5245.06	4463729	13281.26	4628174	17070.34
Small Finance Banks	2848668	6612.05	6800471	15449.61	6411330	19977.52	5849965	18844.85
Total	36497813	83891.87	42669795	104228.04	51507438	139651.54	54490617	162813.22

Source: (<http://www.mudra.org.in/>)

इन्हे ग्राफ के माध्यम से आसानी से समझा जा सकता है कि कौन सी बैंक प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना अन्तर्गत सबसे अधिक लोन हितग्राहियों को दिये हैं, जिससे अधिक रोजगार एवं आय का सृजन हुआ है।



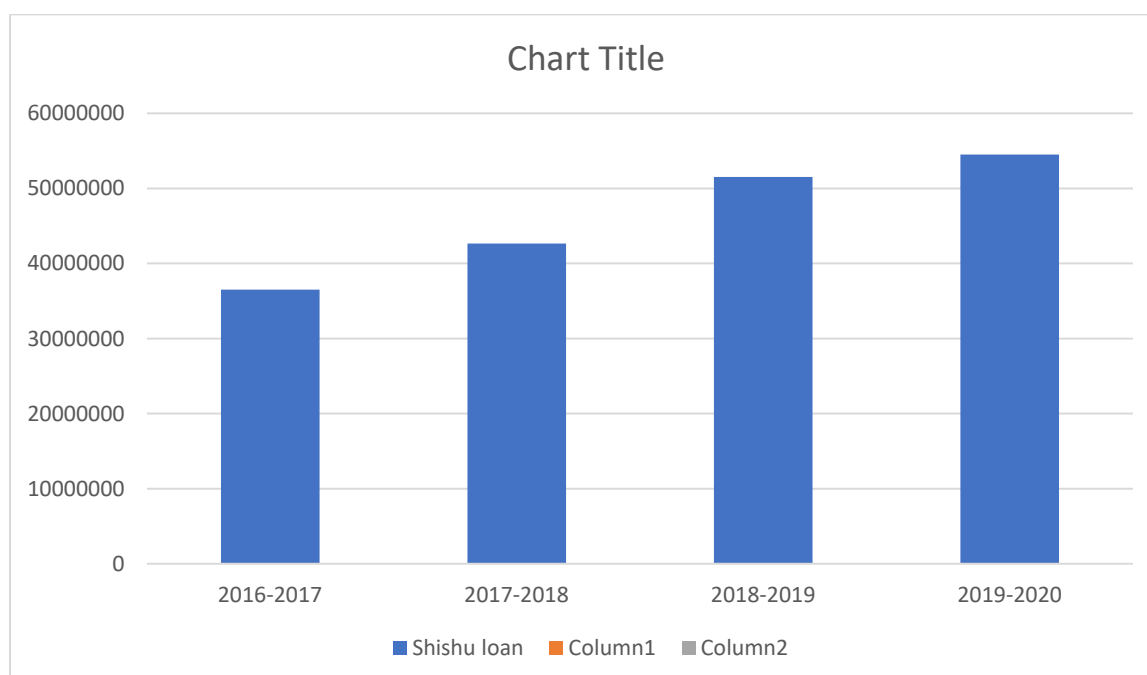
इस ग्राफ को देखने से पता चलता है कि मुद्रा ऋण योजना के अन्तर्गत सबसे अधिक ऋण गैर बैंकिंग वित्तीय कंपनी-सूक्ष्म वित्तीय संस्थान द्वारा हितग्राहियों को दिया गया है, उसके पश्चात प्राइवेट सेंक्टर वाणिज्यिक बैंकों ने ऋण दिया है। उसके पश्चात स्माल फायनेंस बैंक, तत्पश्चात पब्लिक सेक्टर वाणिज्यिक बैंकों ने हितग्राहियों को ऋण दिया है। उसके पश्चात अन्य बैंके आती है।

TABLE-2
शिशु लोन का भारत में प्रदर्शन
(Amount Rs. in Crore)

FINANCIAL YEAR	2016–2017	2017–2018	2018–2019	2019–2020
No. of A/Cs	36497813	42669795	51507438	54490617
Disbursement Amt	83891.87	104228.04	139651.54	162813.22

Source: (<http://www.mudra.org.in/>)

अगर हम मुद्रा लोन का भारत में प्रदर्शन देखेंगे तो इससे साफ पता चलता है कि प्रत्येक वित्तीय वर्ष में क्रमशः हितग्राहियों/उद्यमियों के खातों की संख्या में वृद्धि ही हुई है जो मुद्रा योजना की सफलता को दर्शाता है।



ग्राफ के माध्यम से शिशु लोन को नीले रंग से प्रदर्शित किया गया है। ग्राफ को देखने से स्पष्ट पता चलता है कि भारत में शिशु लोन के स्तर पर जो मुख्यतः व्यवसाय प्रारंभ करने के लिए लिया जाता है प्रत्येक वित्तीय वर्ष में क्रमशः बढ़ते क्रम में है। वर्ष 2019 में कोरोना काल होने के बावजूद इस वर्ष शिशु लोन में कोई कमी नहीं आयी है।

इससे साफ पता चलता है कि मुद्रा योजना अपने उद्देश्यों को पूरा करने में सफल हुई है क्योंकि खातों की संख्या उन उद्यमियों की संख्या है जिन्होंने अपना नया व्यवसाय प्रारंभ किया है। इस प्रकार रोजगार के अवसरों की वृद्धि हुई है, जिससे आय का सृजन हुआ है। जिससे उनका आर्थिक एवं सामाजिक विकास हुआ है।

4.2 छत्तीसगढ़ राज्य में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना अन्तर्गत शिशु लोन की स्थिति:—

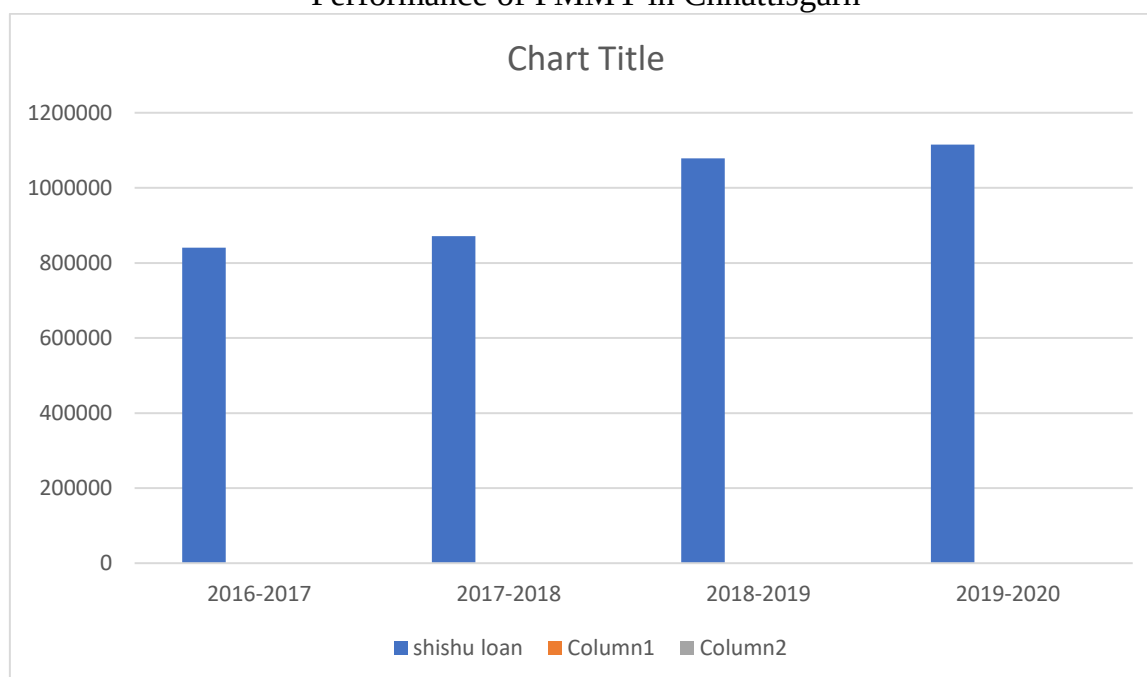
TABLE-5
(Amount Rs. in crore)

FINANCIAL YEAR	2016–2017	2017–2018	2018–2019	2019–2020
No. of A/Cs	840480	871455	1078662	1115562
Disbursement Amt	1749.77	1938.4	2670.54	3148.1

Source: (<http://www.mudra.org.in/>)

छत्तीसगढ़ में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना भी सफल साबित हुई है। इस सारणी में वित्तीय वर्ष 2016–2017 से 2019–2020 तक का अध्ययन करने पर पता चलता है कि यहाँ प्रत्येक वित्तीय वर्ष में शिशु लोन में उद्यमियों के खातों की संख्या में क्रमशः बढ़ोत्तरी ही हुई है। इस बढ़ोत्तरी को ग्राफ के माध्यम से आसानी से देख सकते हैं।

Performance of PMMY in Chhattisgarh



इसप्रकार अगर छत्तीसगढ़ राज्य में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना के समंको का विश्लेषण किया जाये तो पता चलता है कि वित्तीय वर्ष 2016–2017 से 2019–2020 के मध्य प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना अन्तर्गत शिशु लोन के खातों की संख्या में क्रमशः वृद्धि ही हुई है।

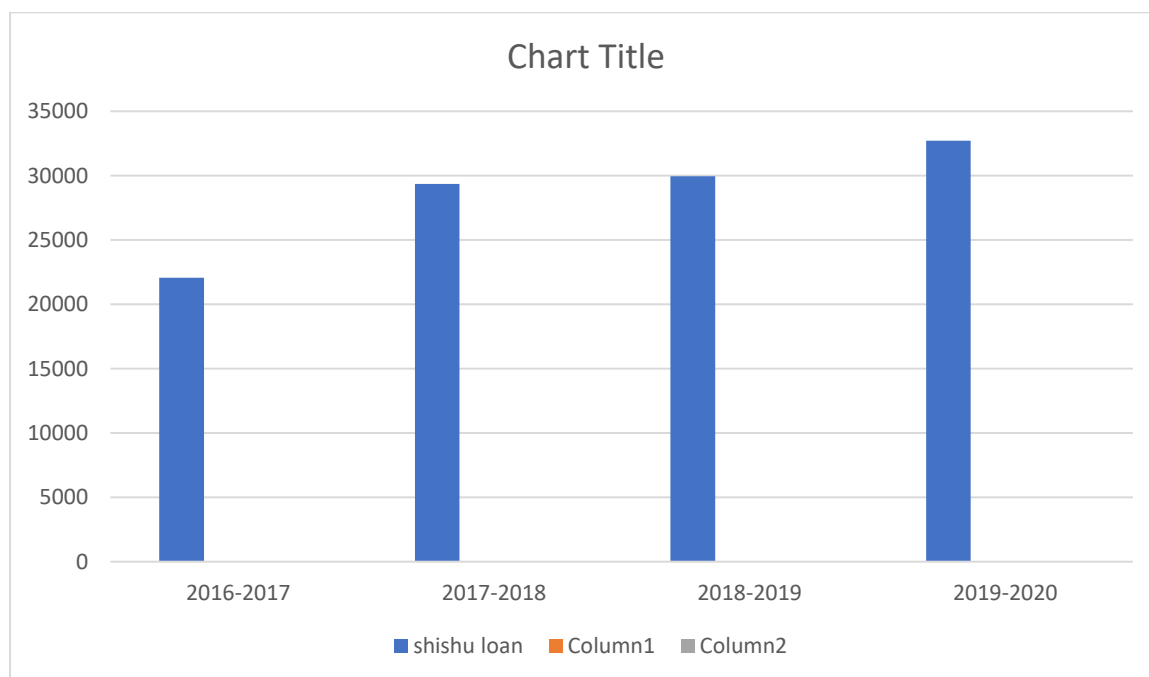
4.3 राजनांदगांव जिले में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना की स्थिति:-

TABLE-6 (Amount Rs. in crore)

FINANCIAL YEAR	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020
No. of A/Cs	22072	29342	29955	32701
Disbursement Amt	9796	73.23	81.5	101.96

Source: (Lead Bank Rajnandgaon)

राजनांदगांव में अगर हम प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना अन्तर्गत शिशु लोन की बात करें तो उपरोक्त सारणी में देखेंगे की प्रत्येक वित्तीय वर्ष 2016-2017 से 2019-2020 तक क्रमशः मुद्रा लोन में वृद्धि ही हुई है। इसे ग्राफ के माध्यम से और अधिक सरलता से समझा जा सकता है।



ग्राफ में हम देख सकते हैं कि राजनांदगांव जिले में भी शिशु लोन के हितग्राहियों की संख्या में प्रत्येक वर्ष क्रमशः उचाई छू रही है। प्रत्येक वर्ष इनमें वृद्धि ही हुई है। ये लोन नवीन व्यवसाय खोलने के लिए दिया जाता है। ताकि उद्यमियों के द्वारा अपने स्वयं का उद्योग स्थापित कर सकें, जिससे उनमें आत्मनिर्भरता की भावना का विकास होता है इसके साथ ही रोजगार का सृजन होता है। किसी भी देश में रोजगार का सृजन होने से वहाँ की जनता की आय स्वतः सृजित हो जाती है। उनके रहन-सहन स्तर में वृद्धि होती है। वे एक अच्छा जीवन जीने लगते हैं, जिससे उनके मन में एक अच्छी भावना का जन्म होता है।

समस्याएं:-

1. अशिक्षा एवं जानकारी के आभाव में बहुत से लोग अभी भी इस योजना के लाभ से वंचित हैं।
2. प्रधानमंत्री मुद्रा योजना के अंतर्गत जिन हितग्राहियों को लोन दिया जाता है वह बिना गारंटी के होता है, इसलिए ऋण राशि वापस प्राप्त करने की संभावना बहुत ही कम हो जाती है, जिसके कारण बैंक का एन.पी.ए. बहुत बढ़ रही है।
3. ग्रामीण क्षेत्रों के लोगों में जागरूकता का अभाव है।

निष्कर्ष:-

भारत जैसे विकासशील देश में जहाँ बेरोजगारी एवं गरीबी एक महत्वपूर्ण समस्या हैं वहाँ प्रधानमंत्री मुद्रा योजना एक गेम चेंजर योजना साबित हो सकती है। यदि इस योजना को ठीक प्रकार से लागू किया जाये

तो यह योजना हमारे देश के विकास के लिए एवं हितग्राहियों के सामाजिक, आर्थिक जीवन स्तर को सुधारने में सफल साबित हो सकता है। यह योजना खास कर नीचले तबके के लोगो के लिए महत्वाकांक्षी योजना है।

सुझाव:-

1. इस योजना की जानकारी अधिक से अधिक लोगो को हो सके इस हेतु प्रचार-प्रसार किया जाना चाहिए।
2. ग्रामीण क्षेत्रों में किसी कार्यक्रम के जरीये इस योजना के लाभ के बारे में बताया जाना चाहिए।
3. चूंकि इस योजना अंतर्गत जो लोन दिया जाता है वह बिना किसी गारंटी के दिया जाता है, इस कारण अधिकांश लोन यह सोचकर लोन नहीं चुकाते की ,उनके लोन ना चुकाने से सरकार उनकी लोन राशि को माफ कर देगा, परन्तु यह सही नहीं है ऐसा करने से हितग्राहियों को ही हानि होती है इस हेतु भी उन्हें जागरूक किया जाना चाहिए।

सन्दर्भ ग्रन्थ सूची-

1. <https://www.mudra.org.in> की पोर्टल साईट
- 2- <https://rajnandgaon.nic.in/>
3. योजना पत्रिका वर्ष 2015 से 2021 तक का
4. कुरुक्षेत्र पत्रिका वर्ष 2015 से 2021 तक का
5. <https://www.cg.gov.in> dh lkbZV
- 6- डॉ०डी०एन.श्रीवास्तव अनुसंधान विधियों साहित्य प्रकाशन, आगरा
- 7 मुद्रा योजना की वार्षिक प्रतिवेदन 2015 से 2021 तक
8. जिला साख्यिकी पुस्तिका 2018
9. मोहम्मद शाहिद एवं मोहम्मद इरशाद A Descriptive Study on Pradhan Manthri Mudra Yojana (PMMY) (International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology Special Issue SACAIM 2016)
10. डॉ.योगेश डी.महाजन (International journal of Advance and Innovation Volume 6, Issue 2(XVII) April-June,2019
- 11 तोरन लाल वर्मा (April 2019 JETIR Volume 6 Issue 4)
12. भास्कर बिश्वास(Parikalpana-KIIT Journal of Management Vol.15, Dec. 2019)
- 13- वित्तीय वर्ष 2015-2016 से 2018-2019 तक का बजट भाषण नोडल मंत्रालय वित्तीय सेवाएं विभाग

लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास में छत्तीसगढ़ राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन (राजनांदगांव जिले के विशेष संदर्भ में)

डॉ. के.एल. टाण्डेकर, प्राचार्य शासकीय नेहरू स्नातकोत्तर महाविद्यालय, डोंगरगढ़, जिला – राजनांदगांव, छ.ग.

डॉ. संतोष कुमार उके, सहायक प्राध्यापक – वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

श्रीमती सुमन बोथरा, सहायक प्राध्यापक – वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.).

शोध सार :-

प्रस्तुत शोध पत्र में लक्षित वर्गों (अनुसूचित जाति, अनु.जनजाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक एवं सफाई कामगार) के आर्थिक विकास में अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन किया गया है । प्रदेश एवं जिले में आर्थिक विकास की दृष्टि से इन वर्गों के विकास हेतु निगम द्वारा संचालित विभिन्न योजनाओं से संबंधित आकड़ों को दर्शाया गया है। विशेष रूप से इन वर्गों द्वारा अपनी इच्छानुसार चयनित व्यवसाय उद्योग के लिए प्रशिक्षण एवं वित्तीय सहायता उपलब्ध कराकर उन्हें आर्थिक रूप से आत्मनिर्भर बनाकर समाज की मुख्यधारा से जोड़ना एवं इनके स्वरोजगार के प्रति आकर्षित कर इनकी मानसिकता को विकसित करना है, इसके लिए निगम के माध्यम से ऋण सुविधा, ऋण वितरण, ऋण वसूली, वसूली के प्रतिशत को भी सारणी द्वारा प्रदर्शित कर विश्लेषण किया गया है तथा लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास में अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम कितना सफल रहा, इसका विश्लेषणात्मक अध्ययन किया गया।

प्रस्तावना :-

भारतीय समाज का इतिहास अत्यंत प्राचीन है, भारतीय समाज भी विश्व के अन्य देशों की संरचनाओं, संस्कृतियों से मौलिक रूप से आध्यात्मिक उद्देश्यों के कारण पृथक है। भारतीय सामाजिक संरचना का एक प्रमुख लक्षण यहाँ व्याप्त जाति व्यवस्था है, निम्न एवं कमजोर वर्ग द्वारा परम्परागत रूप से किये जाने वाले कार्य चाहे वह कितने ही उपयोगी क्यों न हो, उनको घृणा की दृष्टि से ही देखा जाता है। कमजोर वर्ग के लोग प्रतिभावान और अन्य कार्यों में दक्ष होने के बावजूद भी अपने पंसद का कार्य नहीं कर पाते थे, व्यवसायिक स्वतंत्रता के अभाव में योग्य, कुशल और चतुर होने के बाद भी यह समुदाय अपना आर्थिक विकास नहीं कर पाते थे, आजादी के बाद दलितों (लक्षित वर्गों) के उत्थान एवं आर्थिक विकास को लक्ष्य मानकर अनेक योजनाएं व कानून बनाये गए, जिससे की दलितों को सम्मान एवं न्याय मिल सकें।

लक्षित वर्गों के सम्पूर्ण विकास के लिए भारत सरकार तथा राज्य सरकार द्वारा विभिन्न उपक्रमों की स्थापना की गई, उनमें से एक छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित की स्थापना 30 अक्टूबर 2000 को की गई। इस निगम के द्वारा प्रदेश में निवासरत अनुसूचित जाति, अनुसूचित जनजाति, अन्य पिछड़ा वर्ग, अल्प संख्यक वर्ग तथा सफाई कामगार वर्ग को “लक्षित वर्ग” मानकर उनको आर्थिक एवं सामाजिक रूप से ऊपर उठाकर विकास की मुख्य धारा से जोड़कर सशक्त बनाने का लक्ष्य रखा गया है, आर्थिक विकास के लिए इन वर्गों के हितग्राहियों को उनके द्वारा चयनित व्यवसाय हेतु ऋण उपलब्ध कराया जाता है, जिनकी सहायता से इस वर्ग के हितग्राही अपना स्वयं का रोजगार प्रारंभ कर अपना आर्थिक एवं सामाजिक विकास कर अपने जीवन स्तर में सुधार कर सकते हैं।

लक्षित वर्गों की आय, जीवन स्तर एवं रोजगार की असमानता को कम करने के लिए सरकार ने रणनीति के रूप में नियोजित विकास को अपनाया है, इन वर्गों की विभिन्न समस्याओं को देखते हुए एवं इनके सामाजिक आर्थिक उत्थान के लिए राजनांदगांव जिले में कार्य कर रहे “छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित” पूरी सजगता पूर्वक कार्य कर रहा है, निगम द्वारा संचालित योजनाओं ने इन वर्गों को कैसे एवं कहा तक वित्तीय सहायता प्रदान कर आर्थिक रूप से सशक्त व स्वावलम्बी बनाया ताकि इनके आर्थिक विकास के लिए क्या –क्या कार्य किए हैं, इन सभी कार्यों का उनके आर्थिक विकास में क्या प्रभाव पड़ा, आदि का मूल्यांकन करने के लिए शोध विषय का चयन किया गया है।

शब्द सूची :-

लक्षित वर्ग, आर्थिक विकास, उत्थान, स्वावलंबी।

उद्देश्य :-

1. निगम की योजनाएं लक्षित वर्ग के आर्थिक, सामाजिक, शैक्षणिक विकास में कितनी सहायक रही, इसका विश्लेषण करना।
2. छत्तीसगढ़ राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की योजनाओं का लक्षित वर्गों के जीवन स्तर पर क्या प्रभाव रहा।
3. लक्षित वर्गों तक निगम की योजनाओं की जानकारी कैसे पहुंची तथा इनमें कितनी जागरूकता आयी, इसका अध्ययन करना।
4. निगम की योजनाओं का इन वर्गों के रोजगार पर पड़ने वाले प्रभाव का अध्ययन करना।
5. निगम की योजनाओं एवं कार्यक्रमों की समीक्षा करना तथा जागरूकता लाने में कहा तक निगम सफल रहा है।
6. योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों के सशक्तिकरण की स्थिति का मूल्यांकन करना।

परिकल्पना :-

प्रस्तावित शोध कार्य के संबंध में निम्न परिकल्पना की गई –

1. छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों की सामाजिक, आर्थिक स्थिति सुदृढ़ हुई है।
2. योजनाओं/कार्यक्रमों का लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास पर सकारात्मक प्रभाव रहा है।
3. निगम की विभिन्न योजनाओं का सुचारु रूप से क्रियान्वयन हो रहा है।

शोध प्रविधि :-

प्रस्तुत शोध अध्ययन छ.ग. राज्य के राजनांदगांव जिले के लक्षित वर्ग (अनु. जाति, अनु.जन. जाति, अन्य पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक सफाई कामगार) के आर्थिक विकास में छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन किया गया है, इसके लिए प्राथमिक तथा द्वितीयक समंको का प्रयोग किया गया है, प्राथमिक समंको के संकलन के लिए प्रत्यक्ष संपर्क कर अनुसूची एवं प्रश्नावली भरवायी गई है, इसके अलावा निगम से प्राप्त वार्षिक प्रतिवेदन जनगणना, प्रकाशन जिला सांख्यिकी पुस्तिका सांख्यिकी प्रकाशनो, रोजागार समंको से प्राप्त आकड़ों को द्वितीयक समंको के रूप में प्रयोग कर उनके सारणीयन एवं विश्लेषण, सांख्यिकी विधियों के आधार पर प्रतिशत, विकासदर, प्रवृत्तिमान का उपयोग तथ्यों की सार्थकता का प्रस्तुतीकरण किया गया है।

अध्ययन क्षेत्र एवं सीमाएं :-

प्रस्तुत अध्ययन हेतु राजनांदगांव जिला का चयन किया गया है, जिसमें निगम द्वारा संचालित आर्थिक विकास योजनाओं को लिया गया है। राजनांदगांव जिले के अंतर्गत 9 विकासखंड हैं – राजनांदगांव, डोंगरगांव, चौकी, छुरिया, मोहला, मानपुर, खैरागढ़, छुईखदान, डोंगरगढ़ आते हैं। राजनांदगांव जिला छ.ग. राज्य के पश्चिम भाग में स्थित राज्य का सबसे बड़ा जिला है। वर्तमान अध्ययन कार्यक्षेत्र राजनांदगांव जिला में संचालित निगम (विभाग) से प्राप्त सूची के आधार पर लगभग 10 प्रतिशत हितग्राहियों का चयन कर इन्हे अध्ययन की ईकाई के रूप में सम्मिलित किया गया है, जिसमें अनु. जाति, अनु.जन जाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक, सफाई कामगार वर्ग के हितग्राहियों को शामिल किया गया है। शोध प्रबंध के अध्ययन की अवधि का निर्धारण भी करना एक व्यवहारिक समस्या है। अतः उपलब्ध योजनाओं का अध्ययन उन आकड़ों की उपलब्धता के आधार पर अलग-अलग समयावधि पर किया गया है।

राजनांदगांव जिले का परिचय एवं भौगोलिक स्थिति :-

मध्यप्रदेश के तत्कालिक मुख्यमंत्री श्री प्रकाशचंद सेठी ने अविभाजित दुर्ग जिले से राजनांदगांव को जिला बनाने की घोषणा 26 जनवरी 1973 को किया, तब से यह जिला अस्तित्व में आया है, राजनांदगांव जिला छत्तीसगढ़ के अंचल में स्थित पश्चिम भाग में स्थित छ.ग. राज्य का सबसे बड़ा जिला जो वर्तमान में दुर्ग संभाग के अंतर्गत आता है। 1973 में कुल भौगोलिक क्षेत्रफल 11127 वर्ग किमी था। वर्तमान में कुल भौगोलिक क्षेत्रफल 8022.5 वर्ग किमी है। जिले का विस्तार 20°70' से 22°29' उत्तरी अक्षांश तथा 80°23' से 81°29' पूर्वी देशांतर के मध्य है, समुद्रतल से औसत ऊँचाई 330°78 मीटर इसकी उत्तर से दक्षिण लम्बाई 148.4 कि.मी. तथा पूर्व पश्चिम लम्बाई 89 कि.मी. है। जिले की कुल जनसंख्या 2001 के अनुसार 1283224 थी, जो बढ़कर 2011 में 1537133 हो गई, इसी प्रकार जिले के अधिकांश तहसीलों में जनसंख्या वृद्धि हुई है, वर्ष 2011 की जनगणना के अनुसार सर्वाधिक जनसंख्या राजनांदगांव तहसील में तथा सबसे कम मोहला तहसील में दर्ज की गई है।

छ.ग. अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम का परिचय कार्य एवं उद्देश्य :-

भारत सरकार द्वारा संविधान में उल्लेखित अनुच्छेदों के तहत घोषित अनु.जाति, अनु.जन.जाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक एवं सफाई कामगारों (लक्षित वर्ग) के लोगों को स्वरोजगार एवं वित्तीय सहायता प्रदान करने के उद्देश्य से छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम का गठन म.प्र. सहकारी सोसायटी (पुनर्गठन एवं निर्माण) अध्यादेश क्रमांक 04 सन् 2000 के अंतर्गत दिनांक 30.10.2000 को किया गया छ.ग. में कुल आबादी 32% अनुसूचित जनजाति एवं 13% अनुसूचित जाति वर्ग का है, इन दोनों को विशेष ध्यान में रखते हुए इनके आर्थिक विकास एवं गरीबी रेखा से नीचे के अंतिम छोर के व्यक्ति को वित्तीय सहायता दिलाकर स्वालम्बी बनाने के उद्देश्य पर निगम छ.ग. प्रदेश एवं राजनांदगांव जिले में विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन कर रहा है। इसके अतिरिक्त पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक वर्ग, सफाई कामगारों की मुक्ति एवं पुर्नबास के लिए आर्थिक मूलक योजनाओं के दायित्व का निर्वहन निगम कर रहा है। बेरोजगार युवकों में व्यवसायिक मानसिकता विकसित करने के उद्देश्य से व्यवसाय पूर्व प्रशिक्षण देने के लिए उद्यमी विकास संस्थान एवं प्रशिक्षण सह-उत्पाद केन्द्र का विलय छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित में किया गया है।

लक्षित वर्ग समूह – छ.ग. राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम द्वारा लक्षित वर्ग समूह वर्ग समूह के अंतर्गत अनु. जाति, अनुसूचित जनजाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक वर्ग एवं सफाई कामगार वर्ग को शामिल किया गया है, इन वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास हेतु विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन निगम कर रहा है।

अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की लक्षित वर्गों के लिए जिले में संचालित विभिन्न योजनाओं एवं उनका क्रियान्वयन बाबद— राजनांदगांव जिले में लक्षित वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास को ध्यान में रखते हुए छ.ग. अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित राष्ट्रीय वित्त पोषक निगमों के सहयोग से अलग-अलग वर्गों के हितार्थ संचालित विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन सफलतापूर्वक कर रहा है, राष्ट्रीय वित्त पोषक निगमों में प्रमुख (1) राष्ट्रीय अनुसूचित जाति वित्त एवं विकास निगम (2) राष्ट्रीय अनुसूचित जनजाति वित्त एवं विकास निगम (3) राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग वित्त एवं विकास निगम (4) राष्ट्रीय अल्प संख्यक वित्त एवं विकास निगम (5) राष्ट्रीय सफाई कामगार वित्त एवं विकास निगम है, इन लक्षित वर्गों के लिए संचालित योजनाएँ निम्नानुसार हैं—

- 1. अनुसूचित जाति –** अनुसूचित जाति वर्ग के हितग्राहियों को आर्थिक रूप से सशक्त करने हेतु संचालित योजनाएँ (1) महिला समृद्धि योजना (2) माइक्रो क्रेडिट योजना (3) ट्रेक्टर ड्राली योजना (4) स्माल बिजनेस योजना (5) गुड्स कैरियर योजना (6) पेसेन्जर व्हीकल योजना (7) शिक्षा ऋण योजना (8) लघु व्यवसाय योजना
- 2. अनुसूचित जनजाति –** अनुसूचित जनजाति वर्ग के लिये संचालित योजनाएँ (1) ट्रेक्टर ड्राली योजना (2) गुड्स कैरियर योजना (3) पेसेन्जर व्हीकल योजना (4) आदिवासी महिला सशक्तिकरण योजना (5) स्माल बिजनेस योजना (6) शिक्षा ऋण योजना
- 3. राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग—** राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग के लिए संचालित योजनाएँ (1) टर्म लोन योजना (2) माइक्रो क्रेडिट योजना (3) जनरल लोन योजना (4) नई स्वर्णिम योजना (5) आकांशा शैक्षिक ऋण योजना (6) महिला समृद्धि योजना
- 4. अल्पसंख्यक वर्ग—** अल्पसंख्यक वर्ग के लिए संचालित योजनाएँ (1) टर्म लोन योजना (2) शैक्षिक ऋण योजना (3) लघु वित्त (माइक्रो फायनेन्स) योजना (4) महिला समृद्धि योजना (5) व्यक्ति मूलक बड़ी ऋण योजना
- 5. सफाई कामगार वर्ग—** सफाई कामगार वर्ग के लिए योजनाएँ (1) व्यक्ति मूलक योजना (2) आटो शिक्षा योजना (3) स्वच्छता से संबंधित वाहन योजना (4) सेनेटरी मार्ट योजना (5) महिला समृद्धि योजना (6) माइक्रो क्रेडिट योजना (7) महिला अधिकारिकता योजना आदि का क्रियान्वयन निगम द्वारा किया जा रहा है। जिला अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित राजनांदगांव द्वारा वर्ष 2000 से 2016 तक वर्गवार योजनाओं में वितरित राशि के आंकड़े निम्न तालिका अनुसार हैं—

वर्गवार योजनाओं के आंकड़े (वर्ष 2000 से जून 2016 तक) राशि लाख रुपये में

क्रमांक	विवरण	वितरित राशि	वसूल की गई राशि	बकाया राशि	वसूली का प्रतिशत
01	अनुसूचित जाति वर्ग	32767840	18598430	14169410	56.75%
02	अनुसूचित जनजाति वर्ग	50337405	25650839	24686566	50.95%
03	पिछड़ा वर्ग	7304968	3823932	3481036	52.35%
04	अल्पसंख्यक वर्ग	5003145	1515493	3487653	30.29%
05	सफाई कामगार वर्ग	12851766	2256663	10596103	17.55%
योग –		108265124	51844357	5642767	47.88%

स्त्रोत – अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम राजनांदगांव (छ.ग.)

उपरोक्त तालिका से स्पष्ट है कि जिला अंत्यावसायी वित्त विकास निगम राजनांदगांव द्वारा जिले में लक्षित वर्गों को आर्थिक एवं सामाजिक विकास की दृष्टि से विभिन्न योजनाओं के माध्यम से आर्थिक सहायता उपलब्ध कराई गई जिससे अनुसूचित जाति, अनुसूचित जनजाति, पिछड़ा वर्ग का वसूली प्रतिशत क्रमशः 56.75%, 50.95%, 52.35%, है जो अन्य वर्गों की तुलना में सर्वाधिक है, इसका कारण इन वर्गों का शिक्षित एवं जागरूक होना दर्शाता है वहीं अल्पसंख्यक तथा सफाई कामगारों क्रमशः 30.29 एवं 17.55 % रहा है। ऋण का प्रतिशत कम होने से जिले में निगम की राशि विभिन्न राष्ट्रीय निगमों को समय पर वापस करने में कठिनाई होती है, जिले में कुल वसूली का प्रतिशत 47.88% है जो कि निगम द्वारा संचालित योजना के सफल क्रियान्वयन से सभी वर्गों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास संभव हो सका है।

समस्या एवं सुझाव –

लक्षित वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योजनाओं के क्रियान्वयन में जिला अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की महत्वपूर्ण भूमिका रही है, विषय के अध्ययन विश्लेषण के समय हमें कई चुनौतियों एवं कठिनाइयों का सामना करना पड़ा है, योजनाओं के क्रियान्वयन में हितग्राहियों की अशिक्षा, निष्ठा, प्रतिबद्धता, कर्मठता, इच्छा शक्ति तथा योजनाओं की सही जानकारी का हितग्राहियों तक सही समय एवं सही परिस्थितियों में नहीं पहुँच पाना तथा इसका ज्ञान न होना निर्धारित समय पर लक्ष्य की पूर्ति न होना वसूली का शत-प्रतिशत नहीं होना, वसूली में विलम्ब जैसी प्रमुख समस्या पायी गई है, निगम के कर्मचारी, अधिकारी का भी सहयोग एवं समन्वय का आभाव रहा है, निगम की योजनाएँ आर्थिक विकास अर्थात् ऋण वितरण से संबंधित होने के कारण वितरण प्रक्रिया में जटिलता से भी हितग्राही योजना का सही लाभ उठाने में असमर्थ रहे हैं, निगम की विभिन्न योजनाओं के क्रियान्वयन का लक्षित वर्गों के आर्थिक सामाजिक विकास पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा एवं उनकी स्थिति सुदृढ़ वसूली हो इसके लिए निम्नलिखित सुझाव प्रस्तुत है –

सुझाव –

1. हितग्राहियों को सरलता से ऋण उपलब्ध हो सके इसके लिए ऋण लेने की औपचारिकता को कम करने की आवश्यकता है।
2. निगम द्वारा ऋण वितरण, ऋण वसूली की प्रक्रिया को सरल बनाना चाहिए।
3. योजनाओं का व्यापक प्रचार-प्रसार किया जाना चाहिए जिससे कि हितग्राहियों द्वारा योजनाओं को अधिक लाभ उठाया जा सके।
4. ऋण पर ब्याज दर में कमी करना आवश्यक है ताकि हितग्राहियों को अधिक भार उठाना ना पड़े।
5. हितग्राहियों को प्रोत्साहन स्वरूप कुछ अतिरिक्त सुविधाएँ प्रदान करनी चाहिए।
6. आवेदकों के चयन प्रक्रिया पूर्ण रूप से पारदर्शी होनी चाहिए, जिससे योग्य, ईमानदार, परिश्रमी, लगनशील दृढ़ ईच्छाशक्ति एवं कर्मठ व्यक्ति का चयन हो ताकि ऋण की राशि का सही उपयोग हो सके।
7. निगम द्वारा योजनाओं के क्रियान्वयन की जवाबदेयता तय होनी चाहिए।
8. निगम की कुछ योजनाओं पर ब्याज मुक्त ऋण दिया जाए ताकि अधिक से अधिक हितग्राही आकर्षित हो सके।

निष्कर्ष –

वर्तमान समय में बेरोजगारी पूरे विश्व में प्याप्त है। अनु.जाति, जनजाति, पिछड़ा वर्ग एवं अल्प संख्यक एवं सफाई कामगारों ने बेरोजगारी की समस्या को समाप्त करने तथा इस वर्ग के हितग्राहियों को स्वरोजगार प्रदान करने के दृष्टि से छ.ग. अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन कर रही है। निगम विभिन्न योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों को वित्तीय सहायता प्रदान कर रही है। इन योजनाओं का लक्षित वर्ग पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा है, साथ ही जिले के लक्षित वर्गों की सामाजिक, आर्थिक, शैक्षणिक स्थिति सुदृढ़ हुई साथ ही रोजगार, स्वरोजगार के अवसर उपलब्ध हुए। इन योजनाओं के क्रियान्वयन से लक्षित वर्गों के जीवन स्तर में सुधार आया है और वे विकास की मुख्यधारा से जुड़कर आर्थिक रूप से सक्षम बन रहे हैं। इन वर्गों के आर्थिक रूप से विकसित होने से समाज का, गांव का, जिले का, राज्य का एवं राष्ट्र का भी विकास हो रहा है।

संदर्भ सूची –

1. जिला अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम राजनांदगांव द्वारा प्रकाशित पुस्तिका।
2. मिनी माता स्वालम्बन योजना सफलता की कहानी 2012।
3. राष्ट्रीय अनुसूचित जाति, जनजाति वित्त एवं विकास निगम नई दिल्ली।
4. सफाई कामगार समुदाय खुदशाह संजीव रामकृष्ण प्रकाशन नई दिल्ली।
5. छ.ग. राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम रायपुर मार्गदर्शिका।
6. आदिवासी स्वरोजगार योजना मार्गदर्शिका।
7. जिला सांख्यिकी पुस्तिका 2014।
8. रिसर्च लिंक मार्च-2018।
9. डॉ. शांता शुक्ला, छत्तीसगढ़ सामाजिक आर्थिक इतिहास।
10. आदिवाल चंद्रमोहन आदिवासी हरिजन आर्थिक विकास, नारदन बुक सेंटर, इलाहाबाद।
11. जिला राजनांदगांव की विकास झलक – 2014

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान (छत्तीसगढ़ के राजनांदगाँव नगर निगम क्षेत्र के विशेष संदर्भ में)

रागिनी शोधार्थी सहायक प्राध्यापक(वाणिज्य) शा. दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय राजनांदगाँव छ.ग. भारत
डॉ. टाण्डेकर के.एल. शोध निर्देशक प्राचार्य शा. दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय जिला राजनांदगाँव छ.ग.
डॉ. भाटिया एच. एस. सह शोध निर्देशक विभागाध्यक्ष शा. दिग्विजय स्वशासी महा. राजनांदगाँव छ.ग. भारत

1. शोध सार :-

राज्य के नागरिकों को रोजगार की सुविधा प्रदान करने के लिए राज्य शासन द्वारा महत्वाकांक्षी योजनाओं को पूर्ण करने के लिए व्यावसायिक परियोजना की शुरुआत की गई। इस योजना का क्रियान्वयन राज्य स्तर पर छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल द्वारा किया जा रहा है इस परियोजना के अंतर्गत प्रत्येक हितग्राहियों को कम कीमत पर व्यावसायिक परिसर प्रदान किया जाता है। वर्तमान में मंडल द्वारा राज्य में लगभग 2000.00 व्यावसायिक परिसरों का निर्माण किया जा चुका है। इस योजना में लगभग 200000.00 से 9000000.00 रु. तक व्यावसायिक परिसर का मूल्य निर्धारित किया गया है। इस योजना में भवनों के क़य हेतु भाड़ा क़य योजना के माध्यम से किस्त भुगतान की सुविधा 10/15 वर्षों तक प्रदान की जा रही है इसके द्वारा निम्न आय स्तर के नागरिकों को व्यावसायिक परिसर की सुविधा प्रदान की जा रही है। इस योजना के माध्यम से हितग्राहियों को रोजगार की प्राप्ति होती है जिससे हितग्राहियों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास होता है।

2. मुख्य शब्द :-

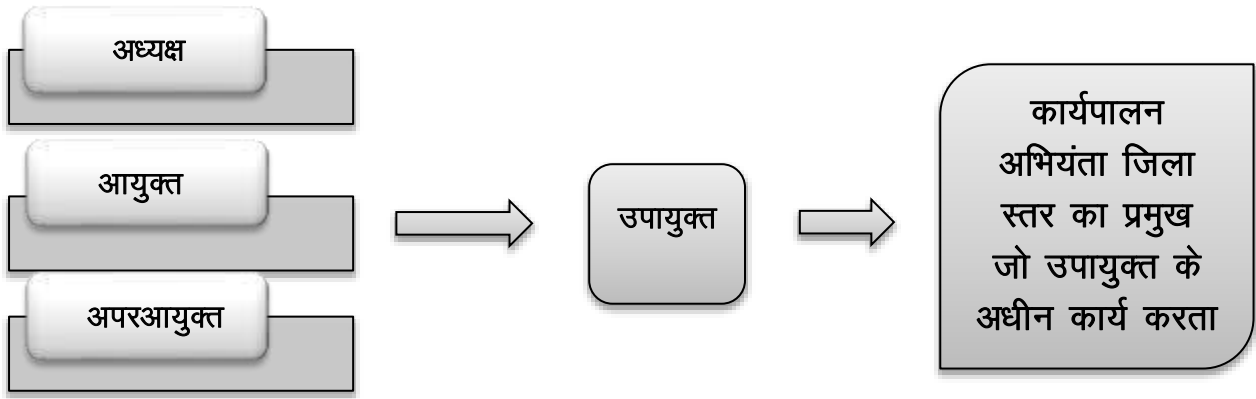
व्यावसायिक परिसर, रोजगार, सामाजिक एवं आर्थिक विकास, योजना का क्रियान्वयन, छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल

3. प्रस्तावना:-

प्राचीन काल में मानव अपनी आवश्यकताओं को पूर्ण करने के लिए शिकार एवं आखेट किया करता था तत्पश्चात् धीरे धीरे समय में परिवर्तन हुआ एवं वर्णों के आधार पर कार्य का विभाजन होने लगा वर्तमान में भी अपनी आवश्यकताओं के लिए मानव रोजगार की तलाश करता है या व्यवसाय करता है। वर्तमान में प्रमुख समस्या रोजगार एवं व्यवसाय की समस्या है। रोजगार से आशय है आजीविका अर्थात् जीवन यापन के लिए अर्थात् भोजन, वस्त्र, आवास, चिकित्सा, शिक्षा आदि पर खर्च करने के लिए आवश्यक धन अर्जन हेतु नियमित रूप से किया जाने वाला काम एवं व्यवसाय से आशय है, एक ऐसा कार्य जिसमें धन के बदले वस्तुओं अथवा सेवाओं का उत्पादन, विक्रय और विनिमय से है। यह नियमित रूप से किया जाता है तथा लाभ कमाने के उद्देश्य से किया जाता है। खनन, उत्पादन, व्यापार, परिवहन, भंडारण, बैंकिंग तथा बीमा आदि क्रियाओं से है। मानव जीवन में व्यवसाय एवं रोजगार का अत्यधिक महत्व है, उन्हें रोजगार एवं व्यवसाय से आजीविका की प्राप्ति होती है एवं मानव की आवश्यकताओं की पूर्ति भी रोजगार एवं व्यवसाय के माध्यम से होती है।

भू-संपदा के क्षेत्र में महत्वपूर्ण भूमिका निभाने के लिए एवं गुणवत्तापूर्ण किफायती आवास की उपलब्धता सुनिश्चित करने के लिए " सबके लिए आवास " कथन के साथ छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की स्थापना छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल अधिनियम 1972 के तहत (no 3 of 1973) 2000 को हुआ तत्पश्चात् अधिसूचना क्रमांक 177/3236/32/2003 दिनांक 12.02.2004 में पुनर्गठन किया गया।

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल निगमित निकाय है। जो आवास एवं पर्यावरण विभाग के अंतर्गत आता है। मंडल में 1 अध्यक्ष होता है जो विधानसभा का सदस्य, 1 आयुक्त जो आई.ए.एस.संवर्ग का होता 3 अपर आयुक्त होते हैं। जो आयुक्त के अधीन कार्य करते हैं इनका मुख्यालय नवा रायपुर है। सर्किल स्तर पर उपायुक्त होता है जिसके अधीन कार्यपालन अभियंता होते हैं कार्यपालन अभियंता जिला स्तर का प्रमुख होता है जिनके अधीन कर्मचारी कार्यरत होते हैं। वर्तमान में प्रथम/द्वितीय/तृतीय/चतुर्थ श्रेणी के कुल 646 अधिकारी/कर्मचारी कार्यरत है।



छत्तीसगढ़ शासन की व्यवसाय हेतु परिसर निर्माण करने एवं आवास की नीतियों लागू करने वाली यह प्रमुख संस्था हैं। छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल एक स्वायत्त संस्था हैं। सीमित साधनों के साथ इसकी स्थापना की गई थी। परन्तु कुछ ही समय में मंडल प्रगति के सोपानों की ओर अग्रसर है। मंडल ने विभिन्न योजनाओं के माध्यम से हितग्राहियों को संतुष्ट किया है एवं किफायती दर पर आवास एवं व्यावसायिक परिसर उपलब्ध कराया जाता है।

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल द्वारा E. W. S. एवं L.I.G. वर्गों के नागरिकों किफायती दर पर आवास एवं व्यावसायिक परिसर उपलब्धता सुनिश्चित काराने की प्राथमिकता है तथा मंडल द्वारा अटल आवास योजना, अटल विहार योजना, दीनदयाल आवास योजना में विभिन्न सुविधाओं के साथ आवास एवं व्यवसाय हेतु व्यावसायिक परियोजना के माध्यम से व्यावसायिक परिसर उपलब्ध कराया जाता है। इन योजनाओं के लिए मंडल को राष्ट्रीय स्तर पर सम्मानित किया जा चुका है। इस संबंध में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की स्थापना का प्रमुख उद्देश्य है:-

1. बेरोजगार परिवारों को अनुदान के पश्चात् कम दर पर प्राथमिकता के आधार पर व्यावसायिक परिसर की सुविधा सुनिश्चित करना।
2. राज्य के व्यवसाय एवं रोजगार की सुविधा सुरक्षित करने के लिए प्रेरित करना।
3. राज्य में व्यावसायिक गतिविधियों के मध्य की अनावश्यक प्रशासनिक एवं कानूनी बाधाओं को दूर करना।
4. राज्य की क्षेत्रीय संस्थान एवं पब्लिक प्राइवेट पार्टनरशिप, अर्ध निजी संस्थाओं भवनों में विनियोग के लिए सक्रिय करना एवं प्रोत्साहित करना।

4 शोध अध्ययन का उद्देश्य :-

1. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की परियोजनाओं का अध्ययन करना।
2. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों तक पहुँच की सुनिश्चितता का अध्ययन करना।
3. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का विभिन्न क्षेत्र में योगदान का अध्ययन करना।
4. हितग्राहियों के आर्थिक विकास एवं सामाजिक विकास में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना के योगदान का अध्ययन करना।

5. शोध की परिकल्पना :-

1. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान हैं।
2. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना की पहुँच विभिन्न वर्गों तक है।
3. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की परियोजनाओं का क्रियान्वयन एवं मंडल की स्थिति सुदृढ़ करने में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल संभाग राजनांदगांव का महत्वपूर्ण योगदान है।

6. शोध प्रविधि:-

इस शोध पत्र में प्राथमिक आकड़ों के लिए हितग्राहियों से संपर्क किया गया एवं द्वितीयक आकड़ों के रूप में विवरणात्मक पद्धति का उपयोग किया गया है। छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल की विभागीय वेबसाइट एवं छत्तीसगढ़ गृह

निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव से विभिन्न सूचना पत्र एवं पत्रिकाओं के माध्यम से द्वितीयक आकड़ों का संकलन किया गया है।

7. व्यावसायिक परियोजना :-

छत्तीसगढ़ राज्य शासन द्वारा प्रवर्तित निम्न आय वर्ग (एल.आई.जी.) श्रेणी के हितग्राहियों हेतु इस परियोजना में व्यावसायिक परिसर का निर्माण किया जाता है। शासन के द्वारा रियायती दर पर भूमि उपलब्ध करायी जाती है। योजना स्थल की उपलब्धता तथा आवश्यकतानुसार स्वतंत्र अथवा बहुमंजिले परिसरों का निर्माण किया जाता है। परिसरों का आबंटन जिला कलेक्टर की अध्यक्षता में गठित समिति के माध्यम से किया जाता है। राजनांदगाँव जिले में उक्त योजना न्यू बस स्टैंड परिसर, गोल बाजार, जी.ई. रोड में क्रियान्वित की जा चुकी है, उक्त परियोजना में हितग्राहियों को कम कीमत पर व्यावसायिक परिसर प्रदान किया जा रहा है।

1. व्यावसायिक परिसर परियोजना नया बस स्टैंड परिसर

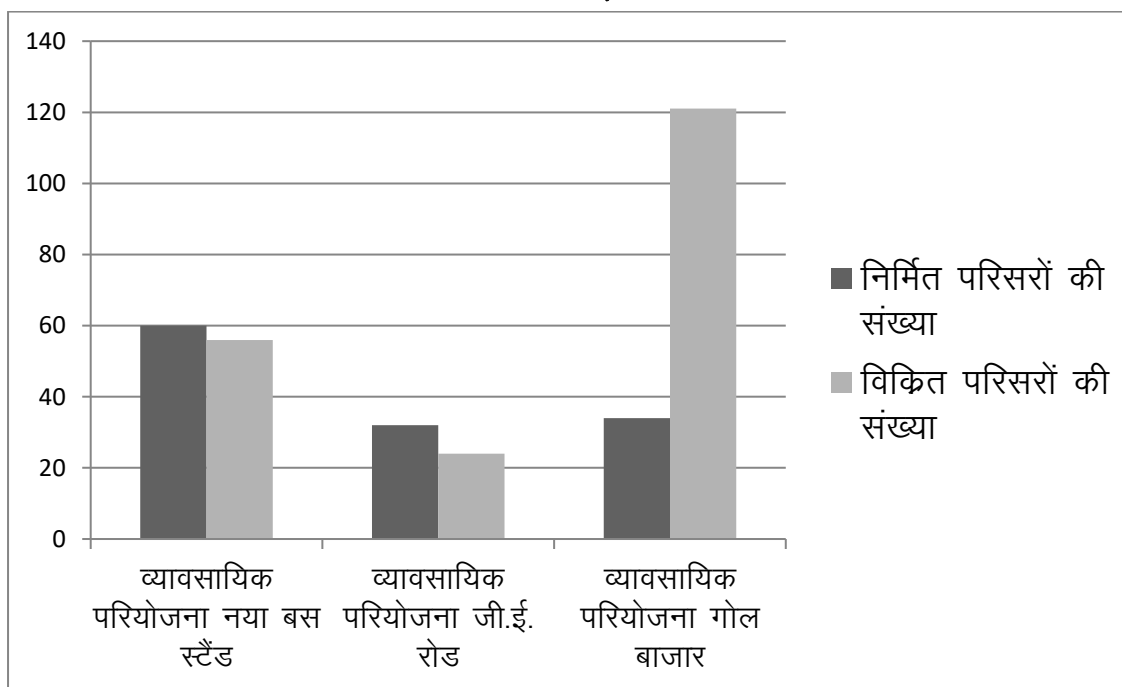
2. व्यावसायिक परिसर परियोजना गोल बाजार

3. व्यावसायिक परिसर परियोजना जी.ई. रोड

व्यावसायिक परिसर परियोजना अंतर्गत निर्मित एवं विक्रित परिसर की संख्या :-

परियोजना का नाम	परिसर का नाम	निर्मित परिसरों की संख्या	विक्रित परिसरों की संख्या
व्यावसायिक परियोजना	नया बस स्टैंड परिसर	60	56
व्यावसायिक परियोजना	जी.ई. रोड परिसर	32	24
व्यावसायिक परियोजना	गोल बाजार परिसर	34	34

व्यावसायिक परिसर परियोजना राजनांदगाँव में निर्मित एवं विक्रित भवनों की संख्या

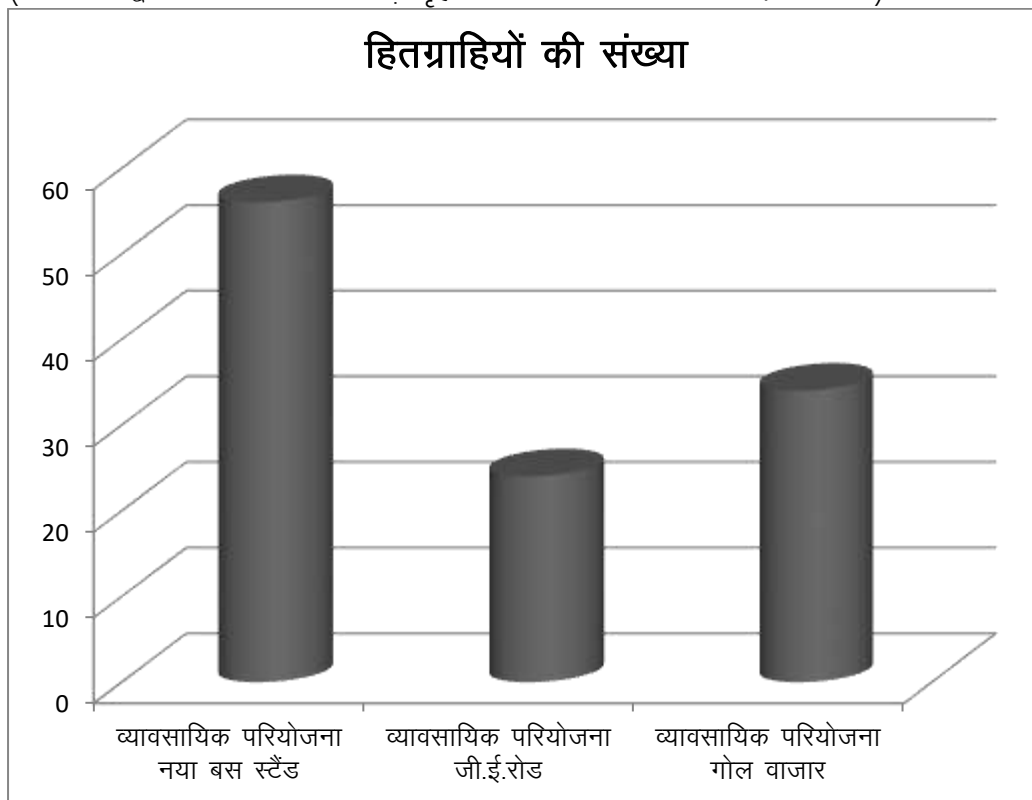


नया बस स्टैंड में निर्मित परिसरों की संख्या 60 एवं विक्रित परिसरों की संख्या 56 जी.ई. रोड में 32 एवं 24 गोल बाजार में 34 एवं 34 है।

(स्रोत :- द्वितीयक स्रोत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव छ.ग.)

क्रमांक	व्यावसायिक परिसर का नाम	हितग्राहियों की संख्या
1.	नया बस स्टैंड परिसर	56
2.	जी.ई. रोड परिसर	24
3.	गोल बाजार परिसर	34

(स्रोत :- द्वितीयक स्रोत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव छ.ग.)



व्यावसायिक परियोजना नया बस स्टैंड में हितग्राहियों की संख्या 56, जी.ई. रोड में 24, गोल बाजार में 34 है।

(स्रोत :- द्वितीय स्रोत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव छ.ग.)

8. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान का विश्लेषणात्मक अध्ययन:-

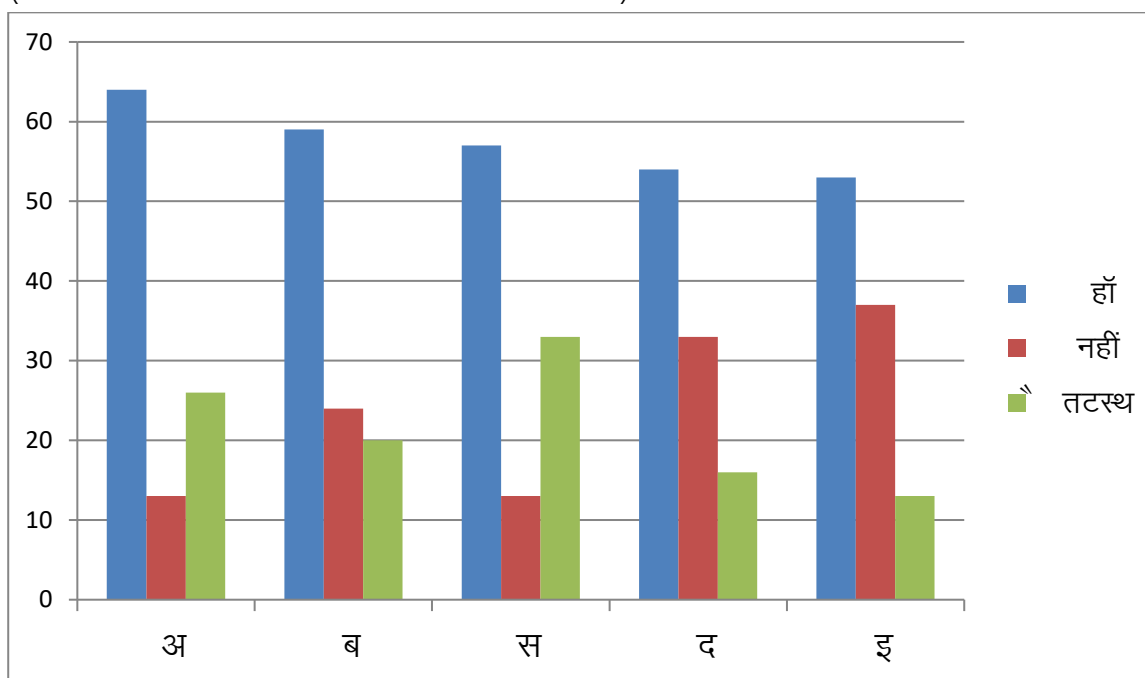
प्राथमिक आकड़ों के लिए प्रश्नावली के माध्यम से आकड़ों का संकलन किया गया प्राप्त आकड़ों के आधार पर विश्लेषणात्मक अध्ययन निम्न है:-

हितग्राहियों की संख्या :- 103

क्र.	विवरण	वर्ग	हाँ	नहीं	तटस्थ
01.	व्यावसायिक परिसर कय करने से वित्तीय स्थिति सुदृढ़ हुई।	अ	64	13	26
02.	व्यावसायिक परिसर कय करने से रोजगार की प्राप्ति हुई।	ब	59	24	20
03.	व्यावसायिक परिसर कय करने से भाड़ा कय की सुविधा प्राप्त हुई।	स	57	13	33

04	व्यावसायिक परिसर क़य करने से भाड़ा क़य की सुविधा से आपकी आय में बचत हुई।	द	54	33	16
05..	क्या आप छ.ग. गृह निर्माण मंडल की कार्यप्रणाली से संतुष्ट हैं।	इ	53	37	13

(स्रोत :- प्राथमिक स्रोत प्रश्नावली के माध्यम से संलग्न)



(स्रोत :- प्राथमिक स्रोत प्रश्नावली के माध्यम से संलग्न)

उपर्युक्त विश्लेषण से स्पष्ट है, कि व्यावसायिक परिसर क़य करने से हितग्राहियों के आय, रोजगार जीवन स्तर में वृद्धि हुई है। जिससे दृष्टिगोचर होता है कि छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान है।

9. छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना के क्रियान्वयन की प्रमुख समस्याएं:-

9.1 योजनाओं की हितग्राहियों तक पहुँच एवं प्रचार प्रसार की समस्या:-

छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल की योजनाओं के प्रचार प्रसार के अभाव के कारण जरूरतमंद हितग्राहियों तक योजना का पहुँच सुनिश्चित नहीं होता है जिससे योजना के क्रियान्वयन में समस्या होती है।

9.2 संकुचित एवं दूरस्थ क्षेत्र में योजना का क्रियान्वयन:-

मंडल द्वारा निर्मित योजना का क्षेत्र संकुचित होता है एवं जितनी भी योजनाएं निर्मित की जाती हैं। वह शहर से दूरस्थ क्षेत्र में होती हैं। जिससे व्यावसायिक परिसर के विक्रय में समस्या होती है।

9.3 शासन द्वारा अनुदान एवं पूँजी की समस्या:-

शासन द्वारा मंडल को हितग्राहियों को अनुदान एवं भूमि के अतिरिक्त कोई छुट नहीं दी जाती है एवं मंडल में पूँजी की समस्या रहती है जिससे नवीन योजना निर्मित करने में समस्या होती है।

9.4 अत्यधिक औपचारिकताएं:-

मंडल की योजना के प्रारंभ में प्रक्रिया पूर्ण करने में अत्यधिक औपचारिकताएं होती हैं एवं हितग्राहियों को नवीन परिसर क़य करने में भी अत्यधिक औपचारिकता को पूर्ण कारना होता परिणामस्वरूप परियोजना के क्रियान्वयन में समस्या होती है

10 सुझाव एवं निष्कर्ष:-

10.1 सुझाव :-

1. योजना प्रचार प्रसार :-

योजनाओं की हितग्राहियों तक पहुँच सुनिश्चित करने के लिए विज्ञापन एवं अन्य माध्यम से योजना का प्रचार प्रसार किया जाना चाहिए।

2.विस्तृत एवं निकट क्षेत्र में परिसर का निर्माण:-

व्यावसायिक परिसर का निर्माण संकुचित क्षेत्र में न करके विस्तृत क्षेत्र में किया जाना चाहिए एवं व्यावसायिक परिसर दुरस्थ क्षेत्र में निर्मित न करके शहर के निकट किया जाना चाहिए।

3.शासन द्वारा अनुदान:-

शासन द्वारा समय समय पर अनुदान उपलब्ध करना चाहिए पूँजी के अभाव में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की परियोजनाओं का क्रियान्वित नहीं हो पाती है एवं अन्य शासकीय व्यावसायिक परिसरों के निर्माण का कार्य भी छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल को प्रदान किया जाना चाहिए जिसके परिणामस्वरूप पूँजी की समस्या नहीं होगी।

4. विशेष छुट एवं योजना का प्रावधान:-

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल के द्वारा परिसर के विक्रय हेतु विशेष छुट का प्रावधान करना चाहिए एवं विशेष वर्गों हेतु विशेष योजनाएं निर्मित करनी चाहिए जिससे व्यावसायिक परिसर के विक्रय की मात्रा में वृद्धि होगी एवं मंडल के लाभ में भी वृद्धि होगी।

5.अत्यधिक औपचारिकता में कमी करना:-

मंडल के द्वारा योजना के प्रारंभ में अत्यधिक औपचारिकता होने के देरी होती है एवं व्यावसायिक परिसर के विक्रय में भी समस्या होती है। अतः औपचारिकता में कमी करने हेतु एकल खिड़की प्रणाली एवं ऑनलाईन भुगतान की सुविधा होनी चाहिए।

10.2 निष्कर्ष:-

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल द्वारा पं.दीनदयाल आवास के माध्यम से राजनांदगाँव जिला में लगभग 150 से अधिक नागरिकों को छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल के माध्यम से व्यावसायिक परिसर की सुविधा प्रदान की गई है जिसके माध्यम से नागरिकों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास हुआ है एवं इस क्षेत्र में मंडल को 10 से अधिक पुरस्कार प्राप्त हो चुके हैं। मंडल के माध्यम से हितग्राहियों को व्यावसायिक परिसर क़य करने से रोजगार प्राप्त होता है एवं स्लम क्षेत्रों विकास होता है एवं जीवन स्तर में वृद्धि जिससे यह परिलक्षित होता है कि, व्यावसायिक परिसर के निर्माण एवं हितग्राहियों के सामाजिक एवं आर्थिक विकास में व्यावसायिक परियोजना की महत्वपूर्ण भूमिका है।

11.संदर्भित ग्रंथ:-

- 1.छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की संगवारी मंडल हितग्राही मार्गदर्शिका ।
- 2.छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की विभागीय वेबसाइट <http://cghb.gov.in> ।
- 3.अन्य वेबसाइट <https://drishtias.com> ।
- 4.शोध पद्धति डॉ. आलोक गुप्ता एवं नितिन गुप्ता ।
- 5.व्या. सांख्यिकी डॉ. एस. एम. शुक्ल एवं डॉ. शिवपूजन सहाय ।
- 6.हरिभूमि आवास एवं पर्यावरण विशेष पत्रिका ।
- 7.रायपुर संभाग के अंतर्गत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की कार्यप्रणाली एवं उपलब्धियों का विश्लेषण देवागन करुणा एवं वर्मा एल. एन. ।
- 8.शोध पत्र :-
 - 1.सबके लिए आवास की सुविधा एवं हितग्राहियों के विकास में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण की भूमिका (राजनांदगाँव जिले के विशेष संदर्भ) डॉ. टाण्डेकर के. एल. डॉ. भाटिया एच. एस. रागिनी ।
 - 2.अटल आवास योजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान (राजनांदगाँव जिले के विशेष संदर्भ) डॉ. टाण्डेकर के. एल. डॉ. भाटिया एच. एस. रागिनी ।
 3. पं.दीनदयाल आवास योजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान (छत्तीसगढ़ के राजनांदगाँव जिले के विशेष संदर्भ में) डॉ. टाण्डेकर के. एल. डॉ. भाटिया एच. एस. रागिनी ।

**“प्रधानमंत्री मुद्रा योजना अंतर्गत शिशु लोन के प्रदर्शन का अध्ययन”
(राजनांदगांव जिले के विशेष सन्दर्भ में)**

छन्नी साहू शोधार्थी वाणिज्य विभाग शा.दिग्विजय स्वशासी महाविद्यालय राजनांदगांव छ.ग.

डॉ. टाण्डेकर के.एल., शोध निर्देशक & प्राचार्य शा. दिग्विजय स्वशासी महाविद्यालय राजनांदगांव छ.ग. भारत
डॉ.भाटिया एच.एस. सह-शोध निर्देशक & विभागाध्यक्ष, शा. दिग्विजय स्वशासी महाविद्यालय राजनांदगांव छ.ग. भारत

सार:-

प्रस्तुत शोध-पत्र में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना का प्रदर्शन शिशु लोन के विशेष सन्दर्भ में किया गया है। प्रधानमंत्री मुद्रा योजना उद्यमियों के विकास के लिए एक बहुत ही महत्वपूर्ण योजना है। जिस प्रकार सरकार ने जन-धन योजना के माध्यम से बिना बैंक वालों को बैंक वाला बना रही है, उसी प्रकार यह योजना बिना वित्त वालों को वित्त वाला बनाने का कार्य कर रही है। इस शोध-पत्र का उद्देश्य प्रधानमंत्री मुद्रा योजना की भूमिका, लाभ एवं उसके प्रदर्शन को उजागर करना है।

प्रस्तावना:-

भारत एक विकासशील देश है। यहाँ की अधिकांश जनसंख्या अपने जीविका-उपार्जन के लिए खेती पर निर्भर रहती है। परन्तु हमारे देश में ऐसे भी लोग हैं जिनके पास अपने जीविका-उपार्जन के लिए खेत भी नहीं है। देश के सकल घरेलू उत्पाद का अधिकांश भाग उद्यमियों के माध्यम से ही आता है। हमारे देश में ऐसे लाखों उद्यम हैं जो अपंजीकृत हैं। ऐसे अपंजीकृत उद्यमों को जब व्यवसाय में वृद्धि करने के लिए वित्त की आवश्यकता होती है तब वे बैंकों के पास जाते हैं और उद्यम अपंजीकृत होने के कारण बैंक उन्हें ऋण देने में असमर्थ होता दिखाई देता है। हमारे देश में ऐसे करोड़ों लोग हैं, जो छोटे-मोटे व्यवसाय लगाकर अपना जीवन चला रहे हैं। परन्तु उनके पास सबसे बड़ी समस्या वित्त की ही होती है। उन्हें वित्त की आवश्यकता के लिए स्थानीय साहूकारों पर निर्भर रहना पड़ता है। ये साहूकार उंची ब्याज दर पर ऋण देते हैं, जिसे चुकाना किसी व्यवसायी के लिए आसान नहीं होता है, यदि व्यवसाय चला तो ठीक, नहीं तो यदि व्यवसाय में घाटे होने लगे तो साहूकार के ऋणचक्र में फँस जाते हैं और यह ऋण पीढ़ी-दर-पीढ़ी चलता रहता है। इन्हीं सभी उद्देश्यों की पूर्ति प्रधानमंत्री मुद्रा योजना करता है। यह योजना उद्यमियों के लिए एक महत्वाकांक्षी योजना है। यह योजना स्वयं का व्यवसाय खोलने वाले उद्यमियों को 50,000/- तक का ऋण उपलब्ध करा रही है तथा जो व्यवसायी अपने स्थापित व्यवसाय में वृद्धि करना चाहते हैं उन्हें 50,000 से 10,00,000/- रुपये तक का ऋण उपलब्ध करा रही है। इस योजना की सबसे महत्वपूर्ण बात यह है कि इसके अंतर्गत जो ऋण प्रदान किया जाता है वह बिना किसी प्रोसेसिंग शुल्क व गारंटी के प्रदान किया जाता है।

मुख्य शब्द:- प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना, आर्थिक विकास, सामाजिक विकाश, रोजगार, शिशु लोन, किशोर लोन, तरुण लोन।

उद्यमी,

शोध अध्ययन का उद्देश्य:-

1. राजनांदगांव जिले में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना अंतर्गत शिशु लोन लेने वाले हितग्राहियों का प्रदर्शन
2. भारत में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना अंतर्गत शिशु लोन का प्रदर्शन करना।
3. प्रधानमंत्री मुद्रा योजना के अवसर एवं लाभ को उजागर करना।

शोध परिकल्पना:-

1. प्रधानमंत्री मुद्रा योजना में शिशु लोन के हितग्राहियों की संख्या अधिक है।
2. राजनांदगांव जिले में प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना के क्रियान्वयन से तबके के लोगो के आय एवं रोजगार में वृद्धि हुई है।
3. शिशु लोन नीचले तबके के लोगो के लिए सहायक सिद्ध हुई है।

शोध अध्ययन की प्रविधि:-

इस शोध अध्ययन में राजनांदगांव जिले के लीड बैंक से प्रधानमंत्री मुद्रा योजना से संबंधित आकड़ों को द्वितीयक समंक के रूप में लिया गया है तथा अन्य आकड़े संबंधित संस्था में उपलब्ध अभिलेखों से, वार्षिक प्रतिवेदनों से, बजट रिपोर्टों से, प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना की पोर्टल साईट से, अधिकारिक वेबसाईट से प्राप्त किये गये हैं।

उक्त स्रोत से प्राप्त जानकारियों को संकलित करने के पश्चात उपर्युक्त साख्यिकी प्रविधियों का आवश्यकतानुसार उपयोग कर विश्लेषण किया गया है।

प्रधानमंत्री मुद्रा योजना का परिचय:-

प्रधानमंत्री मुद्रा योजना की शुरुवात हमारे देश के प्रधानमंत्री श्री नरेन्द्र मोदी जी के द्वारा 8 अप्रैल 2015 को की गयी थी। राष्ट्रीय नमूना सर्वेक्षण संगठन के सर्वेक्षण (2013) के अनुसार देश में लगभग 5.77 करोड़ लघु/सूक्ष्म इकाइयाँ हैं, जिनमें लगभग 12 करोड़ लोग कार्यरत हैं। इनमें से ज्यादातर स्वामित्व-आधारित/लेखा उद्यम हैं। 60 प्रतिशत से अधिक इकाइयों के मालिक अनुसूचित जाति, अनुसूचित जनजाति अथवा पिछड़े वर्ग के लोग हैं। इनमें से अधिकतर इकाइयाँ औपचारिक बैंकिंग प्रणाली के दायरे के बाहर हैं। इसलिए उन्हें या तो अनौपचारिक स्रोतों से लोन लेने के लिए बाध्य होना पड़ता है या अपने सीमित धन का इस्तेमाल करने के लिए। मुद्रा ऋण योजना इस अन्तराल को पाटने के लिए बनाई गयी है। मुद्रा ऋण योजना का उद्देश्य पहली पीढ़ी का उद्यमी बनने के लिए इच्छुक युवाओं तथा अपनी गतिविधियों का विस्तार करने के लिए मौजूदा लघु व्यवसायियों के मनोबल में वृद्धि करना है। इस योजना को तीन भागों शिशु लोन 50000/-रुपये तक, किशोर लोन 50001/- से 5,00,000/- तक, तरुण लोन 500001/- से 10,00,000/-तक में वर्गीकृत किया गया है।

हमारे देश में इस योजना की शुरुवात से पहले अपना खुद का व्यवसाय शुरू करने के लिए उद्यमियों को लोन पाने के लिए बैंकों के चक्कर लगाने पड़ते थे तथा बहुत सी कठिनाइयों का सामना करना पड़ता था, मुद्रा योजना से पहले तक छोटे उद्यम के लिए बैंक से लोन लेने में काफी औपचारिकताएं पूरी करनी पड़ती थी, लोन लेने के लिए गारंटी भी देनी पड़ती थी, इस वजह से कई लोग उद्यम तो शुरू करना चाहते थे, लेकिन बैंक से लोन लेने से कतराते थे, लेकिन प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना के अंतर्गत सभी उद्यमियों को आसानी से 10 लाख का ऋण बिना किसी गारंटी के तथा बिना किसी प्रोसेसिंग फीस के बैंक द्वारा मिलता है। मुद्रा ऋण वाणिज्यिक बैंक, RBFS, लघु वित्त बैंक, सहकारी बैंक MFI द्वारा प्रदान किये जाते हैं। मुद्रा ऋण के तहत कोई निश्चित ब्याज दर नहीं है। विभिन्न बैंक मुद्रा ऋण के लिए अलग-अलग ब्याज दर लेती हैं। मुख्यतः ब्याज दर 10 से 12 प्रतिशत है।

योजना के अंतर्गत सरकार द्वारा मार्च 2021 तक 28.81 करोड़ लाभार्थियों को शामिल किया है तथा अभी तक 15.10 लाख करोड़ रुपये योजना के अंतर्गत आबंटित किया गया है, जिसके माध्यम से मुख्यतः समाज के निर्बल वर्गों के उधारकर्ता लाभान्वित हुए हैं। मुद्रा (MUDRA) एक पुनर्वित्त संस्थान है। मुद्रा सीधे सूक्ष्म उद्यमियों/व्यक्तियों को उधार नहीं देता है।

मुद्रा (MUDRA) यानि माइक्रो यूनिट्स डेवलपमेंट एंड रिफाइनंस एजेंसी लिमिटेड सूक्ष्म ईकाइयों के विकास तथा पुनर्वित्तपोषण से संबंधित गतिविधियों हेतु भारत सरकार द्वारा गठित एक नयी संस्था है। इसकी घोषणा माननीय वित्तमंत्री जी ने वित्तीय वर्ष 2016 का बजट पेश करते हुए की थी। मुद्रा का उद्देश्य गैर निगमित लघु व्यवसाय क्षेत्र (NCSBS) को निधि/वित्तपोषण प्रदान कराना है।

मुद्रा लोन के प्रकार:-

प्रधानमंत्री मुद्रा योजना के तत्वावधान में, मुद्रा ने उत्पाद/योजनाएँ बनाई हैं। लाभार्थी की सूक्ष्म ईकाई, उद्यमी के विकास, विकास और वित्त पोषण की जरूरतों के चरण को दर्शाने के लिए इसे शिशु, किशोर एवं तरुण नाम दिये हैं।

I - शिशु लोन—इसके तहत उन लोगो को लोन दिया जाता है जो सिर्फ अपना व्यवसाय शुरू कर रहे हैं और आर्थिक मदद की तलाश कर रहे हैं। इसके अंतर्गत अधिकतम 50,000/-रुपये का लोन दिया जाता है। 5 वर्ष की पुनर्भुगतान अवधि के साथ इसकी ब्याज दर 10 से 12 प्रतिशत सलाना है।

II - किशोर लोन—ये लोन उनके लिए है जिनका व्यवसाय पहले ही शुरू हो चुका है, लेकिन अभी तक स्थापित नहीं हुआ है। इसके तहत दी जाने वाली लोन की राशि 50,000/- से 5 लाख रुपये के बीच होती है। ब्याज की दर लोन देने वाली संस्था के आधार पर अलग-अलग होती है। व्यवसाय की योजना के साथ-साथ आवेदक का क्रेडिट रिकार्ड ब्याज दर तय करने में महत्वपूर्ण भूमिका अदा करता है। लोन भुगतान की अवधि बैंक द्वारा तय की जाती है।

III - तरुण लोन—ये उन लोगों के लिए है, जिनका व्यापार स्थापित हो चुका हो और उसे बढ़ाने और सम्पत्ति की खरीदी के लिए धन की आवश्यकता होती है। इसमें लोन की राशि 5 लाख से 10 लाख के बीच होती है। ब्याज दर और भुगतान की अवधि योजना आवेदक के क्रेडिट रिकार्ड पर आधारित होती है।

इन सभी मुद्रा लोन की ब्याज दरें एक बैंक से दूसरे बैंक में अलग-अलग हो सकती हैं।

जिस भी आवेदक को मुद्रा ऋण लेना होता है वह बैंको से अथवा बैंक की किसी भी शाखा से संपर्क कर जानकारी लेकर आवेदन भर सकता है और नियमानुसार बैंको की सम्पूर्ण कार्यवाही उपरांत आवेदन का लोन पास होने पर उनके खाते में लोन की राशि वितरित कर दी जाती है। आवेदक किसी भी प्रकार के शंका समाधान के लिए मुद्रा के नोडल एंजेंसी से संपर्क कर सकता है।

प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना के अंतर्गत हितग्राहियों को वित्त/निधि/ बैंको के माध्यम से दिया जाता है।

भिन्न-भिन्न बैंको द्वारा हितग्राहियों के खाते खोले गये तथा उनके खातों में लोन का वितरण किया गया जिन्हे सारणी के माध्यम से बताया गया है। वित्तीय वर्ष 2016-2017 से 2019-2020 तक की शिशु लोन की स्थिति को सारणी के माध्यम से बताया गया है। इनमें शिशु लोन के खातों की संख्या तथा वितरण की राशि है। खातों की संख्या के आधार पर अनुमान लगाया जा सकता है कि इतने अधिक संख्या में शिशु लोन के हितग्राहियों को रोजगार मिला है।

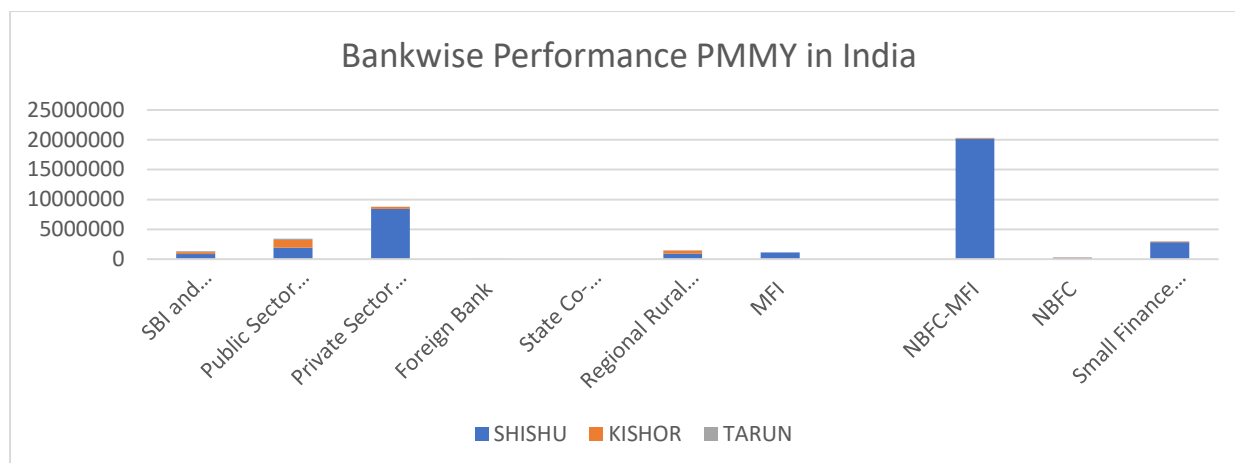
भारत में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना अंतर्गत शिशु लोन के हितग्राहियों का बैंकवार प्रदर्शन

TABLE-1 (Amount Rs. in Crore)

FINANCIAL YEAR	2016-2017		2017-2018		2018-2019		2019-2020	
	No. of A/cs	Dis-burse-ment Amt	No. of A/cs	Dis-burse-ment Amt	No. of A/cs	Dis-burse-ment Amt	No. of A/cs	Disbursement Amt
SBI and Associates	860165	1251.53	798577	1873.21	2114366	6113.25	3072304	9322.83
Public Sector Commercial Banks	1934990	4385.45	1710815	4951.76	2083695	4254.94	2546364	4458.93
Private Sector Commercial Banks	8420195	24728.75	9402971	27658.61	11234138	34281.22	18780712	57797.66
Foreign Bank	0	0	0	0	0	0	0	0
State Co-operative Banks	0	0	0	0	197	1	58	0.29
Regional Rural Bank	926498	2762.59	808234	2792.66	765050	2651.32	721610	2336.07
MFI	1129709	2105	1800974	1815.62	1879391	2357.41	2059118	3000.93
NBFC-MFI	20182496	41606.26	19497467	44441.51	22555542	56733.62	16832312	49981.32
NBFC	195092	440.24	1850286	5245.06	4463729	13281.26	4628174	17070.34
Small Finance Banks	2848668	6612.05	6800471	15449.61	6411330	19977.52	5849965	18844.85
Total	36497813	83891.87	42669795	104228.04	51507438	139651.54	54490617	162813.22

Source: (<http://www.mudra.org.in/>)

इन्हे ग्राफ के माध्यम से आसानी से समझा जा सकता है कि कौन सी बैंक प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना अन्तर्गत सबसे अधिक लोन हितग्राहियों को दिये हैं, जिससे अधिक रोजगार एवं आय का सृजन हुआ है।



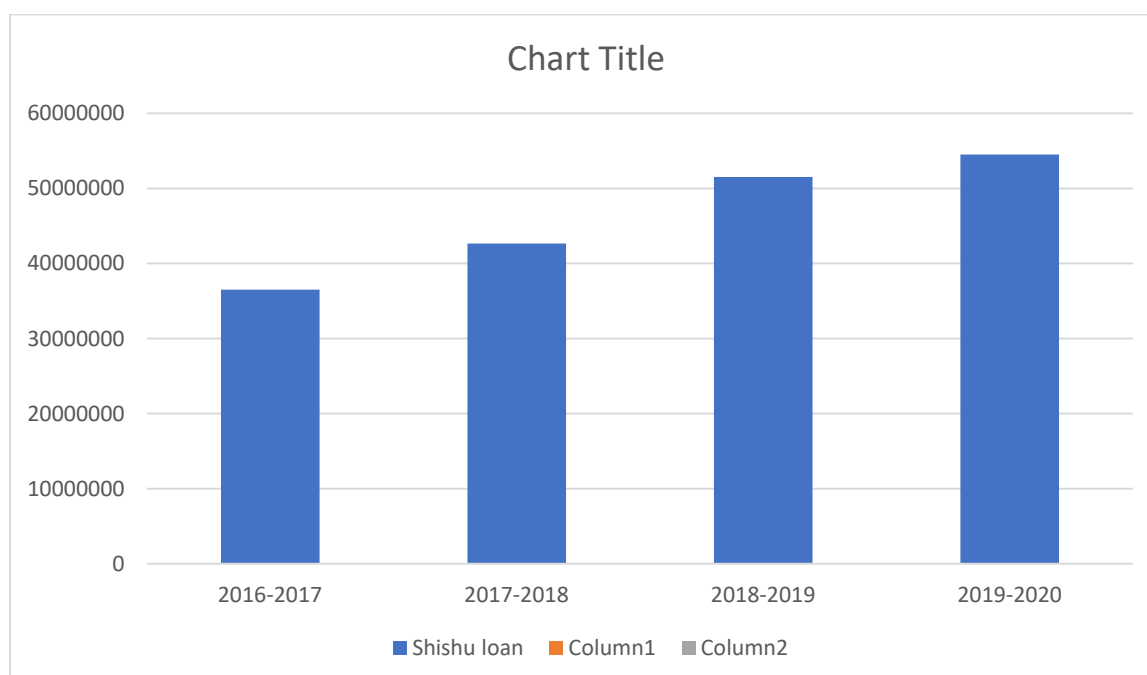
इस ग्राफ को देखने से पता चलता है कि मुद्रा ऋण योजना के अन्तर्गत सबसे अधिक ऋण गैर बैंकिंग वित्तीय कंपनी-सूक्ष्म वित्तीय संस्थान द्वारा हितग्राहियों को दिया गया है, उसके पश्चात प्राइवेट सेंक्टर वाणिज्यिक बैंकों ने ऋण दिया है। उसके पश्चात स्माल फायनेंस बैंक, तत्पश्चात पब्लिक सेक्टर वाणिज्यिक बैंकों ने हितग्राहियों को ऋण दिया है। उसके पश्चात अन्य बैंके आती है।

TABLE-2
शिशु लोन का भारत में प्रदर्शन
(Amount Rs. in Crore)

FINANCIAL YEAR	2016–2017	2017–2018	2018–2019	2019–2020
No. of A/Cs	36497813	42669795	51507438	54490617
Disbursement Amt	83891.87	104228.04	139651.54	162813.22

Source: (<http://www.mudra.org.in/>)

अगर हम मुद्रा लोन का भारत में प्रदर्शन देखेंगे तो इससे साफ पता चलता है कि प्रत्येक वित्तीय वर्ष में क्रमशः हितग्राहियों/उद्यमियों के खातों की संख्या में वृद्धि ही हुई है जो मुद्रा योजना की सफलता को दर्शाता है।



ग्राफ के माध्यम से शिशु लोन को नीले रंग से प्रदर्शित किया गया है। ग्राफ को देखने से स्पष्ट पता चलता है कि भारत में शिशु लोन के स्तर पर जो मुख्यतः व्यवसाय प्रारंभ करने के लिए लिया जाता है प्रत्येक वित्तीय वर्ष में क्रमशः बढ़ते क्रम में है। वर्ष 2019 में कोरोना काल होने के बावजूद इस वर्ष शिशु लोन में कोई कमी नहीं आयी है।

इससे साफ पता चलता है कि मुद्रा योजना अपने उद्देश्यों को पूरा करने में सफल हुई है क्योंकि खातों की संख्या उन उद्यमियों की संख्या है जिन्होंने अपना नया व्यवसाय प्रारंभ किया है। इस प्रकार रोजगार के अवसरों की वृद्धि हुई है, जिससे आय का सृजन हुआ है। जिससे उनका आर्थिक एवं सामाजिक विकास हुआ है।

4.2 छत्तीसगढ़ राज्य में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना अन्तर्गत शिशु लोन की स्थिति:—

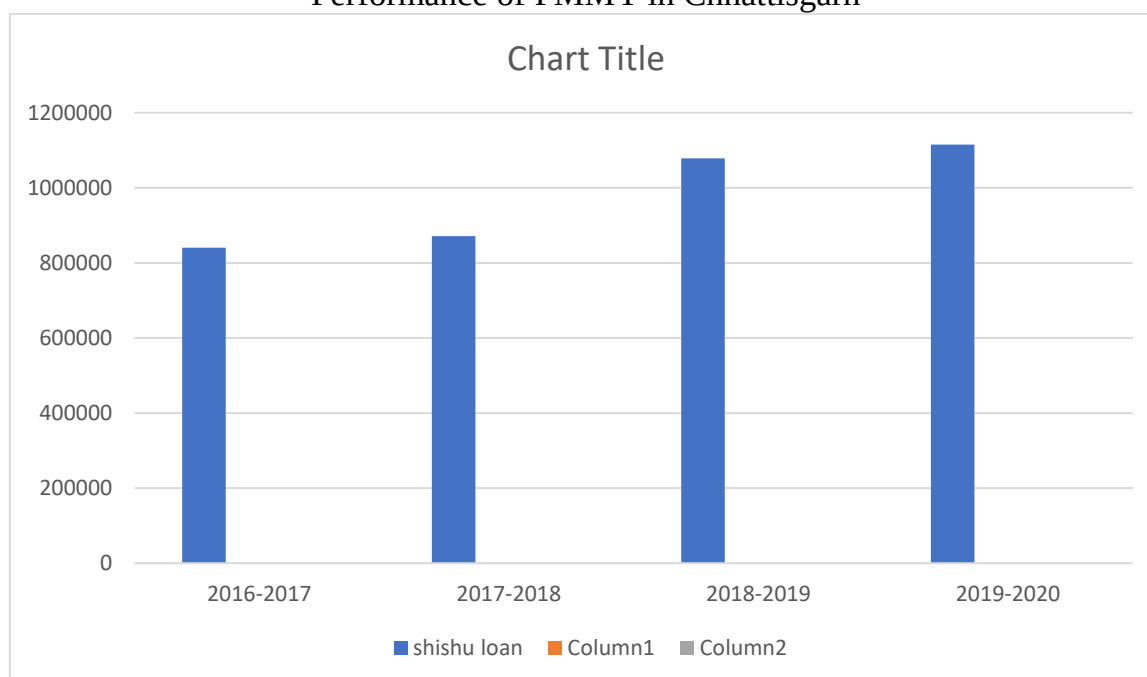
TABLE-5
(Amount Rs. in crore)

FINANCIAL YEAR	2016–2017	2017–2018	2018–2019	2019–2020
No. of A/Cs	840480	871455	1078662	1115562
Disbursement Amt	1749.77	1938.4	2670.54	3148.1

Source: (<http://www.mudra.org.in/>)

छत्तीसगढ़ में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना भी सफल साबित हुई है। इस सारणी में वित्तीय वर्ष 2016–2017 से 2019–2020 तक का अध्ययन करने पर पता चलता है कि यहाँ प्रत्येक वित्तीय वर्ष में शिशु लोन में उद्यमियों के खातों की संख्या में क्रमशः बढ़ोत्तरी ही हुई है। इस बढ़ोत्तरी को ग्राफ के माध्यम से आसानी से देख सकते हैं।

Performance of PMMY in Chhattisgarh



इसप्रकार अगर छत्तीसगढ़ राज्य में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना के समंको का विश्लेषण किया जाये तो पता चलता है कि वित्तीय वर्ष 2016–2017 से 2019–2020 के मध्य प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना अन्तर्गत शिशु लोन के खातों की संख्या में क्रमशः वृद्धि ही हुई है।

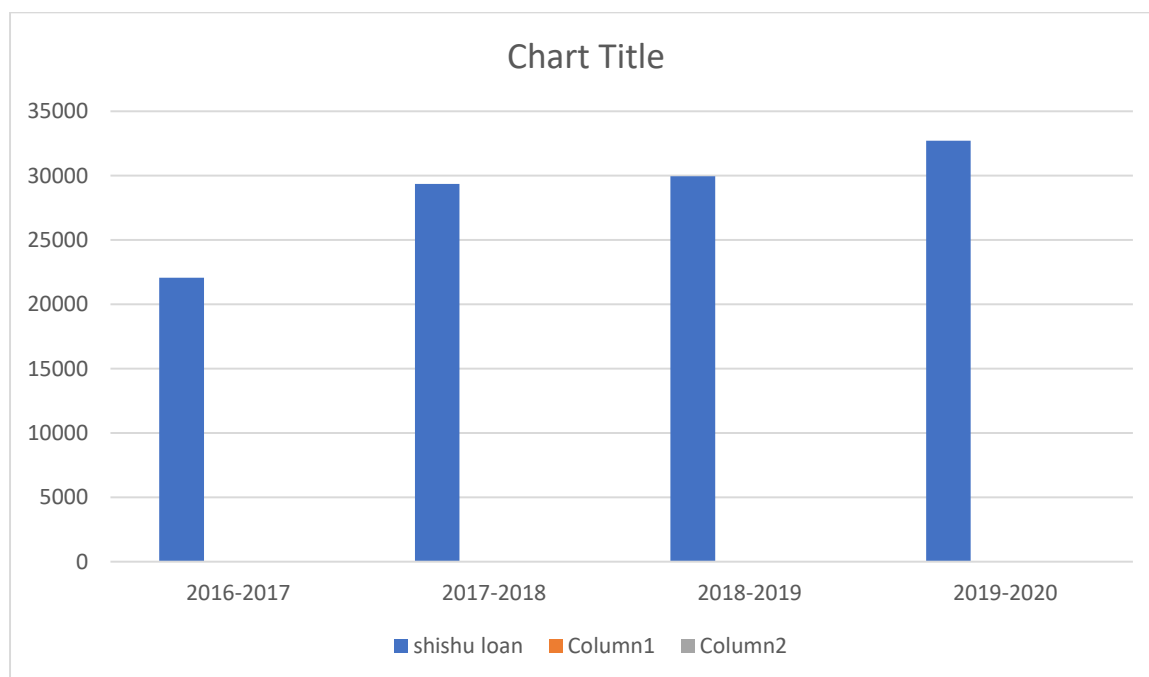
4.3 राजनांदगांव जिले में प्रधानमंत्री मुद्रा योजना की स्थिति:-

TABLE-6 (Amount Rs. in crore)

FINANCIAL YEAR	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020
No. of A/Cs	22072	29342	29955	32701
Disbursement Amt	9796	73.23	81.5	101.96

Source: (Lead Bank Rajnandgaon)

राजनांदगांव में अगर हम प्रधानमंत्री मुद्रा ऋण योजना अन्तर्गत शिशु लोन की बात करें तो उपरोक्त सारणी में देखेंगे की प्रत्येक वित्तीय वर्ष 2016-2017 से 2019-2020 तक क्रमशः मुद्रा लोन में वृद्धि ही हुई है। इसे ग्राफ के माध्यम से और अधिक सरलता से समझा जा सकता है।



ग्राफ में हम देख सकते हैं कि राजनांदगांव जिले में भी शिशु लोन के हितग्राहियों की संख्या में प्रत्येक वर्ष क्रमशः उचाई छू रही है। प्रत्येक वर्ष इनमें वृद्धि ही हुई है। ये लोन नवीन व्यवसाय खोलने के लिए दिया जाता है। ताकि उद्यमियों के द्वारा अपने स्वयं का उद्योग स्थापित कर सकें, जिससे उनमें आत्मनिर्भरता की भावना का विकास होता है इसके साथ ही रोजगार का सृजन होता है। किसी भी देश में रोजगार का सृजन होने से वहाँ की जनता की आय स्वतः सृजित हो जाती है। उनके रहन-सहन स्तर में वृद्धि होती है। वे एक अच्छा जीवन जीने लगते हैं, जिससे उनके मन में एक अच्छी भावना का जन्म होता है।

समस्याएं:-

1. अशिक्षा एवं जानकारी के आभाव में बहुत से लोग अभी भी इस योजना के लाभ से वंचित हैं।
2. प्रधानमंत्री मुद्रा योजना के अंतर्गत जिन हितग्राहियों को लोन दिया जाता है वह बिना गारंटी के होता है, इसलिए ऋण राशि वापस प्राप्त करने की संभावना बहुत ही कम हो जाती है, जिसके कारण बैंक का एन.पी.ए. बहुत बढ़ रही है।
3. ग्रामीण क्षेत्रों के लोगों में जागरूकता का अभाव है।

निष्कर्ष:-

भारत जैसे विकासशील देश में जहाँ बेरोजगारी एवं गरीबी एक महत्वपूर्ण समस्या हैं वहाँ प्रधानमंत्री मुद्रा योजना एक गेम चेंजर योजना साबित हो सकती है। यदि इस योजना को ठीक प्रकार से लागू किया जाये

तो यह योजना हमारे देश के विकास के लिए एवं हितग्राहियों के सामाजिक, आर्थिक जीवन स्तर को सुधारने में सफल साबित हो सकता है। यह योजना खास कर नीचले तबके के लोगो के लिए महत्वाकांक्षी योजना है।

सुझाव:-

1. इस योजना की जानकारी अधिक से अधिक लोगो को हो सके इस हेतु प्रचार-प्रसार किया जाना चाहिए।
2. ग्रामीण क्षेत्रों में किसी कार्यक्रम के जरीये इस योजना के लाभ के बारे में बताया जाना चाहिए।
3. चूंकि इस योजना अंतर्गत जो लोन दिया जाता है वह बिना किसी गारंटी के दिया जाता है, इस कारण अधिकांश लोन यह सोचकर लोन नहीं चुकाते की ,उनके लोन ना चुकाने से सरकार उनकी लोन राशि को माफ कर देगा, परन्तु यह सही नहीं है ऐसा करने से हितग्राहियों को ही हानि होती है इस हेतु भी उन्हें जागरूक किया जाना चाहिए।

सन्दर्भ ग्रन्थ सूची-

1. <https://www.mudra.org.in> की पोर्टल साईट
- 2- <https://rajnandgaon.nic.in/>
3. योजना पत्रिका वर्ष 2015 से 2021 तक का
4. कुरुक्षेत्र पत्रिका वर्ष 2015 से 2021 तक का
5. <https://www.cg.gov.in> dh lkbZV
- 6- डॉ०डी०एन.श्रीवास्तव अनुसंधान विधियों साहित्य प्रकाशन, आगरा
- 7 मुद्रा योजना की वार्षिक प्रतिवेदन 2015 से 2021 तक
8. जिला साख्यिकी पुस्तिका 2018
9. मोहम्मद शाहिद एवं मोहम्मद इरशाद A Descriptive Study on Pradhan Manthri Mudra Yojana (PMMY) (International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology Special Issue SACAIM 2016)
10. डॉ.योगेश डी.महाजन (International journal of Advance and Innovation Volume 6, Issue 2(XVII) April-June,2019
- 11 तोरन लाल वर्मा (April 2019 JETIR Volume 6 Issue 4)
12. भास्कर बिश्वास(Parikalpana-KIIT Journal of Management Vol.15, Dec. 2019)
- 13- वित्तीय वर्ष 2015-2016 से 2018-2019 तक का बजट भाषण नोडल मंत्रालय वित्तीय सेवाएं विभाग

भारत में कृषि संबंधि समस्या एवं समाधान

डॉ. के.एल. टाण्डेकर, प्राचार्य शासकीय नेहरू स्नातकोत्तर महाविद्यालय, डोंगरगढ़, जिला – राजनांदगांव, छ.ग.

डॉ. संतोष कुमार उके, सहायक प्राध्यापक – वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय,
राजनांदगांव (छ.ग.)

श्री दीपक कुमार परगनिहा रजिस्ट्रार शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.).

शोध सारांश :-

भारत गांव का देश है, यहां कि 70 प्रतिशत से अधिक आबादी ग्रामीण क्षेत्रों में निवास करती है, जिसका प्रमुख व्यवसाय एवं जीविका कृषि पर आधारित है, बिना कृषि के मानव जीवन की कल्पना नहीं की जा सकती, भारत की जनसंख्या निरंतर बढ़ती जा रही है, ऐसी स्थिति में कृषि की समस्या चिंता का विषय है, कृषि केवल जीवन यापन का साधन न रह कर लाभकारी व्यवसाय बने, इसके लिए भूमि जल, बीज, उर्वरक, खादय नियंत्रण एवं कर्षण विधियां, मानव पशु श्रम तथा यांत्रिक ऊर्जा का ऐसा समन्वित प्रयास करना होगा, जिससे की आपेक्षित प्रजाति की फसलों की उन्नत खेती को प्रोत्साहित कर इसे लाभकारी व्यवसाय बनाया जा सके ताकि कृषि क्षेत्र की प्रमुख समस्या पलायन को रोका जा सकेगा, कृषि क्षेत्र में बेहतर आर्थिक अवसर प्रदान कर युवाओं को कृषि के प्रति जागरूक करना एवं उद्योग तथा कृषि क्षेत्रों के संतुलित विकास व कृषि आधारित लघु एवं कुटीर उद्योगों के विकास के माध्यम से कृषि के पिछड़ेपन की समस्या से निजात पाया जा सकता है।

प्रस्तावना :-

भारत एक कृषि प्रधान देश है यहां की अर्थव्यवस्था प्राचीन काल से ही कृषि आधारित है। भारत में 70 प्रतिशत जनसंख्या ग्रामीण क्षेत्रों में निवास करती है, जिनका मुख्य व्यवसाय एवं जीविका कृषि पर आधारित है। आज भारत की अर्थव्यवस्था विश्व की पांचवी सबसे बड़ी अर्थव्यवस्था है। भारतीय अर्थव्यवस्था के सफल घरेलु उत्पाद में कृषि का हिस्सा 17 प्रतिशत है, कृषि केवल जीविका पार्जन का साधन ही नहीं है बल्कि अर्थव्यवस्था को सुदृढ़ करने वाली सीढ़ी है, उद्योग धंधे व्यापार मुद्रा अर्जन विभिन्न योजना की सफलता, राजनितिक स्थायित्व रोजगार आदि की सफलता कृषि पर निर्भर है। आधुनिक समय में भी कृषि को प्राथमिकता देने की आवश्यकता है, यदि कृषि असफल रहती है, तो सरकार एवं राष्ट्र दोनों असफल रहेंगे। भारत एक कृषि प्रधान देश होने के कारण देश की अर्थव्यवस्था में कृषि की एक महत्वपूर्ण भूमिका है। देश की राष्ट्रीय आय, रोजगार, जीवन निर्वाह, पूंजी निर्माण, विदेश व्यापार, उद्योग आदि में कृषि की सशक्त भूमिका को नकारा नहीं जा सकता। देश में कृषि पर निर्भरता 70 प्रतिशत जनसंख्या है, वही लगभग 64 प्रतिशत श्रमिकों के कृषि क्षेत्र में रोजगार प्राप्त है, भारतीय कृषि अधिकांशतय मौसम के स्थितियों पर प्रमुख तौर पर वर्षा व समय पर निर्भर करती है, परिणाम स्वरूप हमें सूखे, बाढ़ व एक सीमा तक ओलो का भी सामना करना पड़ता है, पिछले कुछ दशकों के दौरान अर्थव्यवस्था के विकास में मैन्युफैक्चरिंग तथा सेवा क्षेत्रों का योगदान तेजी से बढ़ा है, जबकि कृषि क्षेत्र के योगदान में गिरावट आई, भारत का खाद्यान्न उत्पादन प्रत्येक वर्ष रहा है, भारत के कुल क्षेत्रफल का लगभग 51 प्रतिशत भाग कृषि, 4 प्रतिशत भाग पर चारागाह, लगभग 21 प्रतिशत पर वन और 24 प्रतिशत पर बंजर तथा बिना उपयोग के है, देश की कुल श्रम शक्ति का लगभग 52 प्रतिशत भाग कृषि तथा इससे संबंधित उद्योग और धंधों से अपनी आजीविका चलाता है।

अवधारणा :-

भारतीय अर्थव्यवस्था में कृषि की महत्वपूर्ण भूमिका है, महात्मा गांधी ने कहा था “भारत गांव में बसता है और कृषि भारतीय अर्थव्यवस्था की आत्मा है” अतः कहा जा सकता है कि कृषि भारतीय अर्थव्यवस्था की रीढ़ है, परन्तु स्वतंत्रता के कई वर्षों के पश्चात् आज भी कृषि दयनीय स्थिति में है, जनगणना 2011 के अनुसार कुल कार्यवृत्ता का 54.6 प्रतिशत आबादी कृषि और उससे संबंधित कार्यकलापों में लगी हुई है, किन्तु भारतीय कृषक की मानसून पर अत्यधिक निर्भरता, भूमि का ह्रास, प्राकृतिक प्रकोप जैसे प्राकृतिक कारण कृषि की उत्पादकता पर प्रतिकूल प्रभाव डाल रहे हैं। आज के औद्योगिक समाज में एक किसान होने की विभिन्न बारिकियों को समझने से पहले यह समझना आवश्यक है कि वास्तव में कृषि को कैसे परिभाषित किया जाता है, कृषि में लाभकारी पौधों की विधिवत बुआई शामिल है, जिसमें मनुष्य की देखरेख में पशुओं का पालन करना शामिल है, दूसरे शब्दों में कृषि में फसलों की खेती या जीवित रहने या मौद्रिक लाभ के लिए पशुधन को विकसित कर पृथ्वी की सतह के एक हिस्से को संशोधित करने के लिए एक व्यक्ति के सचेत

प्रयास शामिल है, इस प्रकार कृषि की अवधारण विभिन्न अर्थों में खेती करना है, अपने खेत पर किसान द्वारा किए गए किसी भी अभ्यास के साथ विभिन्न खेती के रूपों का संचालन शामिल है।

कृषि मात्र एक पदार्थ उत्पादन प्रणाली नहीं है, अपितु सम्पूर्ण मानवीय अर्थव्यवस्था का आधारभूत स्तंभ है, यह स्वयं में एक सृजन है एक सम्पूर्ण प्राकृतिक विज्ञान है, मानव जीवन के पृथ्वी पर अस्तित्व से लेकर अब तक कृषि भरण पोषण का अभिन्न अंग रही है, भारतीय कृषि का उद्गम कब कैसे क्यों हुआ, इसकी प्रमाणिक पुष्टि करना जटिल है, पौराणिक साहित्य इस बात का साथी रहा है कि भारत में कृषि केवल जीविका का साधन नहीं अपितु ऐतिहासिक, सांस्कृतिक धरोहर की भांति है, भारतीय कृषि विभिन्न संम्यताओं को पोषित करती हुई कृमिक विकास की प्रक्रिया से फलीभूत होती आई है।

भारतीय कृषि की समस्याएँ :-

भारत में अधिकांश कृषि क्षेत्र असिंचित होने के कारण कृषि क्षेत्र में समग्र विकास के लिए मानसून महत्वपूर्ण है, खराब मानसून के कारण खेती पर बहुत बुरा असर पड़ता है और किसानों को बहुत भारी नुकसान उठाना पड़ता है, ऐसी ही स्थिति खरीफ फसलों के उत्पादन और उपज में भी उत्पन्न होती है, आजादी के समय देश की लगभग 70 प्रतिशत जनसंख्या जो कृषि कार्य में लगी थी वह कृषि के महत्व को स्वयं बयां करती हैं किन्तु वर्तमान में धीरे-धीरे यह संख्या घटती जा रही है, यह स्थिति विकास की दृष्टि से उत्तम मानी जा सकती है, किन्तु मजबूरी में कृषि क्षेत्र पलायन ठीक नहीं है, यदि इसके वास्तविक कारणों को खोजे तो 1950 के पूर्व जाना पड़ेगा क्योंकि अंग्रेजी शासन के पूर्ण कृषि सापेक्षित दृष्टि से परिपक्व स्थिति में थी, कृषि तथा उद्योग में संतुलन था, कृषक वर्ग की स्थिति अच्छी थी, किन्तु अंग्रेजी शासन की शोषणकारी नीतियों से कृषि की स्थिति खराब होती चली गई, हथकरघा और चरखा नष्ट हो गया तथा कृषि व उद्योग का संतुलन बिगड़ गया और कृषि एक अलामकारी व्यवस्था के रूप में सामने आई, जिसका परिणाम अकाल, भूखमरी, गरीबी, बेरोजगारी, जैसी सामाजिक समस्या उत्पन्न होने लगी और यह दिनों दिन बढ़ती चली जा रही है। बहुराष्ट्रीय संगठनों की संबद्धता से जहां हम अनायस विदेशी पूंजी के हाथों गिरफ्तार होते जा रहे हैं। वहीं कृषि की उपेक्षा कर पुनः उन्हीं देशों का मुंह ताकना पड़ रहा है, अपने खेतों का श्रम व पूंजी दोनों का हस्तांतरण सम्भवतः कृषि की उपेक्षा का ही दुष्परिणाम है।

राष्ट्रीय बीच परियोजना भी 1976 में संचालित विश्व बैंक की महत्वाकांक्षी परियोजना थी, विभिन्न चरणों की यह योजना भी जन-जागरण के अभाव एवं प्रशासनिक दोषों के कारण सफल न हो सकी, इसी तरह तिलहन एवं दलहन के क्षेत्र में विश्व में अग्रणी भारतीय कृषि भी विकास के समानांतरण न चल सही शंकर फसल क्रांति के द्वारा नकदी फसलों में वृद्धि निःसंदेह दृढ़स्थ है तथा कपास एवं गन्ने के उत्पादन ने सरकार द्वारा न्यूनतम समर्थन मुख्यनीति से अपने शीर्षस्थ उत्पादन ने क्षमता को अवश्य प्राप्त किया, परन्तु यथार्थ में सामान्य किसान के हाथ सूने ही रहे, नदियों एवं वर्षा जल को संचित कर असिंचित भूमि के अंचल को हरितिमा बनाने में प्रयास ने देश में नहरों एवं बहुउद्देशीय परियोजना को जन्म दिया, किन्तु इनका गलत उपयोग उद्देश्य प्राप्ति में बाधक रहा है। प्रायः नहरों में पानी तभी आता है, जब या तो फसल सूखने लगती है या खेत लबा-लब भरे रहते हैं, विश्व बैंक दवा मूक साधन प्रायोजित नल-कूप आज महज कर रहे हैं, विद्युतिकरण पर विद्युत आपूर्ति एवं भ्रष्टाचार नागरिक एवं प्रशासनिक द्वारा पर्दा डाल दिया है, कृषि विपणन के अंतर्गत वनीय बागानी और अन्य कृषि उत्पादों के भंडारण प्रसंस्करण व विपणन के साथ-साथ कृषिगत मशीनरी का वितरण और अंतर्राज्यीय स्तर पर कृषि वस्तुओं का आवागमन भी शामिल है, इनके अलावा कृषि उत्पादन में वृद्धि हेतु तकनीकी सहायता प्रदान करना और भारत में सहकारी को प्रोत्साहन करना भी कृषि विपणन गतिविधियों के अंतर्गत आता है, कृषि विपणन में परिवहन प्रसंदकरण भंडारण ग्रेडिंग आदि जैसे गतिविधियां शामिल हैं, ये गतिविधियां हर देश की अर्थव्यवस्था में बहुत अहम भूमिका निभाती हैं। देश की लगभग दो तिहाई जनसंख्या आज भी प्रत्यक्ष अथवा परोक्ष रूप से कृषि पर आश्रित है, इसके बावजूद सकल घरेलू उत्पादन में कृषि का योगदान लगातार कम होना चिंतनीय है। इसमें कोई संदेह नहीं है कि कृषि एवं किसान देश की अर्थव्यवस्था की रीढ़ हैं। सबके बावजूद भारतीय कृषि से जुड़ी अनेक समस्याएं हमारे यहां विद्यमान हैं पूर्णवर्ती सरकारों के समय में किसान पानी की समस्या खाद्य की समस्या व उनके उत्पादों को उचित मूल्य न मिलना, आयात-निर्यात की दोषपूर्ण नीति ऋण का बढ़ता बोझ बैंकों द्वारा जबरन वसूली आदि ऐसे कारण हैं जो किसानों की बदहाली के लिए जिम्मेदार हैं, जो किसानों में लगभग 3.30 लाख से अधिक किसानों ने आत्महत्या की, परन्तु ऐसा कोई समाधानपरक सुझाव नहीं आ पाया जिससे इस बदतर स्थिति से किसानों की समस्या का समुचित समाधान हो सके, प्रति एकड़ कम उत्पादकता खेती की परम्परागत विधियों का उपयोग, घटते कृषि निवेश में कमी ऋण एवं फसल बीमा तक पहुंच न होना लाभकारी मुल्य का अभाव, मानसून की अनियमितता किसानों की गरीबी एवं ऋणग्रस्तता आदि समस्याएं आज भी विद्यमान हैं।

भारत में कृषि और किसानों की हालात दिनों दिन खराब होती जा रही है, जिसके कारण किसान आत्महत्या पर मजबूर होते जा रहे हैं, भारत में आज भी 60–70 प्रतिशत लोग कृषि पर निर्भर हैं। भारत में किसानों की खराब स्थिति होने के कारणों को जानना बहुत जरूरी है, इन कारणों से समाज, राजनेता और जनमानस को सोचना चाहिए, भारत में किसानों की समस्या दिनों दिन बढ़ रही है। भारत में लोगों की यह धारणा है कि खेती लाभप्रद नहीं है। यह निम्न श्रेणी का कार्य है, किसानों को यह लगता है कि यह कार्य नहीं कर पायेंगे, किसानों को लघु एवं कुटीर उद्योग के बारे में विस्तृत जानकारी का अभाव भारत में आज भी किसान आरक्षित है, जिसके कारण आगामी साहूकारों द्वारा इनका शोषण निरंतर जारी है, जैसी प्रमुख समस्या का सामना भारतीय किसान को करना पड़ रहा है। राष्ट्रीय आय में कमी जनसंख्या का बढ़ता दबाव जोतो का छोटा आकार मिट्टी में दोष उत्पादन की पुरानी तकनीक फसलों की सुरक्षा का अभाव अच्छे किस्म के बीजों का अभाव, रसायनिक खादों के उचित प्रयोग का अभाव, कृषि अनुसंधान की जानकारी का अभाव, कृषि उत्पादों की विपणन की समस्या, बारिश बाढ़ और चक्रवात जैसी प्राकृतिक आपदाओं के कारण फसलों का बड़े पैमाने पर क्षतिग्रस्त होने प्रमुख समस्याएं हैं।

समाधान :-

भारत विश्व में जनसंख्या की दृष्टि से दूसरे स्थान पर है, जनसंख्या के मामले में हमें चेतावनी मिल चुकी है कि 21 वीं सदी के आते-आते हमारी जनसंख्या तेजी से बढ़ेगी, यह चिंता का विषय होना चाहिए बढ़ती जनसंख्या के लिए अनाज, चारे, इंधन और कपड़े की मांग की चुनौतियों का सामना करने के लिए सामूहिक रूप साधनों की तलाश करनी होगी, उन्हें विकसित करना होगा, खाद्यान्नों के अलावा हमें विकास की गति को निरंतर बनाए रखने के लिए अपनी वाणिज्यिक फसलों, बागवानी, पशुपालन और दुग्ध उत्पादन, मछली पालन तथा संबंध क्षेत्रों का विकास करना होगा, ताकि निर्यात के लिए अतिरिक्त उत्पादन किया जा सके। बारिश बाढ़ चक्रवात जैसी प्राकृतिक आपदाओं के कारण क्षतिग्रस्त होने वाली फसलों के नुकसान की भरपाई के लिए सशक्त बीमा कार्यक्रम लागू करके समाधान किया जा सकता है। एकीकृत खेती के तरीकों के उपयोग करके कृषिगत लागत को कम किया जा सकता है, न्यूनतम जोताई का सुझाव द्वारा मिट्टी के क्षरण को रोकने में मदद मिलती है, कृषि में अनुसंधान एवं विकास को भी बढ़ावा दिया जा सकता है, साथ ही जलवायु परिवर्तन के अनुसार ऐसी खेती को बढ़ावा दिया जा रहा है, जिससे पर्यावरण में हो रहे बदलाव के बुरे प्रभाव से बचाया जा सके और पर्यावरण को भी नुकसान न हो सके।

भारत में कृषि संबंधी समस्या को सुलझाने के लिए कुछ प्रमुख उपाय किए जाने की आवश्यकता है जैसे उक्त बीजों का उपयोग आधुनिक यंत्रों का उपयोग का व्यापक प्रचार, सिंचाई सुविधाओं का विकास, बाढ़ नियंत्रण, ऋण ग्रस्तता की सकारित साख व्यवस्था का विस्तार मूल्यों में स्थायित्व विपणन व्यवस्था में सुधार, यंत्रीकरण कृषि अनुसंधान मिश्रित खेती वैज्ञानिक खेती अन्य उपयो में जैसे भू-क्षरण एवं पौधों की रक्षा फसल बीमा सहकारी खेती को बढ़ावा गहन कृषि एवं बहुफसली कार्यक्रमों को बढ़ावा दिया जाना प्रमुख है। इसके अतिरिक्त सरकार को भी कृषि के पिछड़ेपन को दूर करने के लिए अनेक प्रयत्न करने आवश्यक है। जैसे राष्ट्रीय बीज निगमन फसलों की स्थापना रासायनिक खाद इकाइयों की स्थापना सिंचाई सुविधाओं का विस्तार फसलों को कीटाणुओं व रोगों से बचाव चक्रबंदी प्रशिक्षण कृषि लागत एवं मुल्य आयोग की स्थापना ग्रामीण बैंकिंग सुविधा विस्तार कृषि सहकारी कृषि को बढ़ावा कृषि अनुसंधान एवं विकास इसे सुचारु रूप से क्रियान्वयन किया जाना आवश्यक है।

भारत में कृषि की समस्या का बेहतर समाधान हो सके इसके लिए वर्तमान में किसानों के कल्याण एवं कृषि विकास के लिए अनेक कल्याणकारी योजनाओं का शुभारंभ किया है, सरकार ने कृषि को प्राथमिकता देते हुए विगत चार वर्षों में कृषि बजट में 164415 करोड़ रुपये आबंटित किए गये, जो कि पूर्ण यू.पी.ए. सरकार के चार वर्षों (2011 से 2013–14) के 104339 करोड़ रुपये की तुलना में 52.58 प्रतिशत अधिक है। सरकार ने कृषि एवं किसानों के हित में मृदा स्वास्थ्य कार्ड योजना हर खेत तक पानी पहुंचाने के उद्देश्य से शुरू की गई, प्रधानमंत्री कृषि सिंचाई योजना परम्परागत कृषि सिंचाई योजना के अंतर्गत जैविक खेती को बढ़ावा देना, किसानों को उनके उत्पादों का बेहतर मूल्य प्राप्त हो, इसके लिए ऐग्रीटेक इन्फ्रास्ट्रक्चर फंड तथा संगठित राष्ट्रीय कृषि मंडी से उन्हें जोड़ने जैसी कई महत्वपूर्ण योजनाओं का संचालन एवं क्रियान्वयन किया जा रहा है, जिसका सीधा फायदा कृषकों को मिलेगा तथा उनकी आय दुगुनी हो सकेगी, सरकार ने किसानों को कृषि उत्पादों से होने वाले नुकसान के लिए प्रधानमंत्री फसल बीमा योजना शुरू की गई है, पिछले कुछ वर्षों में किसान हित में जिस तेजी से कई योजनाएं आ रही हैं। उससे लगता है कि आने वाले समय में कृषि घाटे का सौदा न रहकर एक व्यवसाय की तरह फलेगी— फूलेगी और ऐसा तभी संभव है, जब हम

खेती बाड़ी के साथ-साथ पशुपालन को बढ़ावा देते हुए जैविक खाद के प्रयोग हेतु किसानों को प्रोत्साहित करें, जिससे विश्व बाजार में न केवल भारतीय खाद्य उत्पादन की गुणवत्ता स्थापित होगी, बल्कि किसानों की आय भी बढ़ेगी, भारतीय किसानों की आर्थिक स्थिति में सुधार के लिए आवश्यक है कि कृषि उपज की बिक्री का उचित प्रबंध किया जाए, हालांकि स्वतंत्रता प्राप्ति के बाद कृषि विपणन प्रक्रिया में काफी प्रगति हुई है, भारत में कृषि की समस्या का समाधान के लिए भारत सरकार द्वारा समर्थन मूल्य पर सभी कृषि फसलों को खरीदने का दावा किया जाता है, इस समर्थन मूल्य पर सभी कृषि फसलों को लेना चाहिए ताकि किसान आत्महत्या जैसे कदम उठाने के लिए मजबूर न हो साथ ही सरकार किसानों को बोनस का भी लाभ देकर उन्हें समस्या से मुक्त कराने में अहम भूमिका निभा सकती है।

निष्कर्ष :-

निष्कर्ष रूप से हम कह सकते हैं कि भारतीय कृषि पूर्णरूप से सशक्त है, परंतु कुव्यवस्था के कारण घाटे का सौदा बन गई है, खेतों में बंपर उत्पादन होता है, गोदामों में अनाज रखने की जगह नहीं बचती फिर किसानों को इसका लाभ नहीं मिल पाता, इसका एकमात्र कारण कृषि के विकास के लिए उचित रोडमैप का अभाव एवं कुव्यवस्था है, यदि देश में कृषि को सुव्यवस्थित कर दिया जाए तो हम अपनी 27 प्रतिशत क्षमता से पूरी दुनिया का पेट भर सकते हैं, किसान जो कि भारतीय समाज का एक बड़ा हिस्सा है, उनकी आय का दुगुनी करने और खुशहाली की दिशा में की जा रहे, सरकारी प्रयास सबका साथ-सबका विकास के सपने को साकार करने की दिशा में एक महत्वपूर्ण कदम है। उम्मीद है कि कृषि क्षेत्रों में सुधार की निरंतर प्रक्रिया से निकटतम भविष्य में कृषि उत्पादन बढ़ने के साथ-साथ इसे किसानों की आर्थिक स्थिति में सुधार कृषि संबंधि समस्याओं के समाधान की दिशा में सरकार समन्वित तरीके से कदम उठा रही है, इसके लिए शासन स्तर पर अनेक कल्याणकारी योजनाओं का संचालन व क्रियान्वयन कर भारतीय कृषि का उत्तम एवं समृद्ध बनाने हेतु सतत् रूप से प्रयत्नशील है।

संदर्भ सूची :-

1. भारत में कृषि संबंधि समस्याएं एवं समाधान शोध संक्षेपिका फरवरी 2020
2. Fundamental of Agricultural Economics Sadhu & Sirg, Himalalaly Publishing House Bombay.
3. Department of Indian Ecomonmics Houghil S.S. desal Himail Publicaiton.
4. Indian Agriculture – A.N. Agrawal, Vani Educational Books , New Delhi.
5. कुरुक्षेत्र सितम्बर 2018, प्रकाशन विभाग, सूचना भवन, नई दिल्ली
6. योजना सितम्बर – 2018, प्रकाशन विभाग सूचना विभाग, नई दिल्ली,
7. भारत में कृषि नवाचार, डॉ. रामनारायण तिवारी, शिवांक प्रकाशन, नई दिल्ली
8. भारतीय कृषि एवं सहकारिता – डॉ. आर.एम. त्रिपाठी, शिवांक प्रकाशन
9. योजना 2020 – सूचना एवं प्रसारण मंत्रालय नई दिल्ली
10. कुरुक्षेत्र – 2021 – सूचना एवं प्रसारण मंत्रालय नई दिल्ली
11. योजना – 2019 – सूचना एवं प्रसारण मंत्रालय नई दिल्ली
12. भारतीय कृषि का इतिहास – डॉ. आर.एम. त्रिपाठी, प्रशांत बुक डिस्ट्रीब्यूटर्स, नई दिल्ली.

लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास में छत्तीसगढ़ राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन (राजनांदगांव जिले के विशेष संदर्भ में)

डॉ. के.एल. टाण्डेकर, प्राचार्य शासकीय नेहरू स्नातकोत्तर महाविद्यालय, डोंगरगढ़, जिला – राजनांदगांव, छ.ग.

डॉ. संतोष कुमार उके, सहायक प्राध्यापक – वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

श्रीमती सुमन बोथरा, सहायक प्राध्यापक – वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.).

शोध सार :-

प्रस्तुत शोध पत्र में लक्षित वर्गों (अनुसूचित जाति, अनु.जनजाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक एवं सफाई कामगार) के आर्थिक विकास में अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन किया गया है । प्रदेश एवं जिले में आर्थिक विकास की दृष्टि से इन वर्गों के विकास हेतु निगम द्वारा संचालित विभिन्न योजनाओं से संबंधित आकड़ों को दर्शाया गया है। विशेष रूप से इन वर्गों द्वारा अपनी इच्छानुसार चयनित व्यवसाय उद्योग के लिए प्रशिक्षण एवं वित्तीय सहायता उपलब्ध कराकर उन्हें आर्थिक रूप से आत्मनिर्भर बनाकर समाज की मुख्यधारा से जोड़ना एवं इनके स्वरोजगार के प्रति आकर्षित कर इनकी मानसिकता को विकसित करना है, इसके लिए निगम के माध्यम से ऋण सुविधा, ऋण वितरण, ऋण वसूली, वसूली के प्रतिशत को भी सारणी द्वारा प्रदर्शित कर विश्लेषण किया गया है तथा लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास में अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम कितना सफल रहा, इसका विश्लेषणात्मक अध्ययन किया गया।

प्रस्तावना :-

भारतीय समाज का इतिहास अत्यंत प्राचीन है, भारतीय समाज भी विश्व के अन्य देशों की संरचनाओं, संस्कृतियों से मौलिक रूप से आध्यात्मिक उद्देश्यों के कारण पृथक है। भारतीय सामाजिक संरचना का एक प्रमुख लक्षण यहाँ व्याप्त जाति व्यवस्था है, निम्न एवं कमजोर वर्ग द्वारा परम्परागत रूप से किये जाने वाले कार्य चाहे वह कितने ही उपयोगी क्यों न हो, उनको घृणा की दृष्टि से ही देखा जाता है। कमजोर वर्ग के लोग प्रतिभावान और अन्य कार्यों में दक्ष होने के बावजूद भी अपने पंसद का कार्य नहीं कर पाते थे, व्यवसायिक स्वतंत्रता के अभाव में योग्य, कुशल और चतुर होने के बाद भी यह समुदाय अपना आर्थिक विकास नहीं कर पाते थे, आजादी के बाद दलितों (लक्षित वर्गों) के उत्थान एवं आर्थिक विकास को लक्ष्य मानकर अनेक योजनाएं व कानून बनाये गए, जिससे की दलितों को सम्मान एवं न्याय मिल सकें।

लक्षित वर्गों के सम्पूर्ण विकास के लिए भारत सरकार तथा राज्य सरकार द्वारा विभिन्न उपक्रमों की स्थापना की गई, उनमें से एक छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित की स्थापना 30 अक्टूबर 2000 को की गई। इस निगम के द्वारा प्रदेश में निवासरत अनुसूचित जाति, अनुसूचित जनजाति, अन्य पिछड़ा वर्ग, अल्प संख्यक वर्ग तथा सफाई कामगार वर्ग को “लक्षित वर्ग” मानकर उनको आर्थिक एवं सामाजिक रूप से ऊपर उठाकर विकास की मुख्य धारा से जोड़कर सशक्त बनाने का लक्ष्य रखा गया है, आर्थिक विकास के लिए इन वर्गों के हितग्राहियों को उनके द्वारा चयनित व्यवसाय हेतु ऋण उपलब्ध कराया जाता है, जिनकी सहायता से इस वर्ग के हितग्राही अपना स्वयं का रोजगार प्रारंभ कर अपना आर्थिक एवं सामाजिक विकास कर अपने जीवन स्तर में सुधार कर सकते हैं।

लक्षित वर्गों की आय, जीवन स्तर एवं रोजगार की असमानता को कम करने के लिए सरकार ने रणनीति के रूप में नियोजित विकास को अपनाया है, इन वर्गों की विभिन्न समस्याओं को देखते हुए एवं इनके सामाजिक आर्थिक उत्थान के लिए राजनांदगांव जिले में कार्य कर रहे “छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित” पूरी सजगता पूर्वक कार्य कर रहा है, निगम द्वारा संचालित योजनाओं ने इन वर्गों को कैसे एवं कहा तक वित्तीय सहायता प्रदान कर आर्थिक रूप से सशक्त व स्वावलम्बी बनाया ताकि इनके आर्थिक विकास के लिए क्या –क्या कार्य किए हैं, इन सभी कार्यों का उनके आर्थिक विकास में क्या प्रभाव पड़ा, आदि का मूल्यांकन करने के लिए शोध विषय का चयन किया गया है।

शब्द सूची :-

लक्षित वर्ग, आर्थिक विकास, उत्थान, स्वावलंबी।

उद्देश्य :-

1. निगम की योजनाएं लक्षित वर्ग के आर्थिक, सामाजिक, शैक्षणिक विकास में कितनी सहायक रही, इसका विश्लेषण करना।
2. छत्तीसगढ़ राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की योजनाओं का लक्षित वर्गों के जीवन स्तर पर क्या प्रभाव रहा।
3. लक्षित वर्गों तक निगम की योजनाओं की जानकारी कैसे पहुंची तथा इनमें कितनी जागरूकता आयी, इसका अध्ययन करना।
4. निगम की योजनाओं का इन वर्गों के रोजगार पर पड़ने वाले प्रभाव का अध्ययन करना।
5. निगम की योजनाओं एवं कार्यक्रमों की समीक्षा करना तथा जागरूकता लाने में कहा तक निगम सफल रहा है।
6. योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों के सशक्तिकरण की स्थिति का मूल्यांकन करना।

परिकल्पना :-

प्रस्तावित शोध कार्य के संबंध में निम्न परिकल्पना की गई –

1. छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों की सामाजिक, आर्थिक स्थिति सुदृढ़ हुई है।
2. योजनाओं/कार्यक्रमों का लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास पर सकारात्मक प्रभाव रहा है।
3. निगम की विभिन्न योजनाओं का सुचारु रूप से क्रियान्वयन हो रहा है।

शोध प्रविधि :-

प्रस्तुत शोध अध्ययन छ.ग. राज्य के राजनांदगांव जिले के लक्षित वर्ग (अनु. जाति, अनु.जन. जाति, अन्य पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक सफाई कामगार) के आर्थिक विकास में छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन किया गया है, इसके लिए प्राथमिक तथा द्वितीयक समंको का प्रयोग किया गया है, प्राथमिक समंको के संकलन के लिए प्रत्यक्ष संपर्क कर अनुसूची एवं प्रश्नावली भरवायी गई है, इसके अलावा निगम से प्राप्त वार्षिक प्रतिवेदन जनगणना, प्रकाशन जिला सांख्यिकी पुस्तिका सांख्यिकी प्रकाशनो, रोजागार समंको से प्राप्त आकड़ों को द्वितीयक समंको के रूप में प्रयोग कर उनके सारणीयन एवं विश्लेषण, सांख्यिकी विधियों के आधार पर प्रतिशत, विकासदर, प्रवृत्तिमान का उपयोग तथ्यों की सार्थकता का प्रस्तुतीकरण किया गया है।

अध्ययन क्षेत्र एवं सीमाएं :-

प्रस्तुत अध्ययन हेतु राजनांदगांव जिला का चयन किया गया है, जिसमें निगम द्वारा संचालित आर्थिक विकास योजनाओं को लिया गया है। राजनांदगांव जिले के अंतर्गत 9 विकासखंड हैं – राजनांदगांव, डोंगरगांव, चौकी, छुरिया, मोहला, मानपुर, खैरागढ़, छुईखदान, डोंगरगढ़ आते हैं। राजनांदगांव जिला छ.ग. राज्य के पश्चिम भाग में स्थित राज्य का सबसे बड़ा जिला है। वर्तमान अध्ययन कार्यक्षेत्र राजनांदगांव जिला में संचालित निगम (विभाग) से प्राप्त सूची के आधार पर लगभग 10 प्रतिशत हितग्राहियों का चयन कर इन्हे अध्ययन की ईकाई के रूप में सम्मिलित किया गया है, जिसमें अनु. जाति, अनु.जन जाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक, सफाई कामगार वर्ग के हितग्राहियों को शामिल किया गया है। शोध प्रबंध के अध्ययन की अवधि का निर्धारण भी करना एक व्यवहारिक समस्या है। अतः उपलब्ध योजनाओं का अध्ययन उन आकड़ों की उपलब्धता के आधार पर अलग-अलग समयावधि पर किया गया है।

राजनांदगांव जिले का परिचय एवं भौगोलिक स्थिति :-

मध्यप्रदेश के तत्कालिक मुख्यमंत्री श्री प्रकाशचंद सेठी ने अविभाजित दुर्ग जिले से राजनांदगांव को जिला बनाने की घोषणा 26 जनवरी 1973 को किया, तब से यह जिला अस्तित्व में आया है, राजनांदगांव जिला छत्तीसगढ़ के अंचल में स्थित पश्चिम भाग में स्थित छ.ग. राज्य का सबसे बड़ा जिला जो वर्तमान में दुर्ग संभाग के अंतर्गत आता है। 1973 में कुल भौगोलिक क्षेत्रफल 11127 वर्ग किमी था। वर्तमान में कुल भौगोलिक क्षेत्रफल 8022.5 वर्ग किमी है। जिले का विस्तार 20°70' से 22°29' उत्तरी अक्षांश तथा 80°23' से 81°29' पूर्वी देशांतर के मध्य है, समुद्रतल से औसत ऊँचाई 330°78 मीटर इसकी उत्तर से दक्षिण लम्बाई 148.4 कि.मी. तथा पूर्व पश्चिम लम्बाई 89 कि.मी. है। जिले की कुल जनसंख्या 2001 के अनुसार 1283224 थी, जो बढ़कर 2011 में 1537133 हो गई, इसी प्रकार जिले के अधिकांश तहसीलों में जनसंख्या वृद्धि हुई है, वर्ष 2011 की जनगणना के अनुसार सर्वाधिक जनसंख्या राजनांदगांव तहसील में तथा सबसे कम मोहला तहसील में दर्ज की गई है।

छ.ग. अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम का परिचय कार्य एवं उद्देश्य :-

भारत सरकार द्वारा संविधान में उल्लेखित अनुच्छेदों के तहत घोषित अनु.जाति, अनु.जन.जाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक एवं सफाई कामगारों (लक्षित वर्ग) के लोगों को स्वरोजगार एवं वित्तीय सहायता प्रदान करने के उद्देश्य से छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम का गठन म.प्र. सहकारी सोसायटी (पुनर्गठन एवं निर्माण) अध्यादेश क्रमांक 04 सन् 2000 के अंतर्गत दिनांक 30.10.2000 को किया गया छ.ग. में कुल आबादी 32% अनुसूचित जनजाति एवं 13% अनुसूचित जाति वर्ग का है, इन दोनों को विशेष ध्यान में रखते हुए इनके आर्थिक विकास एवं गरीबी रेखा से नीचे के अंतिम छोर के व्यक्ति को वित्तीय सहायता दिलाकर स्वालम्बी बनाने के उद्देश्य पर निगम छ.ग. प्रदेश एवं राजनांदगांव जिले में विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन कर रहा है। इसके अतिरिक्त पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक वर्ग, सफाई कामगारों की मुक्ति एवं पुर्नबास के लिए आर्थिक मूलक योजनाओं के दायित्व का निर्वहन निगम कर रहा है। बेरोजगार युवकों में व्यवसायिक मानसिकता विकसित करने के उद्देश्य से व्यवसाय पूर्व प्रशिक्षण देने के लिए उद्यमी विकास संस्थान एवं प्रशिक्षण सह-उत्पाद केन्द्र का विलय छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित में किया गया है।

लक्षित वर्ग समूह – छ.ग. राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम द्वारा लक्षित वर्ग समूह वर्ग समूह के अंतर्गत अनु. जाति, अनुसूचित जनजाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक वर्ग एवं सफाई कामगार वर्ग को शामिल किया गया है, इन वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास हेतु विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन निगम कर रहा है।

अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की लक्षित वर्गों के लिए जिले में संचालित विभिन्न योजनाओं एवं उनका क्रियान्वयन बाबद— राजनांदगांव जिले में लक्षित वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास को ध्यान में रखते हुए छ.ग. अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित राष्ट्रीय वित्त पोषक निगमों के सहयोग से अलग-अलग वर्गों के हितार्थ संचालित विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन सफलतापूर्वक कर रहा है, राष्ट्रीय वित्त पोषक निगमों में प्रमुख (1) राष्ट्रीय अनुसूचित जाति वित्त एवं विकास निगम (2) राष्ट्रीय अनुसूचित जनजाति वित्त एवं विकास निगम (3) राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग वित्त एवं विकास निगम (4) राष्ट्रीय अल्प संख्यक वित्त एवं विकास निगम (5) राष्ट्रीय सफाई कामगार वित्त एवं विकास निगम है, इन लक्षित वर्गों के लिए संचालित योजनाएँ निम्नानुसार हैं—

- 1. अनुसूचित जाति –** अनुसूचित जाति वर्ग के हितग्राहियों को आर्थिक रूप से सशक्त करने हेतु संचालित योजनाएँ (1) महिला समृद्धि योजना (2) माइक्रो क्रेडिट योजना (3) ट्रेक्टर ड्राली योजना (4) स्माल बिजनेस योजना (5) गुड्स कैरियर योजना (6) पेसेन्जर व्हीकल योजना (7) शिक्षा ऋण योजना (8) लघु व्यवसाय योजना
- 2. अनुसूचित जनजाति –** अनुसूचित जनजाति वर्ग के लिये संचालित योजनाएँ (1) ट्रेक्टर ड्राली योजना (2) गुड्स कैरियर योजना (3) पेसेन्जर व्हीकल योजना (4) आदिवासी महिला सशक्तिकरण योजना (5) स्माल बिजनेस योजना (6) शिक्षा ऋण योजना
- 3. राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग—** राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग के लिए संचालित योजनाएँ (1) टर्म लोन योजना (2) माइक्रो क्रेडिट योजना (3) जनरल लोन योजना (4) नई स्वर्णिम योजना (5) आकांक्षा शैक्षिक ऋण योजना (6) महिला समृद्धि योजना
- 4. अल्पसंख्यक वर्ग—** अल्पसंख्यक वर्ग के लिए संचालित योजनाएँ (1) टर्म लोन योजना (2) शैक्षिक ऋण योजना (3) लघु वित्त (माइक्रो फायनेन्स) योजना (4) महिला समृद्धि योजना (5) व्यक्ति मूलक बड़ी ऋण योजना
- 5. सफाई कामगार वर्ग—** सफाई कामगार वर्ग के लिए योजनाएँ (1) व्यक्ति मूलक योजना (2) आटो शिक्षा योजना (3) स्वच्छता से संबंधित वाहन योजना (4) सेनेटरी मार्ट योजना (5) महिला समृद्धि योजना (6) माइक्रो क्रेडिट योजना (7) महिला अधिकारिकता योजना आदि का क्रियान्वयन निगम द्वारा किया जा रहा है। जिला अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित राजनांदगांव द्वारा वर्ष 2000 से 2016 तक वर्गवार योजनाओं में वितरित राशि के आंकड़े निम्न तालिका अनुसार हैं—

वर्गवार योजनाओं के आंकड़े (वर्ष 2000 से जून 2016 तक) राशि लाख रुपये में

क्रमांक	विवरण	वितरित राशि	वसूल की गई राशि	बकाया राशि	वसूली का प्रतिशत
01	अनुसूचित जाति वर्ग	32767840	18598430	14169410	56.75%
02	अनुसूचित जनजाति वर्ग	50337405	25650839	24686566	50.95%
03	पिछड़ा वर्ग	7304968	3823932	3481036	52.35%
04	अल्पसंख्यक वर्ग	5003145	1515493	3487653	30.29%
05	सफाई कामगार वर्ग	12851766	2256663	10596103	17.55%
योग –		108265124	51844357	5642767	47.88%

स्त्रोत – अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम राजनांदगांव (छ.ग.)

उपरोक्त तालिका से स्पष्ट है कि जिला अंत्यावसायी वित्त विकास निगम राजनांदगांव द्वारा जिले में लक्षित वर्गों को आर्थिक एवं सामाजिक विकास की दृष्टि से विभिन्न योजनाओं के माध्यम से आर्थिक सहायता उपलब्ध कराई गई जिससे अनुसूचित जाति, अनुसूचित जनजाति, पिछड़ा वर्ग का वसूली प्रतिशत क्रमशः 56.75%, 50.95%, 52.35%, है जो अन्य वर्गों की तुलना में सर्वाधिक है, इसका कारण इन वर्गों का शिक्षित एवं जागरूक होना दर्शाता है वहीं अल्पसंख्यक तथा सफाई कामगारों क्रमशः 30.29 एवं 17.55 % रहा है। ऋण का प्रतिशत कम होने से जिले में निगम की राशि विभिन्न राष्ट्रीय निगमों को समय पर वापस करने में कठिनाई होती है, जिले में कुल वसूली का प्रतिशत 47.88% है जो कि निगम द्वारा संचालित योजना के सफल क्रियान्वयन से सभी वर्गों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास संभव हो सका है।

समस्या एवं सुझाव –

लक्षित वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योजनाओं के क्रियान्वयन में जिला अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की महत्वपूर्ण भूमिका रही है, विषय के अध्ययन विश्लेषण के समय हमें कई चुनौतियों एवं कठिनाइयों का सामना करना पड़ा है, योजनाओं के क्रियान्वयन में हितग्राहियों की अशिक्षा, निष्ठा, प्रतिबद्धता, कर्मठता, इच्छा शक्ति तथा योजनाओं की सही जानकारी का हितग्राहियों तक सही समय एवं सही परिस्थितियों में नहीं पहुँच पाना तथा इसका ज्ञान न होना निर्धारित समय पर लक्ष्य की पूर्ति न होना वसूली का शत-प्रतिशत नहीं होना, वसूली में विलम्ब जैसी प्रमुख समस्या पायी गई है, निगम के कर्मचारी, अधिकारी का भी सहयोग एवं समन्वय का आभाव रहा है, निगम की योजनाएँ आर्थिक विकास अर्थात् ऋण वितरण से संबंधित होने के कारण वितरण प्रक्रिया में जटिलता से भी हितग्राही योजना का सही लाभ उठाने में असमर्थ रहे हैं, निगम की विभिन्न योजनाओं के क्रियान्वयन का लक्षित वर्गों के आर्थिक सामाजिक विकास पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा एवं उनकी स्थिति सुदृढ़ वसूली हो इसके लिए निम्नलिखित सुझाव प्रस्तुत है –

सुझाव –

1. हितग्राहियों को सरलता से ऋण उपलब्ध हो सके इसके लिए ऋण लेने की औपचारिकता को कम करने की आवश्यकता है।
2. निगम द्वारा ऋण वितरण, ऋण वसूली की प्रक्रिया को सरल बनाना चाहिए।
3. योजनाओं का व्यापक प्रचार-प्रसार किया जाना चाहिए जिससे कि हितग्राहियों द्वारा योजनाओं को अधिक लाभ उठाया जा सके।
4. ऋण पर ब्याज दर में कमी करना आवश्यक है ताकि हितग्राहियों को अधिक भार उठाना ना पड़े।
5. हितग्राहियों को प्रोत्साहन स्वरूप कुछ अतिरिक्त सुविधाएँ प्रदान करनी चाहिए।
6. आवेदकों के चयन प्रक्रिया पूर्ण रूप से पारदर्शी होनी चाहिए, जिससे योग्य, ईमानदार, परिश्रमी, लगनशील दृढ़ ईच्छाशक्ति एवं कर्मठ व्यक्ति का चयन हो ताकि ऋण की राशि का सही उपयोग हो सके।
7. निगम द्वारा योजनाओं के क्रियान्वयन की जवाबदेयता तय होनी चाहिए।
8. निगम की कुछ योजनाओं पर ब्याज मुक्त ऋण दिया जाए ताकि अधिक से अधिक हितग्राही आकर्षित हो सके।

निष्कर्ष –

वर्तमान समय में बेरोजगारी पूरे विश्व में प्याप्त है। अनु.जाति, जनजाति, पिछड़ा वर्ग एवं अल्प संख्यक एवं सफाई कामगारों ने बेरोजगारी की समस्या को समाप्त करने तथा इस वर्ग के हितग्राहियों को स्वरोजगार प्रदान करने के दृश्य से छ.ग. अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन कर रही है। निगम विभिन्न योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों को वित्तीय सहायता प्रदान कर रही है। इन योजनाओं का लक्षित वर्ग पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा है, साथ ही जिले के लक्षित वर्गों की सामाजिक, आर्थिक, शैक्षणिक स्थिति सुदृढ़ हुई साथ ही रोजगार, स्वरोजगार के अवसर उपलब्ध हुए। इन योजनाओं के क्रियान्वयन से लक्षित वर्गों के जीवन स्तर में सुधार आया है और वे विकास की मुख्यधारा से जुड़कर आर्थिक रूप से सक्षम बन रहे हैं। इन वर्गों के आर्थिक रूप से विकसित होने से समाज का, गांव का, जिले का, राज्य का एवं राष्ट्र का भी विकास हो रहा है।

संदर्भ सूची –

1. जिला अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम राजनांदगांव द्वारा प्रकाशित पुस्तिका।
2. मिनी माता स्वालम्बन योजना सफलता की कहानी 2012।
3. राष्ट्रीय अनुसूचित जाति, जनजाति वित्त एवं विकास निगम नई दिल्ली।
4. सफाई कामगार समुदाय खुदशाह संजीव रामकृष्ण प्रकाशन नई दिल्ली।
5. छ.ग. राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम रायपुर मार्गदर्शिका।
6. आदिवासी स्वरोजगार योजना मार्गदर्शिका।
7. जिला सांख्यिकी पुस्तिका 2014।
8. रिसर्च लिंक मार्च-2018।
9. डॉ. शांता शुक्ला, छत्तीसगढ़ सामाजिक आर्थिक इतिहास।
10. आदिवाल चंद्रमोहन आदिवासी हरिजन आर्थिक विकास, नारदन बुक सेंटर, इलाहाबाद।
11. जिला राजनांदगांव की विकास झलक – 2014

सोशल मीडिया का समाज के विभिन्न वर्गों पर मनोवैज्ञानिक प्रभाव

डॉ.के.एल.टाण्डेकर, प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

डॉ.एस.के. उके, सहायक प्राध्यापक, वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

शोध सारांश :-

21वीं सदी में सामाजिक परिवर्तन का दौर निरंतर चल रहा है हम सभी जानते हैं कि सोशल मीडिया ने किस तरह समाज के सभी वर्गों तक अपनी पहुंच बना ली है, प्रिंट मीडिया और इलेक्ट्रॉनिक मीडिया का जो एकाधिकार जन मानस के बीच था वह कुछ खास शैक्षिक व पेशागत वर्ग तक तो सीमित था ही साथ ही सभी वर्गों पर सोशल मीडिया का सकारात्मक और नकारात्मक अभाव देखने को मिलता है। व्हाट्सअप, फेसबुक, ट्वीटर, इन्स्टाग्राम एवं शेयर चैट ऐसे और भी कई प्रकार के सोशल साइट हैं, जिनका उपयोग दिन प्रतिदिन बढ़ता जा रहा है, विशेषकर युवा वर्ग जो देश के भविष्य निर्माता हैं जो आगे चलकर देश का नेतृत्व करेंगे, लेकिन इन सोशल मीडिया के कारण उनकी योग्यता, समताओं का विकास भी अवरुद्ध होता जा रहा है। सोशल मीडिया समाज के सभी वर्गों में महत्वपूर्ण स्थान रखता है इसलिए इसका प्रयोग सही तरीके से करना होगा जिससे कि मानव समुदाय वास्तविक विकास कर सके।

प्रस्तावना :-

मानव एक सामाजिक प्राणी है, मानव की संवेदनाएं जब संवेदनहीन होती है तब सोशल मीडिया के बढ़ते चरण कि एक सीढ़ी नीचे गिरते हुए प्रतीत होती है, समाज के सभी वर्गों के जीवन काल में मीडिया, नेटवर्किंग साइट्स का निरंतर असीमित उपयोग हो रहा है, विज्ञान की प्रगति ने आम मानव जीवन को भौतिकता, विलासिता एवं आधुनिकतम सुख सुविधाओं से संपन्न कर दिया है, सोशल मीडिया ने समाज के सभी वर्गों पर नकारात्मक उदाहरण प्रस्तुत किया है, वहीं तकनीकी गुणवत्ता तो बढ़ी है, परंतु मनोवैज्ञानिक समस्याओं में बढ़ोत्तरी भी देखी जा रही है, वर्तमान समय में सामाजिक मीडिया के अंतर्गत इंटरनेट, फेसबुक, व्हाट्सअप, चित्र चल चित्र इत्यादि वर्तमान में करीब 80 प्रतिशत किशोर विद्यार्थियों पर मनोवैज्ञानिकरूप से समस्याएं भी देखने को मिली है, उधर आधुनिकता के इस दौर में सूचना प्रौद्योगिकी के विकास ने मानव जीवन को सरल, सभ्य, आरामदायक एवं मनोरंजनात्मक बनाकर मानवीय संबंधों का एक नया आयाम पैदा किया है, वर्तमान युग में सामाजिक संरचना की समस्त मानवीय इकाइयां बच्चे, युवा, महिलाएं, बुजुर्ग कोई भी सोशल मीडिया से अछूते नहीं है।

भारतीय स्तर पर देखा जाये तो देश की एक अरब 30 करोड़ जनसंख्या में लगभग 15 करोड़ लोग सोशल मीडिया पर सक्रिय है, इसके माध्यम से जहां एक ओर उपयोगकर्ता, किसी प्रकार के फोटो, वीडियो, संदेश यहां तक अपने विचार को भी कुछ ही सेकेण्ड में देश और दुनिया के किसी भी स्थान पर बैठे अपने दोस्तों, परिचितों से शेयर कर सकते हैं यद्यपि सोशल मीडिया के सूचना क्रान्ति ने वैश्विक भौगोलिक दूरी को कम किया है तथापि एक सर्वे के अनुसार 74 स्मार्ट फोन यूजर्स हाल में अपना मोबाइल लिए ही सो जाते हैं (के.आर.सी. रिसर्च) 6 घंटे तक मोबाइल पर बिता रहे हैं, देश के 40 स्मार्टफोन यूजर्स 150 बार दिन में फोन चेक करते हैं 6 मिनट में एक बार (आई.सी.एस.एस.आर. के अनुसार) रिसर्च के आधार पर कहा जा सकता है कि व्यक्तियों के परिवार से बाहर अन्य व्यक्तियों से मीडिया के माध्यम से संबंध तो है किंतु परिवार के अंदर ही पारिवारिक सदस्य के बीच मानवीय संबंध कम हुए हैं। आज भारत में 70 करोड़ लोगों के पास फोन है जिसमें से 25 करोड़ लोग स्मार्टफोन का इस्तेमाल करते हैं, इन 25 करोड़ लोगों में से 15 करोड़ लोग सोशल मीडिया पर सक्रिय हैं।

अवधारणा :-

सोशल मीडिया का मतलब है कि सोशल कम्युनिकेशन के द्वारा लोगों के साथ आपस में जुड़ना ये ठीक फिजिकल नेटवर्क की तरह ही है, बस ये नेटवर्क ऑनलाईन होता है, इसलिए लोग आपस में बातचीत करने के लिए संपर्क बढ़ाने के लिए या अपने पसंदीदा चीजों और इन्फार्मेशन के आदान प्रदान के लिए सोशल मीडिया का इस्तेमाल करते हैं, बहुत बार यह पाया गया है कि हमारे बहुत से दोस्त और रिस्तेदार हमारे पास नहीं रहते और कुछ विदेश में रहते हैं, इसलिए उनके साथ बातचीत करना और फंडशिप मेंटेन करने से सोशल मीडिया हमारा बहुत काम करता है सोशल मीडिया का मकसद लोगों को एक दूसरे से जोड़ने के साथ ही संचार माध्यम को मजबूती देना है और इस मकसद में सोशल मीडिया को सफलता भी मिली है, लेकिन साथ ही इसने सामाजिक संबंधों को भी प्रभावित किया है,

सोशल मीडिया ने लोगो के संबंधों में दखल देना शुरू कर दिया है। जब आपका जीवन साथी सोशल मीडिया पर समय बिताता है तो आपकी भावनाओं को ठेस पहुंचती है ऐसे में आप खुद को उपेक्षित महसूस करते हैं।

सोशल मीडिया (Social Media) एक ऐसा मीडिया है, जो बाकि सारे मीडिया (प्रिंट इलेक्ट्रॉनिक और समानांतर मीडिया) से अलग है सोशल मीडिया इंटरनेट के माध्यम से एक वर्चुअल वर्ल्ड (फेसबुक, ट्विटर, इंस्टाग्राम) आदि का उपयोग कर पहुंच बना सकता है। आज के दौर में सोशल मीडिया जिंदगी का एक अहम हिस्सा बन चुका है जिसके बहुत सारे फीचर हैं, जैसे कि सूचनाएं प्रदान करना, मनोरंजन करना और शिक्षित करना मुख्य है, सोशल मीडिया एक अपरम्परागत मीडिया है जिसे इंटरनेट के माध्यम से पहुंच बना सकते हैं, यह द्रुतगति से सूचनाओं के आदान प्रदान करने जिसमें हर क्षेत्र की खबरें होती हैं को समाहित किए होता है।

समाज के विभिन्न वर्गों पर प्रभाव :-

आज के समय में सोशल मीडिया पर लगभग हर उम्र के एवं हर वर्ग के लोग सक्रिय रहते हैं, खासकर युवा पीढ़ी आज के दौर को सोशल मीडिया का युग कहना कोई अतिशयोक्ति नहीं होगा, क्योंकि सूचना एवं ज्ञान का आदान प्रदान करने का सबसे सशक्त साधन है जिसके माध्यम से शिक्षा, चिकित्सा, व्यापार एवं मनोरंजन के क्षेत्र में आसानी हो रही है, जिस तरह एक सिक्के के दो पहलू होते हैं उसी प्रकार सोशल मीडिया के भी दो पहलू हैं, लाभदायक एवं नुकसान दायक आज हम बात करते हैं सोशल मीडिया के समाज के सभी वर्गों पर पड़ने वाले सकारात्मक एवं नकारात्मक प्रभाव की, मौजूदा समय में इसके नकारात्मक प्रभाव अधिक देखने को मिलते हैं, जिसके पास स्मार्टफोन, टेबलेट, लेपटॉप है वह सोशल मीडिया का उपयोग अवश्य करते हैं वैसे यह मनोरंजन का भी अच्छा साधन बन गया है, सोशल मीडिया का विभिन्न वर्गों पर पड़ने वाले प्रभाव निम्नानुसार है :-

(1) युवा पीढ़ी पर प्रभाव :-

आज के इस सूचना प्रौद्योगिकी युग में सोशल मीडिया का सबसे अधिक उपयोग का प्रचलन, युवा पीढ़ी में देखने को मिलता है, जिसके कारण कई नकारात्मक प्रभाव सामने आ रहे हैं। सोशल मीडिया जहां मनोरंजन का अच्छा साधन है लेकिन युवा पीढ़ी अपने बहुमूल्य समय का उपयोग अपने कैरियर संवारने के लिए न कर इसमें खोते जा रहे हैं। इसके उपयोग से युवा पीढ़ी में नकारात्मक सोच तो बढ़ेगी साथ ही रोजगार की उपलब्ध से जीवन स्तर में भी काफी परिवर्तन हो सकता है, इसके विपरीत इसके उपयोग से लोग अपनों से दूर होते जा रहे हैं, युवाओं में उदासी, तनाव, अवसाद, आतंकवाद, धोखाधड़ी, अकेलापन जैसे लक्षण बढ़ रहे हैं तथा युवा इसके शिकार होते जा रहे हैं जो आने वाले समय के लिए अच्छा संकेत नहीं है।

(2) मानव जीवन पर मनोवैज्ञानिक प्रभाव :-

सोशल मीडिया का आम व्यक्ति अर्थात् मानव के जीवन पर भी प्रभाव हुआ है। सूचना तकनीक ने संचार जगत में क्रांति ला दी है, मानव पर इसका सकारात्मक एवं नकारात्मक प्रभाव पड़ा है, सकारात्मक पहलू यह है कि सोशल मीडिया के द्वारा प्राप्त होने वाली शिक्षा, स्वास्थ्य और रोजगार आदि से संबंधित सूचनाओं की जानकारी में वृद्धि और विकास हुआ जो संतुष्टी एवं खुशी को दर्शाता है वहीं नकारात्मक प्रभाव ने मानव के जीवन में तनाव, अवसाद, नकारात्मक सोच को बढ़ावा दिया है।

(3) बच्चों पर सोशल मीडिया का प्रभाव :-

सोशल मीडिया का बच्चों पर नकारात्मक प्रभाव पड़ रहा है, बच्चों की बिगड़ती मानसिकता का बहुत बड़ा कारण सोशल मीडिया को माना जाता है, जो बच्चे सोशल मीडिया का उपयोग बहुत ज्यादा करते हैं उनके मन में जीवन के प्रति असंतुष्टि का भाव ज्यादा रहता है, सोशल मीडिया पर लोगो को देख कर बच्चे भी अपने अभिभावकों से अनावश्यक वस्तुओं की मांग करने लगते हैं, लड़कों की तुलना में लड़कियां पर इसका ज्यादा प्रभाव पड़ता है, क्योंकि लड़कियां ज्यादा भावुक होती हैं जो बच्चे इसका ज्यादा उपयोग करते हैं उनमें सुबह ही और रात को सोने से पहले इंटरनेट पर आनलाईन रहने की आदत पड़ जाती है, इस आदत के कारण बच्चों को अपने शौक पूरा करने अथवा स्वयं का आत्मविश्लेषण करने का समय ही नहीं मिलता बच्चों का तनावग्रस्त रहना कीमती समय बर्बाद करना एवं उनका

सामाजिक जीवन भी प्रभावित हो रहा है, स्मार्टफोन के उपयोग से आंखों पर बुरा प्रभाव देखा जा सकता है, बच्चों के एक बार इसकी आदत हो जाने के बाद इसके बिना रहना मुश्किल हो जाता है बच्चों के दिमाग पर नकारात्मक विचारों से मानसिक विकास अवरुद्ध हो जाता है साथ ही इनके आत्मसम्मान को भी नुकसान पहुंचाना संभव है, यही कारण है कि आज 12 से 15 साल के तीन में से एक या ज्यादा बच्चों में नींद की भी समस्या बढ़ रही है, शोध के मुताबिक ये उक्त सभी लक्षण बच्चों में दिन प्रतिदिन बढ़ रहे हैं।

(4) संस्कृति पर प्रभाव :-

मानव एक सामाजिक प्राणी है। मानव कि सामाजिक एवं सांस्कृतिक जीवन में इसके दुष्परिणाम दिख रहे हैं, आज मानव स्वयं से भी मिलने का समय नहीं निकाल पा रहा है और अपनों से दूरिया भी स्वभाविकरूप से बढ़ रही है, इससे समाज का ढांचा असंतुलित हो रहा है। मानव का सामाजिक जीवन भी समाप्त हो रहा है इसके विपरित सोशल मीडिया से व्यक्तिगत जीवन को बढ़ावा ही मिलता दिखाई दे रहा है किसी के निजी जीवन के साथ उनके परिवार को भी इसमें घसीट लेना सोशल मीडिया का चलन बन गया है। गाली देना, गलत अपवाह फैलाना, अश्लील और भद्दी बातें करना, फोटो एडिट कर कुछ का कुछ दिखा देना आज आम बात हो गई है, जो कि समाज और हमारी संस्कृति के लिए बहुत सोचनीय है लोग अपनी भडास निकालने के लिए किसी भी हद तक जाकर मर्यादा का उल्लंघन करने में भी परहेज नहीं करते इसलिए हमें समाज में गिरते नैतिक स्तर को बनाए रखने के लिए कोई ठोस कदम उठाने चाहिए जिससे कि हम, हमारे परिवार, हमारे समाज, हमारी संस्कृति, हमारी मर्यादा की गरिमा सदैव बनी रहे।

(5) महिला सशक्तिकरण पर प्रभाव :-

पिछले कुछ वर्षों में महिलाओं को सशक्त बनाने और उनसे संबंधित मुद्दे उठाने में सोशल मीडिया ने अहम भूमिका निभाई है, देश की आधी आबादी महिलाओं की है यह सही है कि इस समय कोई क्षेत्र ऐसा नहीं है जिसमें महिलाओं ने सफलता के झण्डे न गाड़े हो इसके बावजूद आज की महिलाएं अपने अधिकारों से वंचित हैं। महिलाओं की सामाजिक स्थिति में सुधार को लेकर लंबे समय से वैश्विक स्तर पर चिंता व्यक्त की जा रही है और समय-समय पर इसके लिए कदम भी उठाये गए हैं, देश में आजादी के नीति निर्माताओं ने मुख्यधारा से जोड़ने मीडिया रेडियो, टेलिविजन और समाचार पत्रों से महिलाओं की सामाजिक स्थिति में सुधार लाने हेतु प्रयास किए हैं, आज डिजिटल क्रांति के युग में मीडिया से एक नई उम्मीद बनी है कि यह एक ऐसा प्लेटफार्म है, जिसमें महिलाओं की स्थिति में सुधार की संभावनाएं काफी हद तक बढ़ी हैं, मीडिया के कारण ही आज होने वाली जुर्म सामने आ रहे हैं वहीं उनको इंसाफ भी मिल रहा है, इस क्षेत्र में मीडिया की सकारात्मक भूमिका रही है, सोशल मीडिया ने महिलाओं में आत्मविश्वास बढ़ाया है, रेडियो, टी.वी., समाचार पत्रों ने महिलाओं की सोच में बदलाव भी लाया है, आज महिलाओं को सशक्तिकरण बनाने के साथ-साथ राष्ट्र की तरक्की में सोशल मीडिया अहम भूमिका निभा रहा है।

(6) सोशल मीडिया का जीवन प्रबंधन पर प्रभाव :-

सोशल मीडिया का जीवन प्रबंधन पर प्रभाव विषय वस्तु पर सर्वेक्षण एवं विश्लेषण के परिणाम चिंताजनक हैं सोशल मीडिया पर समय के उपयोग का वर्गवार प्रतिशत पाया गया, किशोर वर्ग, विद्यार्थी वर्ग तथा युवा वर्ग, प्रतिदिन औसतन अपने पन्द्रह घंटों में से सोशल मीडिया पर क्रमशः 75.23 प्रतिशत 73.33 प्रतिशत तथा 86.6 प्रतिशत समय पर व्यय करते हैं जबकि अन्य कार्यों में क्रमशः 16.66 प्रतिशत, 24.66 व 35 प्रतिशत समय का ही उपयोग करते हैं, स्पष्ट है कि सोशल मीडिया जीवन पर हावी हो चुका है व जीवन प्रबंधन के लिए अपेक्षाकृत बहुत कम समय दिया जा रहा है।

वर्गवार	प्रतिदिन अनुमानित औसत व्यय किया गया समय 15 घण्टों में से					
सेम्पल संख्या 100	फेसबुक	व्हाटसेप	गेम	वेबसाइट उपयोग अध्ययन हेतु	वेबसाइट उपयोग अन्य प्रयोजनार्थ	अध्ययन व अन्य कार्य
किशोर	1-2	2-4	1.30-2.30	20.-30 मि.	2-3	1-2
विद्यार्थी	2-3	2-3	1-2	15-20 मि.	2-30-3	1-2
युवा	1-3	3-4	2-3	30 मि.-1 घंटा	2-3	2-3

सोशल मीडिया के उपयोग के आदि होने के अनेकानेक दूरगामी परिणाम किशोर, विद्यार्थी और युवा वर्ग में परिलक्षित हो रहे हैं, जिसमें याददाश्त में कमी, एकाग्रता में कमी, कम्युनिकेशन स्किल में कमी, चिंता व तनाव में वृद्धि

काल्पनिकता में वृद्धि, एकाकीपन में वृद्धि, मानसिक विकारों का समावेश, अध्ययन के प्रति अरुचि में वृद्धि, पारिवारिक दायित्वों की उपेक्षा, शारीरिक स्वास्थ्य का प्रभावित, अपव्यय की प्रवृत्ति में वृद्धि, अकादमिक परफार्मेंस में गिरावट, कैरियर के प्रति निरुत्साहित होना प्रमुख नकारात्मक प्रभाव है। समय व जीवन प्रबंधन संकेतकों निम्न स्तर की ओर स्थापित होने लगता है।

सोशल मीडिया विश्व से सतत् जुड़े रहने का बेहतरीन व अतिउपयोगी वैज्ञानिक साधन है किंतु इसका अतिउपयोग नकारात्मक प्रभाव एवं परिणाम उत्पन्न करता है। सार्थक उपयोग व्यक्ति के विकास और परिष्कार में, अपडेट रखने के साथ ही जीवन प्रबंधन के लिए अद्वितीय भागीदारी निभा सकने में मददगार हो सकता है वहीं सोशल मीडिया पर की गयी गतिविधियाँ अगर जीवन में उतरकर जीवन का हिस्सा बनने लगती हैं तो जीवन संकुचित और सीमित होकर व्यक्ति, व्यक्तित्व और मनोवैज्ञानिक विकास को बाधित करने लगती है।

(7) सोशल मीडिया का नकारात्मक एवं सकारात्मक प्रभाव :-

सोशल मीडिया समाज के विकास में अपना योगदान देता है और कई व्यवसायों को बढ़ाने में भी मदद करता है, यह सोशल मीडिया मार्केटिंग जैसे साधन प्रदान करता है जो लाखों सशक्त ग्राहकों तक पहुंचता है, हम आसानी से सोशल मीडिया के माध्यम से जानकारी और समाचार प्राप्त कर सकते हैं, किसी भी सामाजिक कारण के बारे में जागरूकता पैदा करने के लिए सोशल मीडिया का उपयोग अच्छा साधन है, इच्छुक नौकरी तलाशने वालों को भी इससे सहायता मिलती है, यह व्यक्तियों को बिना किसी हिचकिचाहट के दुनिया के साथ सामाजिक विकास और बातचीत करने में मदद कर सकता है, बहुत से लोग उच्च अधिकारियों के प्रोत्साहित भाषण को सुनने के लिए सोशल मीडिया का उपयोग करते हैं। यह आपको लोगो से मेल जोल बढ़ाने में भी मदद कर सकता है, कई चिकित्सकों का मानना है कि सोशल मीडिया लोगो में निराशा और चिंता पैदा करने वाला एक कारक है, ये बच्चों में खराब मानसिक विकास का भी कारण बनता जा रहा है, सोशल मीडिया का अत्यधिक उपयोग निंदा को प्रभावित करता है, साइबर बुलिंग, छवि खराब होना आदि जैसे कई अन्य नकारात्मक प्रभाव भी है। सोशल मीडिया की वजह से युवाओं में गुम हो जाने का भय अत्यधिक बढ़ गया है।

सुझाव :-

भारत में सोशल मीडिया का दुरुपयोग दिन प्रतिदिन बढ़ते जा रहा है, इसे देखते हुए केन्द्र सरकार ने व्हाट्सअप को जवाब तलब किया था, किंतु व्हाट्सअप ने इसे निजता का अधिकार एवं अभिव्यक्ति की आजादी बताकर सरकार की मंशा पर पानी फेर दिया। बोलने की स्वतंत्रता की वजह से सोशल मीडिया में आपत्तिजनक टिप्पणी किया जा रहा है, खुशियों शेयर करने, अपराधियों को पकड़ने, असहाय की मदद करने, स्वच्छ राजनीति के प्रति लोगों को जागरूकता लाने में इसका उपयोग किया जाना चाहिए, हमारी मानसिकता विकृत हो चुकी है। फेक न्यूज की वजह से अनेक मामले दर्ज हो रहे हैं, हमें हमारी सोच एवं सभ्यता को दर्शाने वाला आचरण स्वीकार करना चाहिए। सोशल साइट में बढ़ते फेक न्यूज को रोकने के लिए हमें ग्रामीण स्तर पर जागरूकता अभियान चलाने की आवश्यकता है, इसमें सरकार को भी अपनी भागीदारी निभानी होगी, बिना ठोस गारंटी के कोई भी सूचना का आदान प्रदान न हो देश में माबलिंचिन, दंगे जैसी स्थिति पैदा न हो यह प्रयास किया जाना चाहिए। सरकार को सख्त कानून बनाए जाने चाहिए ताकि इस अपराध के लिए सजा एवं अर्थदण्ड देना चाहिए। कानून का डर व्यक्तियों में खौफ पैदा करे, लॉग इन करते समय यूजरों को बताया जाए कि किसी भी प्रकार के संदेश नहीं भेजे अन्यथा उन पर सजा हो सकती है। नियम कानून की स्पष्ट जानकारी देकर उसका पालन सुनिश्चित हो। सभी सोशल मीडिया कम्पनियों के नियंत्रक कक्ष भारत में बनें, फर्जी खाते की पहचान कर पंजीकृत मोबाईल नंबर और खाता को आजीवन रद्द किया जाए, अगर ऐसा हुआ तो लोगों के मन में भय उत्पन्न होगा और फर्जी खबरों पर धीरे-धीरे लगाम लगेगा।

निष्कर्ष:-

निष्कर्ष रूप में कहा जा सकता है कि, सोशल मीडिया का समाज के सभी वर्गों पर सकारात्मक एवं नकारात्मक प्रभाव पड़ा है किंतु विशेषकर युवा एवं बच्चों पर इसका मनोवैज्ञानिक प्रभाव अधिक देखा गया है, जो नकारात्मक रूप में सामने आया है। व्यक्तियों के परिवार से बाहर अन्य व्यक्तियों से मीडिया के माध्यम से संबंध तो है किंतु परिवार के अंदर ही पारिवारिक सदस्य के बीच मानवीय संबंध कम हुए हैं। सोशल मीडिया का एक मजबूत आधार सोशल साइट्स ने प्रदान किया है, वर्तमान समय में कुछ प्रमुख साइट अपनी सफलता, कामयाबी को वैश्विक स्तर पर फेसबुक के माध्यम

से अपने आपको मजबूती के साथ स्थापित किया है। सोशल साइट्स की उपयोगिता आज के परिवेश में बहुत अधिक सार्थक सिद्ध हो रही है। सोशल मीडिया से जुड़े सभी वर्ग की जिम्मेदारी बनती है कि इनमें किसी भी प्रकार की विकृतियां न आए और अपनी अच्छी छवि समाज के सामने रख सके, शिक्षा का क्षेत्र हो या विज्ञान, गणित या वैज्ञानिक शोध राजनीति या देश संचालन के लिए बनने वाली नीतियां, उद्योग जगत से जुड़ी नीतियां और उनके व्यापार संचालन के तौर तरीके का हर जगह सामाजिक माध्यमों का जबरदस्त उपयोग हो रहा है। (शब्द कुंजी, सोशल मीडिया, परिवार, मनोवैज्ञानिक व्हाटसेप, अवसाद सशक्तिकरण, ट्वीटर, गूगल, इंस्टाग्राम, फेसबुक, चिंता)

संदर्भ सूची :-

1. सोशल मीडिया का युवाओं पर प्रभाव—अंतरविषयक दृष्टिकोण — शोध स्मारिका 2019
2. प्रतियोगिता दर्पण 2015 अपराधिक लेख।
3. वन इण्डिया हिन्दी समाचार 2009
4. अपराध शास्त्र एवं दण्ड प्रशासन — डॉ. ना. वि. परांजये, सेन्ट्रल लॉ पब्लिकेशन 2009
5. अपराध शास्त्र —नरेन्द्र कुमार शर्मा ओमेगा पब्लिकेशन 2011
6. मीडिया — संदीप उपाध्याय
7. सूचना संचार — डॉ. प्रज्ञा श्रीवास्तव
8. मीडिया लेखन और पत्रकारिता — डॉ.यू.सी. गुप्ता

लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास में छत्तीसगढ़ राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन (राजनांदगांव जिले के विशेष संदर्भ में)

डॉ. के.एल. टाण्डेकर, प्राचार्य शासकीय नेहरू स्नातकोत्तर महाविद्यालय, डोंगरगढ़, जिला – राजनांदगांव, छ.ग.

डॉ. संतोष कुमार उके, सहायक प्राध्यापक – वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

श्रीमती सुमन बोथरा, सहायक प्राध्यापक – वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.).

शोध सार :-

प्रस्तुत शोध पत्र में लक्षित वर्गों (अनुसूचित जाति, अनु.जनजाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक एवं सफाई कामगार) के आर्थिक विकास में अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन किया गया है । प्रदेश एवं जिले में आर्थिक विकास की दृष्टि से इन वर्गों के विकास हेतु निगम द्वारा संचालित विभिन्न योजनाओं से संबंधित आकड़ों को दर्शाया गया है। विशेष रूप से इन वर्गों द्वारा अपनी इच्छानुसार चयनित व्यवसाय उद्योग के लिए प्रशिक्षण एवं वित्तीय सहायता उपलब्ध कराकर उन्हें आर्थिक रूप से आत्मनिर्भर बनाकर समाज की मुख्यधारा से जोड़ना एवं इनके स्वरोजगार के प्रति आकर्षित कर इनकी मानसिकता को विकसित करना है, इसके लिए निगम के माध्यम से ऋण सुविधा, ऋण वितरण, ऋण वसूली, वसूली के प्रतिशत को भी सारणी द्वारा प्रदर्शित कर विश्लेषण किया गया है तथा लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास में अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम कितना सफल रहा, इसका विश्लेषणात्मक अध्ययन किया गया।

प्रस्तावना :-

भारतीय समाज का इतिहास अत्यंत प्राचीन है, भारतीय समाज भी विश्व के अन्य देशों की संरचनाओं, संस्कृतियों से मौलिक रूप से आध्यात्मिक उद्देश्यों के कारण पृथक है। भारतीय सामाजिक संरचना का एक प्रमुख लक्षण यहाँ व्याप्त जाति व्यवस्था है, निम्न एवं कमजोर वर्ग द्वारा परम्परागत रूप से किये जाने वाले कार्य चाहे वह कितने ही उपयोगी क्यों न हो, उनको घृणा की दृष्टि से ही देखा जाता है। कमजोर वर्ग के लोग प्रतिभावान और अन्य कार्यों में दक्ष होने के बावजूद भी अपने पंसद का कार्य नहीं कर पाते थे, व्यवसायिक स्वतंत्रता के अभाव में योग्य, कुशल और चतुर होने के बाद भी यह समुदाय अपना आर्थिक विकास नहीं कर पाते थे, आजादी के बाद दलितों (लक्षित वर्गों) के उत्थान एवं आर्थिक विकास को लक्ष्य मानकर अनेक योजनाएं व कानून बनाये गए, जिससे की दलितों को सम्मान एवं न्याय मिल सकें।

लक्षित वर्गों के सम्पूर्ण विकास के लिए भारत सरकार तथा राज्य सरकार द्वारा विभिन्न उपक्रमों की स्थापना की गई, उनमें से एक छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित की स्थापना 30 अक्टूबर 2000 को की गई। इस निगम के द्वारा प्रदेश में निवासरत अनुसूचित जाति, अनुसूचित जनजाति, अन्य पिछड़ा वर्ग, अल्प संख्यक वर्ग तथा सफाई कामगार वर्ग को “लक्षित वर्ग” मानकर उनको आर्थिक एवं सामाजिक रूप से ऊपर उठाकर विकास की मुख्य धारा से जोड़कर सशक्त बनाने का लक्ष्य रखा गया है, आर्थिक विकास के लिए इन वर्गों के हितग्राहियों को उनके द्वारा चयनित व्यवसाय हेतु ऋण उपलब्ध कराया जाता है, जिनकी सहायता से इस वर्ग के हितग्राही अपना स्वयं का रोजगार प्रारंभ कर अपना आर्थिक एवं सामाजिक विकास कर अपने जीवन स्तर में सुधार कर सकते हैं।

लक्षित वर्गों की आय, जीवन स्तर एवं रोजगार की असमानता को कम करने के लिए सरकार ने रणनीति के रूप में नियोजित विकास को अपनाया है, इन वर्गों की विभिन्न समस्याओं को देखते हुए एवं इनके सामाजिक आर्थिक उत्थान के लिए राजनांदगांव जिले में कार्य कर रहे “छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित” पूरी सजगता पूर्वक कार्य कर रहा है, निगम द्वारा संचालित योजनाओं ने इन वर्गों को कैसे एवं कहा तक वित्तीय सहायता प्रदान कर आर्थिक रूप से सशक्त व स्वावलम्बी बनाया ताकि इनके आर्थिक विकास के लिए क्या –क्या कार्य किए हैं, इन सभी कार्यों का उनके आर्थिक विकास में क्या प्रभाव पड़ा, आदि का मूल्यांकन करने के लिए शोध विषय का चयन किया गया है।

शब्द सूची :-

लक्षित वर्ग, आर्थिक विकास, उत्थान, स्वावलंबी।

उद्देश्य :-

1. निगम की योजनाएं लक्षित वर्ग के आर्थिक, सामाजिक, शैक्षणिक विकास में कितनी सहायक रही, इसका विश्लेषण करना।
2. छत्तीसगढ़ राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की योजनाओं का लक्षित वर्गों के जीवन स्तर पर क्या प्रभाव रहा।
3. लक्षित वर्गों तक निगम की योजनाओं की जानकारी कैसे पहुंची तथा इनमें कितनी जागरूकता आयी, इसका अध्ययन करना।
4. निगम की योजनाओं का इन वर्गों के रोजगार पर पड़ने वाले प्रभाव का अध्ययन करना।
5. निगम की योजनाओं एवं कार्यक्रमों की समीक्षा करना तथा जागरूकता लाने में कहा तक निगम सफल रहा है।
6. योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों के सशक्तिकरण की स्थिति का मूल्यांकन करना।

परिकल्पना :-

प्रस्तावित शोध कार्य के संबंध में निम्न परिकल्पना की गई –

1. छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों की सामाजिक, आर्थिक स्थिति सुदृढ़ हुई है।
2. योजनाओं/कार्यक्रमों का लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास पर सकारात्मक प्रभाव रहा है।
3. निगम की विभिन्न योजनाओं का सुचारु रूप से क्रियान्वयन हो रहा है।

शोध प्रविधि :-

प्रस्तुत शोध अध्ययन छ.ग. राज्य के राजनांदगांव जिले के लक्षित वर्ग (अनु. जाति, अनु.जन. जाति, अन्य पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक सफाई कामगार) के आर्थिक विकास में छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन किया गया है, इसके लिए प्राथमिक तथा द्वितीयक समंको का प्रयोग किया गया है, प्राथमिक समंको के संकलन के लिए प्रत्यक्ष संपर्क कर अनुसूची एवं प्रश्नावली भरवायी गई है, इसके अलावा निगम से प्राप्त वार्षिक प्रतिवेदन जनगणना, प्रकाशन जिला सांख्यिकी पुस्तिका सांख्यिकी प्रकाशनो, रोजागार समंको से प्राप्त आकड़ों को द्वितीयक समंको के रूप में प्रयोग कर उनके सारणीयन एवं विश्लेषण, सांख्यिकी विधियों के आधार पर प्रतिशत, विकासदर, प्रवृत्तिमान का उपयोग तथ्यों की सार्थकता का प्रस्तुतीकरण किया गया है।

अध्ययन क्षेत्र एवं सीमाएं :-

प्रस्तुत अध्ययन हेतु राजनांदगांव जिला का चयन किया गया है, जिसमें निगम द्वारा संचालित आर्थिक विकास योजनाओं को लिया गया है। राजनांदगांव जिले के अंतर्गत 9 विकासखंड हैं – राजनांदगांव, डोंगरगांव, चौकी, छुरिया, मोहला, मानपुर, खैरागढ़, छुईखदान, डोंगरगढ़ आते हैं। राजनांदगांव जिला छ.ग. राज्य के पश्चिम भाग में स्थित राज्य का सबसे बड़ा जिला है। वर्तमान अध्ययन कार्यक्षेत्र राजनांदगांव जिला में संचालित निगम (विभाग) से प्राप्त सूची के आधार पर लगभग 10 प्रतिशत हितग्राहियों का चयन कर इन्हे अध्ययन की ईकाई के रूप में सम्मिलित किया गया है, जिसमें अनु. जाति, अनु.जन जाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक, सफाई कामगार वर्ग के हितग्राहियों को शामिल किया गया है। शोध प्रबंध के अध्ययन की अवधि का निर्धारण भी करना एक व्यवहारिक समस्या है। अतः उपलब्ध योजनाओं का अध्ययन उन आकड़ों की उपलब्धता के आधार पर अलग-अलग समयावधि पर किया गया है।

राजनांदगांव जिले का परिचय एवं भौगोलिक स्थिति :-

मध्यप्रदेश के तत्कालिक मुख्यमंत्री श्री प्रकाशचंद सेठी ने अविभाजित दुर्ग जिले से राजनांदगांव को जिला बनाने की घोषणा 26 जनवरी 1973 को किया, तब से यह जिला अस्तित्व में आया है, राजनांदगांव जिला छत्तीसगढ़ के अंचल में स्थित पश्चिम भाग में स्थित छ.ग. राज्य का सबसे बड़ा जिला जो वर्तमान में दुर्ग संभाग के अंतर्गत आता है। 1973 में कुल भौगोलिक क्षेत्रफल 11127 वर्ग किमी था। वर्तमान में कुल भौगोलिक क्षेत्रफल 8022.5 वर्ग किमी है। जिले का विस्तार 20°70' से 22°29' उत्तरी अक्षांश तथा 80°23' से 81°29' पूर्वी देशांतर के मध्य है, समुद्रतल से औसत ऊँचाई 330°78 मीटर इसकी उत्तर से दक्षिण लम्बाई 148.4 कि.मी. तथा पूर्व पश्चिम लम्बाई 89 कि.मी. है। जिले की कुल जनसंख्या 2001 के अनुसार 1283224 थी, जो बढ़कर 2011 में 1537133 हो गई, इसी प्रकार जिले के अधिकांश तहसीलों में जनसंख्या वृद्धि हुई है, वर्ष 2011 की जनगणना के अनुसार सर्वाधिक जनसंख्या राजनांदगांव तहसील में तथा सबसे कम मोहला तहसील में दर्ज की गई है।

छ.ग. अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम का परिचय कार्य एवं उद्देश्य :-

भारत सरकार द्वारा संविधान में उल्लेखित अनुच्छेदों के तहत घोषित अनु.जाति, अनु.जन.जाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक एवं सफाई कामगारों (लक्षित वर्ग) के लोगों को स्वरोजगार एवं वित्तीय सहायता प्रदान करने के उद्देश्य से छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम का गठन म.प्र. सहकारी सोसायटी (पुनर्गठन एवं निर्माण) अध्यादेश क्रमांक 04 सन् 2000 के अंतर्गत दिनांक 30.10.2000 को किया गया छ.ग. में कुल आबादी 32% अनुसूचित जनजाति एवं 13% अनुसूचित जाति वर्ग का है, इन दोनों को विशेष ध्यान में रखते हुए इनके आर्थिक विकास एवं गरीबी रेखा से नीचे के अंतिम छोर के व्यक्ति को वित्तीय सहायता दिलाकर स्वालम्बी बनाने के उद्देश्य पर निगम छ.ग. प्रदेश एवं राजनांदगांव जिले में विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन कर रहा है। इसके अतिरिक्त पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक वर्ग, सफाई कामगारों की मुक्ति एवं पुर्नबास के लिए आर्थिक मूलक योजनाओं के दायित्व का निर्वहन निगम कर रहा है। बेरोजगार युवकों में व्यवसायिक मानसिकता विकसित करने के उद्देश्य से व्यवसाय पूर्व प्रशिक्षण देने के लिए उद्यमी विकास संस्थान एवं प्रशिक्षण सह-उत्पाद केन्द्र का विलय छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित में किया गया है।

लक्षित वर्ग समूह – छ.ग. राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम द्वारा लक्षित वर्ग समूह वर्ग समूह के अंतर्गत अनु. जाति, अनुसूचित जनजाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक वर्ग एवं सफाई कामगार वर्ग को शामिल किया गया है, इन वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास हेतु विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन निगम कर रहा है।

अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की लक्षित वर्गों के लिए जिले में संचालित विभिन्न योजनाओं एवं उनका क्रियान्वयन बाबद— राजनांदगांव जिले में लक्षित वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास को ध्यान में रखते हुए छ.ग. अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित राष्ट्रीय वित्त पोषक निगमों के सहयोग से अलग-अलग वर्गों के हितार्थ संचालित विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन सफलतापूर्वक कर रहा है, राष्ट्रीय वित्त पोषक निगमों में प्रमुख (1) राष्ट्रीय अनुसूचित जाति वित्त एवं विकास निगम (2) राष्ट्रीय अनुसूचित जनजाति वित्त एवं विकास निगम (3) राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग वित्त एवं विकास निगम (4) राष्ट्रीय अल्प संख्यक वित्त एवं विकास निगम (5) राष्ट्रीय सफाई कामगार वित्त एवं विकास निगम है, इन लक्षित वर्गों के लिए संचालित योजनाएँ निम्नानुसार हैं—

- 1. अनुसूचित जाति –** अनुसूचित जाति वर्ग के हितग्राहियों को आर्थिक रूप से सशक्त करने हेतु संचालित योजनाएँ (1) महिला समृद्धि योजना (2) माइक्रो क्रेडिट योजना (3) ट्रेक्टर ड्राली योजना (4) स्माल बिजनेस योजना (5) गुड्स कैरियर योजना (6) पेसेन्जर व्हीकल योजना (7) शिक्षा ऋण योजना (8) लघु व्यवसाय योजना
- 2. अनुसूचित जनजाति –** अनुसूचित जनजाति वर्ग के लिये संचालित योजनाएँ (1) ट्रेक्टर ड्राली योजना (2) गुड्स कैरियर योजना (3) पेसेन्जर व्हीकल योजना (4) आदिवासी महिला सशक्तिकरण योजना (5) स्माल बिजनेस योजना (6) शिक्षा ऋण योजना
- 3. राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग—** राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग के लिए संचालित योजनाएँ (1) टर्म लोन योजना (2) माइक्रो क्रेडिट योजना (3) जनरल लोन योजना (4) नई स्वर्णिम योजना (5) आकांक्षा शैक्षिक ऋण योजना (6) महिला समृद्धि योजना
- 4. अल्पसंख्यक वर्ग—** अल्पसंख्यक वर्ग के लिए संचालित योजनाएँ (1) टर्म लोन योजना (2) शैक्षिक ऋण योजना (3) लघु वित्त (माइक्रो फायनेन्स) योजना (4) महिला समृद्धि योजना (5) व्यक्ति मूलक बड़ी ऋण योजना
- 5. सफाई कामगार वर्ग—** सफाई कामगार वर्ग के लिए योजनाएँ (1) व्यक्ति मूलक योजना (2) आटो शिक्षा योजना (3) स्वच्छता से संबंधित वाहन योजना (4) सेनेटरी मार्ट योजना (5) महिला समृद्धि योजना (6) माइक्रो क्रेडिट योजना (7) महिला अधिकारिकता योजना आदि का क्रियान्वयन निगम द्वारा किया जा रहा है। जिला अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित राजनांदगांव द्वारा वर्ष 2000 से 2016 तक वर्गवार योजनाओं में वितरित राशि के आंकड़े निम्न तालिका अनुसार हैं—

वर्गवार योजनाओं के आंकड़े (वर्ष 2000 से जून 2016 तक) राशि लाख रुपये में

क्रमांक	विवरण	वितरित राशि	वसूल की गई राशि	बकाया राशि	वसूली का प्रतिशत
01	अनुसूचित जाति वर्ग	32767840	18598430	14169410	56.75%
02	अनुसूचित जनजाति वर्ग	50337405	25650839	24686566	50.95%
03	पिछड़ा वर्ग	7304968	3823932	3481036	52.35%
04	अल्पसंख्यक वर्ग	5003145	1515493	3487653	30.29%
05	सफाई कामगार वर्ग	12851766	2256663	10596103	17.55%
योग –		108265124	51844357	5642767	47.88%

स्त्रोत – अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम राजनांदगांव (छ.ग.)

उपरोक्त तालिका से स्पष्ट है कि जिला अंत्यावसायी वित्त विकास निगम राजनांदगांव द्वारा जिले में लक्षित वर्गों को आर्थिक एवं सामाजिक विकास की दृष्टि से विभिन्न योजनाओं के माध्यम से आर्थिक सहायता उपलब्ध कराई गई जिससे अनुसूचित जाति, अनुसूचित जनजाति, पिछड़ा वर्ग का वसूली प्रतिशत क्रमशः 56.75%, 50.95%, 52.35%, है जो अन्य वर्गों की तुलना में सर्वाधिक है, इसका कारण इन वर्गों का शिक्षित एवं जागरूक होना दर्शाता है वहीं अल्पसंख्यक तथा सफाई कामगारों क्रमशः 30.29 एवं 17.55 % रहा है। ऋण का प्रतिशत कम होने से जिले में निगम की राशि विभिन्न राष्ट्रीय निगमों को समय पर वापस करने में कठिनाई होती है, जिले में कुल वसूली का प्रतिशत 47.88% है जो कि निगम द्वारा संचालित योजना के सफल क्रियान्वयन से सभी वर्गों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास संभव हो सका है।

समस्या एवं सुझाव –

लक्षित वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योजनाओं के क्रियान्वयन में जिला अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की महत्वपूर्ण भूमिका रही है, विषय के अध्ययन विश्लेषण के समय हमें कई चुनौतियों एवं कठिनाइयों का सामना करना पड़ा है, योजनाओं के क्रियान्वयन में हितग्राहियों की अशिक्षा, निष्ठा, प्रतिबद्धता, कर्मठता, इच्छा शक्ति तथा योजनाओं की सही जानकारी का हितग्राहियों तक सही समय एवं सही परिस्थितियों में नहीं पहुँच पाना तथा इसका ज्ञान न होना निर्धारित समय पर लक्ष्य की पूर्ति न होना वसूली का शत-प्रतिशत नहीं होना, वसूली में विलम्ब जैसी प्रमुख समस्या पायी गई है, निगम के कर्मचारी, अधिकारी का भी सहयोग एवं समन्वय का आभाव रहा है, निगम की योजनाएँ आर्थिक विकास अर्थात् ऋण वितरण से संबंधित होने के कारण वितरण प्रक्रिया में जटिलता से भी हितग्राही योजना का सही लाभ उठाने में असमर्थ रहे हैं, निगम की विभिन्न योजनाओं के क्रियान्वयन का लक्षित वर्गों के आर्थिक सामाजिक विकास पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा एवं उनकी स्थिति सुदृढ़ वसूली हो इसके लिए निम्नलिखित सुझाव प्रस्तुत है –

सुझाव –

1. हितग्राहियों को सरलता से ऋण उपलब्ध हो सके इसके लिए ऋण लेने की औपचारिकता को कम करने की आवश्यकता है।
2. निगम द्वारा ऋण वितरण, ऋण वसूली की प्रक्रिया को सरल बनाना चाहिए।
3. योजनाओं का व्यापक प्रचार-प्रसार किया जाना चाहिए जिससे कि हितग्राहियों द्वारा योजनाओं को अधिक लाभ उठाया जा सके।
4. ऋण पर ब्याज दर में कमी करना आवश्यक है ताकि हितग्राहियों को अधिक भार उठाना ना पड़े।
5. हितग्राहियों को प्रोत्साहन स्वरूप कुछ अतिरिक्त सुविधाएँ प्रदान करनी चाहिए।
6. आवेदकों के चयन प्रक्रिया पूर्ण रूप से पारदर्शी होनी चाहिए, जिससे योग्य, ईमानदार, परिश्रमी, लगनशील दृढ़ ईच्छाशक्ति एवं कर्मठ व्यक्ति का चयन हो ताकि ऋण की राशि का सही उपयोग हो सके।
7. निगम द्वारा योजनाओं के क्रियान्वयन की जवाबदेयता तय होनी चाहिए।
8. निगम की कुछ योजनाओं पर ब्याज मुक्त ऋण दिया जाए ताकि अधिक से अधिक हितग्राही आकर्षित हो सके।

निष्कर्ष –

वर्तमान समय में बेरोजगारी पूरे विश्व में प्याप्त है। अनु.जाति, जनजाति, पिछड़ा वर्ग एवं अल्प संख्यक एवं सफाई कामगारों ने बेरोजगारी की समस्या को समाप्त करने तथा इस वर्ग के हितग्राहियों को स्वरोजगार प्रदान करने के दृष्टि से छ.ग. अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन कर रही है। निगम विभिन्न योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों को वित्तीय सहायता प्रदान कर रही है। इन योजनाओं का लक्षित वर्ग पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा है, साथ ही जिले के लक्षित वर्गों की सामाजिक, आर्थिक, शैक्षणिक स्थिति सुदृढ़ हुई साथ ही रोजगार, स्वरोजगार के अवसर उपलब्ध हुए। इन योजनाओं के क्रियान्वयन से लक्षित वर्गों के जीवन स्तर में सुधार आया है और वे विकास की मुख्यधारा से जुड़कर आर्थिक रूप से सक्षम बन रहे हैं। इन वर्गों के आर्थिक रूप से विकसित होने से समाज का, गांव का, जिले का, राज्य का एवं राष्ट्र का भी विकास हो रहा है।

संदर्भ सूची –

1. जिला अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम राजनांदगांव द्वारा प्रकाशित पुस्तिका।
2. मिनी माता स्वालम्बन योजना सफलता की कहानी 2012।
3. राष्ट्रीय अनुसूचित जाति, जनजाति वित्त एवं विकास निगम नई दिल्ली।
4. सफाई कामगार समुदाय खुदशाह संजीव रामकृष्ण प्रकाशन नई दिल्ली।
5. छ.ग. राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम रायपुर मार्गदर्शिका।
6. आदिवासी स्वरोजगार योजना मार्गदर्शिका।
7. जिला सांख्यिकी पुस्तिका 2014।
8. रिसर्च लिंक मार्च-2018।
9. डॉ. शांता शुक्ला, छत्तीसगढ़ सामाजिक आर्थिक इतिहास।
10. आदिवाल चंद्रमोहन आदिवासी हरिजन आर्थिक विकास, नारदन बुक सेंटर, इलाहाबाद।
11. जिला राजनांदगांव की विकास झलक – 2014

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान (छत्तीसगढ़ के राजनांदगाँव नगर निगम क्षेत्र के विशेष संदर्भ में)

रागिनी शोधार्थी सहायक प्राध्यापक(वाणिज्य) शा. दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय राजनांदगाँव छ.ग. भारत
डॉ. टाण्डेकर के.एल. शोध निर्देशक प्राचार्य शा. दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय जिला राजनांदगाँव छ.ग.
डॉ. भाटिया एच. एस. सह शोध निर्देशक विभागाध्यक्ष शा. दिग्विजय स्वशासी महा. राजनांदगाँव छ.ग. भारत

1. शोध सार :-

राज्य के नागरिकों को रोजगार की सुविधा प्रदान करने के लिए राज्य शासन द्वारा महत्वाकांक्षी योजनाओं को पूर्ण करने के लिए व्यावसायिक परियोजना की शुरुआत की गई। इस योजना का क्रियान्वयन राज्य स्तर पर छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल द्वारा किया जा रहा है इस परियोजना के अंतर्गत प्रत्येक हितग्राहियों को कम कीमत पर व्यावसायिक परिसर प्रदान किया जाता है। वर्तमान में मंडल द्वारा राज्य में लगभग 2000.00 व्यावसायिक परिसरों का निर्माण किया जा चुका है। इस योजना में लगभग 200000.00 से 9000000.00 रु. तक व्यावसायिक परिसर का मूल्य निर्धारित किया गया है। इस योजना में भवनों के क़य हेतु भाड़ा क़य योजना के माध्यम से किस्त भुगतान की सुविधा 10/15 वर्षों तक प्रदान की जा रही है इसके द्वारा निम्न आय स्तर के नागरिकों को व्यावसायिक परिसर की सुविधा प्रदान की जा रही है। इस योजना के माध्यम से हितग्राहियों को रोजगार की प्राप्ति होती है जिससे हितग्राहियों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास होता है।

2. मुख्य शब्द :-

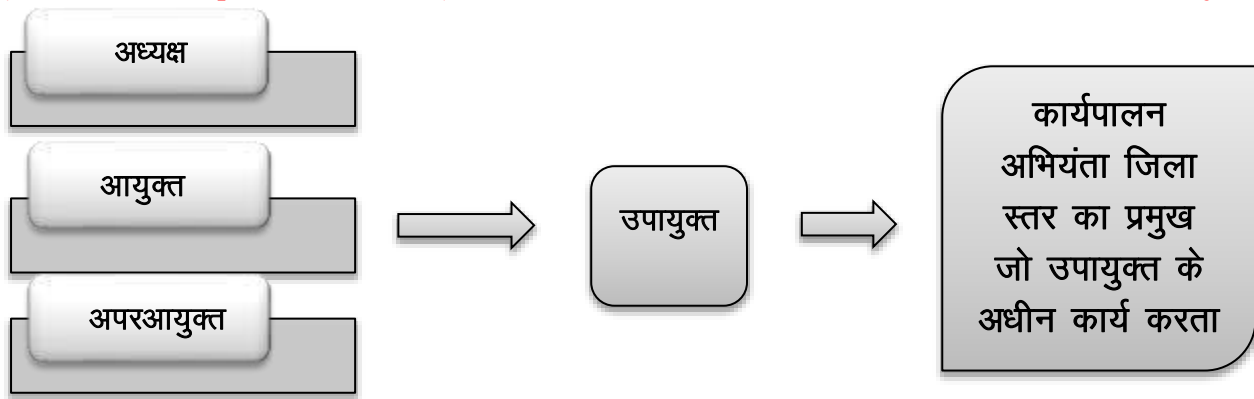
व्यावसायिक परिसर, रोजगार, सामाजिक एवं आर्थिक विकास, योजना का क्रियान्वयन, छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल

3. प्रस्तावना:-

प्राचीन काल में मानव अपनी आवश्यकताओं को पूर्ण करने के लिए शिकार एवं आखेट किया करता था तत्पश्चात् धीरे धीरे समय में परिवर्तन हुआ एवं वर्णों के आधार पर कार्य का विभाजन होने लगा वर्तमान में भी अपनी आवश्यकताओं के लिए मानव रोजगार की तलाश करता है या व्यवसाय करता है। वर्तमान में प्रमुख समस्या रोजगार एवं व्यवसाय की समस्या है। रोजगार से आशय है आजीविका अर्थात् जीवन यापन के लिए अर्थात् भोजन, वस्त्र, आवास, चिकित्सा, शिक्षा आदि पर खर्च करने के लिए आवश्यक धन अर्जन हेतु नियमित रूप से किया जाने वाला काम एवं व्यवसाय से आशय है, एक ऐसा कार्य जिसमें धन के बदले वस्तुओं अथवा सेवाओं का उत्पादन, विक्रय और विनिमय से है। यह नियमित रूप से किया जाता है तथा लाभ कमाने के उद्देश्य से किया जाता है। खनन, उत्पादन, व्यापार, परिवहन, भंडारण, बैंकिंग तथा बीमा आदि क्रियाओं से है। मानव जीवन में व्यवसाय एवं रोजगार का अत्यधिक महत्व है, उन्हें रोजगार एवं व्यवसाय से आजीविका की प्राप्ति होती है एवं मानव की आवश्यकताओं की पूर्ति भी रोजगार एवं व्यवसाय के माध्यम से होती है।

भू-संपदा के क्षेत्र में महत्वपूर्ण भूमिका निभाने के लिए एवं गुणवत्तापूर्ण किफायती आवास की उपलब्धता सुनिश्चित करने के लिए " सबके लिए आवास " कथन के साथ छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की स्थापना छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल अधिनियम 1972 के तहत (no 3 of 1973) 2000 को हुआ तत्पश्चात् अधिसूचना क्रमांक 177/3236/32/2003 दिनांक 12.02.2004 में पुनर्गठन किया गया।

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल निगमित निकाय है। जो आवास एवं पर्यावरण विभाग के अंतर्गत आता है। मंडल में 1 अध्यक्ष होता है जो विधानसभा का सदस्य, 1 आयुक्त जो आई.ए.एस.संवर्ग का होता 3 अपर आयुक्त होते हैं। जो आयुक्त के अधीन कार्य करते हैं इनका मुख्यालय नवा रायपुर है। सर्किल स्तर पर उपायुक्त होता है जिसके अधीन कार्यपालन अभियंता होते हैं कार्यपालन अभियंता जिला स्तर का प्रमुख होता है जिनके अधीन कर्मचारी कार्यरत होते हैं। वर्तमान में प्रथम/द्वितीय/तृतीय/चतुर्थ श्रेणी के कुल 646 अधिकारी/कर्मचारी कार्यरत है।



छत्तीसगढ़ शासन की व्यवसाय हेतु परिसर निर्माण करने एवं आवास की नीतियों लागू करने वाली यह प्रमुख संस्था हैं। छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल एक स्वायत्त संस्था हैं। सीमित साधनों के साथ इसकी स्थापना की गई थी। परन्तु कुछ ही समय में मंडल प्रगति के सोपानों की ओर अग्रसर है। मंडल ने विभिन्न योजनाओं के माध्यम से हितग्राहियों को संतुष्ट किया है एवं किफायती दर पर आवास एवं व्यावसायिक परिसर उपलब्ध कराया जाता है।

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल द्वारा E. W. S. एवं L.I.G. वर्गों के नागरिकों किफायती दर पर आवास एवं व्यावसायिक परिसर उपलब्धता सुनिश्चित काराने की प्राथमिकता है तथा मंडल द्वारा अटल आवास योजना, अटल विहार योजना, दीनदयाल आवास योजना में विभिन्न सुविधाओं के साथ आवास एवं व्यवसाय हेतु व्यावसायिक परियोजना के माध्यम से व्यावसायिक परिसर उपलब्ध कराया जाता है। इन योजनाओं के लिए मंडल को राष्ट्रीय स्तर पर सम्मानित किया जा चुका है। इस संबंध में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की स्थापना का प्रमुख उद्देश्य है:-

1. बेरोजगार परिवारों को अनुदान के पश्चात् कम दर पर प्राथमिकता के आधार पर व्यावसायिक परिसर की सुविधा सुनिश्चित करना।
2. राज्य के व्यवसाय एवं रोजगार की सुविधा सुरक्षित करने के लिए प्रेरित करना।
3. राज्य में व्यावसायिक गतिविधियों के मध्य की अनावश्यक प्रशासनिक एवं कानूनी बाधाओं को दूर करना।
4. राज्य की क्षेत्रीय संस्थान एवं पब्लिक प्राइवेट पार्टनरशिप, अर्ध निजी संस्थाओं भवनों में विनियोग के लिए सक्रिय करना एवं प्रोत्साहित करना।

4 शोध अध्ययन का उद्देश्य :-

1. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की परियोजनाओं का अध्ययन करना।
2. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों तक पहुँच की सुनिश्चितता का अध्ययन करना।
3. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का विभिन्न क्षेत्र में योगदान का अध्ययन करना।
4. हितग्राहियों के आर्थिक विकास एवं सामाजिक विकास में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना के योगदान का अध्ययन करना।

5. शोध की परिकल्पना :-

1. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान हैं।
2. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना की पहुँच विभिन्न वर्गों तक है।
3. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की परियोजनाओं का क्रियान्वयन एवं मंडल की स्थिति सुदृढ़ करने में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल संभाग राजनांदगांव का महत्वपूर्ण योगदान है।

6. शोध प्रविधि:-

इस शोध पत्र में प्राथमिक आकड़ों के लिए हितग्राहियों से संपर्क किया गया एवं द्वितीयक आकड़ों के रूप में विवरणात्मक पद्धति का उपयोग किया गया है। छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल की विभागीय वेबसाइट एवं छत्तीसगढ़ गृह

निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव से विभिन्न सूचना पत्र एवं पत्रिकाओं के माध्यम से द्वितीयक आकड़ों का संकलन किया गया है।

7. व्यावसायिक परियोजना :-

छत्तीसगढ़ राज्य शासन द्वारा प्रवर्तित निम्न आय वर्ग (एल.आई.जी.) श्रेणी के हितग्राहियों हेतु इस परियोजना में व्यावसायिक परिसर का निर्माण किया जाता है। शासन के द्वारा रियायती दर पर भूमि उपलब्ध करायी जाती है। योजना स्थल की उपलब्धता तथा आवश्यकतानुसार स्वतंत्र अथवा बहुमंजिले परिसरों का निर्माण किया जाता है। परिसरों का आबंटन जिला कलेक्टर की अध्यक्षता में गठित समिति के माध्यम से किया जाता है। राजनांदगाँव जिले में उक्त योजना न्यू बस स्टैंड परिसर, गोल बाजार, जी.ई. रोड में क्रियान्वित की जा चुकी है, उक्त परियोजना में हितग्राहियों को कम कीमत पर व्यावसायिक परिसर प्रदान किया जा रहा है।

1. व्यावसायिक परिसर परियोजना नया बस स्टैंड परिसर

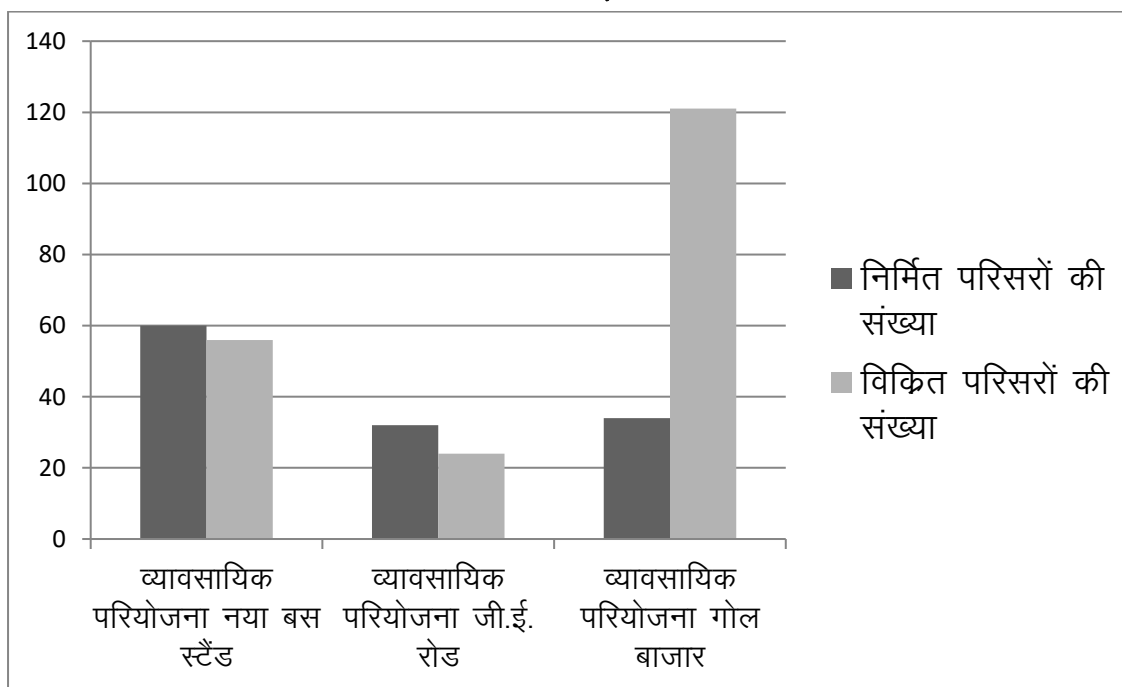
2. व्यावसायिक परिसर परियोजना गोल बाजार

3. व्यावसायिक परिसर परियोजना जी.ई. रोड

व्यावसायिक परिसर परियोजना अंतर्गत निर्मित एवं विक्रित परिसर की संख्या :-

परियोजना का नाम	परिसर का नाम	निर्मित परिसरों की संख्या	विक्रित परिसरों की संख्या
व्यावसायिक परियोजना	नया बस स्टैंड परिसर	60	56
व्यावसायिक परियोजना	जी.ई. रोड परिसर	32	24
व्यावसायिक परियोजना	गोल बाजार परिसर	34	34

व्यावसायिक परिसर परियोजना राजनांदगाँव में निर्मित एवं विक्रित भवनों की संख्या

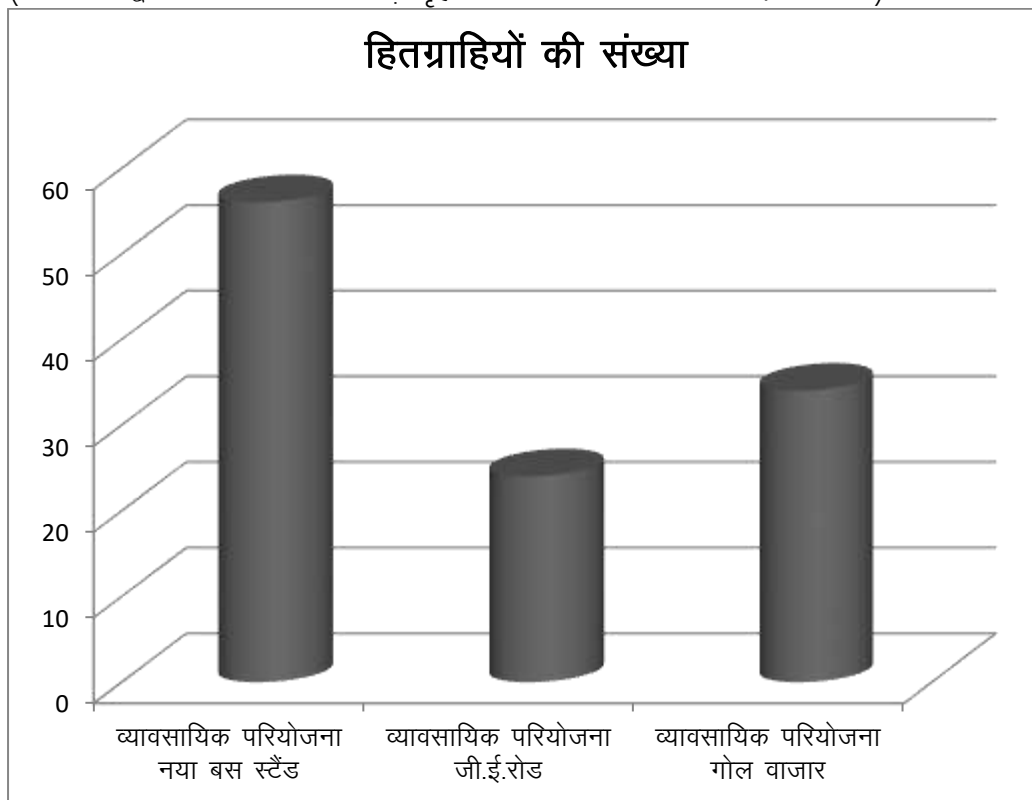


नया बस स्टैंड में निर्मित परिसरों की संख्या 60 एवं विक्रित परिसरों की संख्या 56 जी.ई. रोड में 32 एवं 24 गोल बाजार में 34 एवं 34 है।

(स्रोत :- द्वितीयक स्रोत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव छ.ग.)

क्रमांक	व्यावसायिक परिसर का नाम	हितग्राहियों की संख्या
1.	नया बस स्टैंड परिसर	56
2.	जी.ई. रोड परिसर	24
3.	गोल बाजार परिसर	34

(स्रोत :- द्वितीयक स्रोत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव छ.ग.)



व्यावसायिक परियोजना नया बस स्टैंड में हितग्राहियों की संख्या 56, जी.ई. रोड में 24, गोल बाजार में 34 है।

(स्रोत :- द्वितीय स्रोत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल जिला राजनांदगाँव छ.ग.)

8. छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान का विश्लेषणात्मक अध्ययन:-

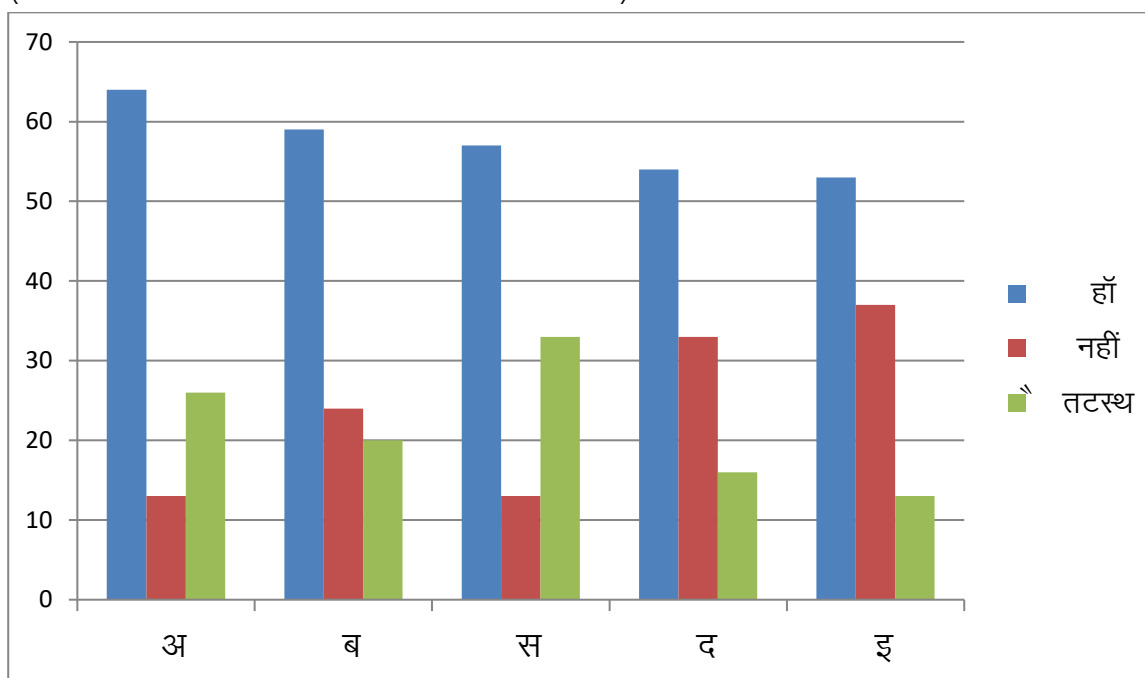
प्राथमिक आकड़ों के लिए प्रश्नावली के माध्यम से आकड़ों का संकलन किया गया प्राप्त आकड़ों के आधार पर विश्लेषणात्मक अध्ययन निम्न है:-

हितग्राहियों की संख्या :- 103

क्र.	विवरण	वर्ग	हाँ	नहीं	तटस्थ
01.	व्यावसायिक परिसर कय करने से वित्तीय स्थिति सुदृढ़ हुई।	अ	64	13	26
02.	व्यावसायिक परिसर कय करने से रोजगार की प्राप्ति हुई।	ब	59	24	20
03.	व्यावसायिक परिसर कय करने से भाड़ा कय की सुविधा प्राप्त हुई।	स	57	13	33

04	व्यावसायिक परिसर क़य करने से भाड़ा क़य की सुविधा से आपकी आय में बचत हुई।	द	54	33	16
05..	क्या आप छ.ग. गृह निर्माण मंडल की कार्यप्रणाली से संतुष्ट हैं।	इ	53	37	13

(स्रोत :- प्राथमिक स्रोत प्रश्नावली के माध्यम से संलग्न)



(स्रोत :- प्राथमिक स्रोत प्रश्नावली के माध्यम से संलग्न)

उपर्युक्त विश्लेषण से स्पष्ट है, कि व्यावसायिक परिसर क़य करने से हितग्राहियों के आय, रोजगार जीवन स्तर में वृद्धि हुई है। जिससे दृष्टिगोचर होता है कि छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान है।

9. छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल की व्यावसायिक परियोजना के क्रियान्वयन की प्रमुख समस्याएँ:-

9.1 योजनाओं की हितग्राहियों तक पहुँच एवं प्रचार प्रसार की समस्या:-

छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल की योजनाओं के प्रचार प्रसार के अभाव के कारण जरूरतमंद हितग्राहियों तक योजना का पहुँच सुनिश्चित नहीं होता है जिससे योजना के क्रियान्वयन में समस्या होती है।

9.2 संकुचित एवं दूरस्थ क्षेत्र में योजना का क्रियान्वयन:-

मंडल द्वारा निर्मित योजना का क्षेत्र संकुचित होता है एवं जितनी भी योजनाएं निर्मित की जाती हैं। वह शहर से दूरस्थ क्षेत्र में होती हैं। जिससे व्यावसायिक परिसर के विक्रय में समस्या होती है।

9.3 शासन द्वारा अनुदान एवं पूँजी की समस्या:-

शासन द्वारा मंडल को हितग्राहियों को अनुदान एवं भूमि के अतिरिक्त कोई छुट नहीं दी जाती है एवं मंडल में पूँजी की समस्या रहती है जिससे नवीन योजना निर्मित करने में समस्या होती है।

9.4 अत्यधिक औपचारिकताएँ:-

मंडल की योजना के प्रारंभ में प्रक्रिया पूर्ण करने में अत्यधिक औपचारिकताएं होती हैं एवं हितग्राहियों को नवीन परिसर क़य करने में भी अत्यधिक औपचारिकता को पूर्ण कारना होता परिणामस्वरूप परियोजना के क्रियान्वयन में समस्या होती है।

10 सुझाव एवं निष्कर्ष:-

10.1 सुझाव :-

1. योजना प्रचार प्रसार :-

योजनाओं की हितग्राहियों तक पहुँच सुनिश्चित करने के लिए विज्ञापन एवं अन्य माध्यम से योजना का प्रचार प्रसार किया जाना चाहिए।

2.विस्तृत एवं निकट क्षेत्र में परिसर का निर्माण:-

व्यावसायिक परिसर का निर्माण संकुचित क्षेत्र में न करके विस्तृत क्षेत्र में किया जाना चाहिए एवं व्यावसायिक परिसर दुरस्थ क्षेत्र में निर्मित न करके शहर के निकट किया जाना चाहिए।

3.शासन द्वारा अनुदान:-

शासन द्वारा समय समय पर अनुदान उपलब्ध करना चाहिए पूँजी के अभाव में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की परियोजनाओं का क्रियान्वित नहीं हो पाती है एवं अन्य शासकीय व्यावसायिक परिसरों के निर्माण का कार्य भी छत्तीसगढ़ निर्माण मंडल को प्रदान किया जाना चाहिए जिसके परिणामस्वरूप पूँजी की समस्या नहीं होगी।

4. विशेष छुट एवं योजना का प्रावधान:-

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल के द्वारा परिसर के विक्रय हेतु विशेष छुट का प्रावधान करना चाहिए एवं विशेष वर्गों हेतु विशेष योजनाएं निर्मित करनी चाहिए जिससे व्यावसायिक परिसर के विक्रय की मात्रा में वृद्धि होगी एवं मंडल के लाभ में भी वृद्धि होगी।

5.अत्यधिक औपचारिकता में कमी करना:-

मंडल के द्वारा योजना के प्रारंभ में अत्यधिक औपचारिकता होने के देरी होती है एवं व्यावसायिक परिसर के विक्रय में भी समस्या होती है। अतः औपचारिकता में कमी करने हेतु एकल खिड़की प्रणाली एवं ऑनलाईन भुगतान की सुविधा होनी चाहिए।

10.2 निष्कर्ष:-

छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल द्वारा पं.दीनदयाल आवास के माध्यम से राजनांदगाँव जिला में लगभग 150 से अधिक नागरिकों को छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल के माध्यम से व्यावसायिक परिसर की सुविधा प्रदान की गई है जिसके माध्यम से नागरिकों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास हुआ है एवं इस क्षेत्र में मंडल को 10 से अधिक पुरस्कार प्राप्त हो चुके हैं। मंडल के माध्यम से हितग्राहियों को व्यावसायिक परिसर क़य करने से रोजगार प्राप्त होता है एवं स्लम क्षेत्रों विकास होता है एवं जीवन स्तर में वृद्धि जिससे यह परिलक्षित होता है कि, व्यावसायिक परिसर के निर्माण एवं हितग्राहियों के सामाजिक एवं आर्थिक विकास में व्यावसायिक परियोजना की महत्वपूर्ण भूमिका है।

11.संदर्भित ग्रंथ:-

- 1.छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की संगवारी मंडल हितग्राही मार्गदर्शिका ।
- 2.छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की विभागीय वेबसाइट <http://cghb.gov.in> ।
- 3.अन्य वेबसाइट <https://drishtias.com> ।
- 4.शोध पद्धति डॉ. आलोक गुप्ता एवं नितिन गुप्ता ।
- 5.व्या. सांख्यिकी डॉ. एस. एम. शुक्ल एवं डॉ. शिवपूजन सहाय ।
- 6.हरिभूमि आवास एवं पर्यावरण विशेष पत्रिका ।
- 7.रायपुर संभाग के अंतर्गत छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल की कार्यप्रणाली एवं उपलब्धियों का विश्लेषण देवागन करुणा एवं वर्मा एल. एन. ।
- 8.शोध पत्र :-
 - 1.सबके लिए आवास की सुविधा एवं हितग्राहियों के विकास में छत्तीसगढ़ गृह निर्माण की भूमिका (राजनांदगाँव जिले के विशेष संदर्भ) डॉ. टाण्डेकर के. एल. डॉ. भाटिया एच. एस. रागिनी ।
 - 2.अटल आवास योजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान (राजनांदगाँव जिले के विशेष संदर्भ) डॉ. टाण्डेकर के. एल. डॉ. भाटिया एच. एस. रागिनी ।
 3. पं.दीनदयाल आवास योजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान (छत्तीसगढ़ के राजनांदगाँव जिले के विशेष संदर्भ में) डॉ. टाण्डेकर के. एल. डॉ. भाटिया एच. एस. रागिनी ।

लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास में छत्तीसगढ़ राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन (राजनांदगांव जिले के विशेष संदर्भ में)

डॉ. के.एल. टाण्डेकर, प्राचार्य शासकीय नेहरू स्नातकोत्तर महाविद्यालय, डोंगरगढ़, जिला – राजनांदगांव, छ.ग.

डॉ. संतोष कुमार उके, सहायक प्राध्यापक – वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

श्रीमती सुमन बोथरा, सहायक प्राध्यापक – वाणिज्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.).

शोध सार :-

प्रस्तुत शोध पत्र में लक्षित वर्गों (अनुसूचित जाति, अनु.जनजाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक एवं सफाई कामगार) के आर्थिक विकास में अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन किया गया है । प्रदेश एवं जिले में आर्थिक विकास की दृष्टि से इन वर्गों के विकास हेतु निगम द्वारा संचालित विभिन्न योजनाओं से संबंधित आकड़ों को दर्शाया गया है। विशेष रूप से इन वर्गों द्वारा अपनी इच्छानुसार चयनित व्यवसाय उद्योग के लिए प्रशिक्षण एवं वित्तीय सहायता उपलब्ध कराकर उन्हें आर्थिक रूप से आत्मनिर्भर बनाकर समाज की मुख्यधारा से जोड़ना एवं इनके स्वरोजगार के प्रति आकर्षित कर इनकी मानसिकता को विकसित करना है, इसके लिए निगम के माध्यम से ऋण सुविधा, ऋण वितरण, ऋण वसूली, वसूली के प्रतिशत को भी सारणी द्वारा प्रदर्शित कर विश्लेषण किया गया है तथा लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास में अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम कितना सफल रहा, इसका विश्लेषणात्मक अध्ययन किया गया।

प्रस्तावना :-

भारतीय समाज का इतिहास अत्यंत प्राचीन है, भारतीय समाज भी विश्व के अन्य देशों की संरचनाओं, संस्कृतियों से मौलिक रूप से आध्यात्मिक उद्देश्यों के कारण पृथक है। भारतीय सामाजिक संरचना का एक प्रमुख लक्षण यहाँ व्याप्त जाति व्यवस्था है, निम्न एवं कमजोर वर्ग द्वारा परम्परागत रूप से किये जाने वाले कार्य चाहे वह कितने ही उपयोगी क्यों न हो, उनको घृणा की दृष्टि से ही देखा जाता है। कमजोर वर्ग के लोग प्रतिभावान और अन्य कार्यों में दक्ष होने के बावजूद भी अपने पंसद का कार्य नहीं कर पाते थे, व्यवसायिक स्वतंत्रता के अभाव में योग्य, कुशल और चतुर होने के बाद भी यह समुदाय अपना आर्थिक विकास नहीं कर पाते थे, आजादी के बाद दलितों (लक्षित वर्गों) के उत्थान एवं आर्थिक विकास को लक्ष्य मानकर अनेक योजनाएं व कानून बनाये गए, जिससे की दलितों को सम्मान एवं न्याय मिल सकें।

लक्षित वर्गों के सम्पूर्ण विकास के लिए भारत सरकार तथा राज्य सरकार द्वारा विभिन्न उपक्रमों की स्थापना की गई, उनमें से एक छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित की स्थापना 30 अक्टूबर 2000 को की गई। इस निगम के द्वारा प्रदेश में निवासरत अनुसूचित जाति, अनुसूचित जनजाति, अन्य पिछड़ा वर्ग, अल्प संख्यक वर्ग तथा सफाई कामगार वर्ग को “लक्षित वर्ग” मानकर उनको आर्थिक एवं सामाजिक रूप से ऊपर उठाकर विकास की मुख्य धारा से जोड़कर सशक्त बनाने का लक्ष्य रखा गया है, आर्थिक विकास के लिए इन वर्गों के हितग्राहियों को उनके द्वारा चयनित व्यवसाय हेतु ऋण उपलब्ध कराया जाता है, जिनकी सहायता से इस वर्ग के हितग्राही अपना स्वयं का रोजगार प्रारंभ कर अपना आर्थिक एवं सामाजिक विकास कर अपने जीवन स्तर में सुधार कर सकते हैं।

लक्षित वर्गों की आय, जीवन स्तर एवं रोजगार की असमानता को कम करने के लिए सरकार ने रणनीति के रूप में नियोजित विकास को अपनाया है, इन वर्गों की विभिन्न समस्याओं को देखते हुए एवं इनके सामाजिक आर्थिक उत्थान के लिए राजनांदगांव जिले में कार्य कर रहे “छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित” पूरी सजगता पूर्वक कार्य कर रहा है, निगम द्वारा संचालित योजनाओं ने इन वर्गों को कैसे एवं कहा तक वित्तीय सहायता प्रदान कर आर्थिक रूप से सशक्त व स्वावलम्बी बनाया ताकि इनके आर्थिक विकास के लिए क्या –क्या कार्य किए हैं, इन सभी कार्यों का उनके आर्थिक विकास में क्या प्रभाव पड़ा, आदि का मूल्यांकन करने के लिए शोध विषय का चयन किया गया है।

शब्द सूची :-

लक्षित वर्ग, आर्थिक विकास, उत्थान, स्वावलंबी।

उद्देश्य :-

1. निगम की योजनाएं लक्षित वर्ग के आर्थिक, सामाजिक, शैक्षणिक विकास में कितनी सहायक रही, इसका विश्लेषण करना।
2. छत्तीसगढ़ राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की योजनाओं का लक्षित वर्गों के जीवन स्तर पर क्या प्रभाव रहा।
3. लक्षित वर्गों तक निगम की योजनाओं की जानकारी कैसे पहुंची तथा इनमें कितनी जागरूकता आयी, इसका अध्ययन करना।
4. निगम की योजनाओं का इन वर्गों के रोजगार पर पड़ने वाले प्रभाव का अध्ययन करना।
5. निगम की योजनाओं एवं कार्यक्रमों की समीक्षा करना तथा जागरूकता लाने में कहा तक निगम सफल रहा है।
6. योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों के सशक्तिकरण की स्थिति का मूल्यांकन करना।

परिकल्पना :-

प्रस्तावित शोध कार्य के संबंध में निम्न परिकल्पना की गई –

1. छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की विभिन्न योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों की सामाजिक, आर्थिक स्थिति सुदृढ़ हुई है।
2. योजनाओं/कार्यक्रमों का लक्षित वर्गों के आर्थिक विकास पर सकारात्मक प्रभाव रहा है।
3. निगम की विभिन्न योजनाओं का सुचारु रूप से क्रियान्वयन हो रहा है।

शोध प्रविधि :-

प्रस्तुत शोध अध्ययन छ.ग. राज्य के राजनांदगांव जिले के लक्षित वर्ग (अनु. जाति, अनु.जन. जाति, अन्य पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक सफाई कामगार) के आर्थिक विकास में छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की योजनाओं का मूल्यांकन अध्ययन किया गया है, इसके लिए प्राथमिक तथा द्वितीयक समंको का प्रयोग किया गया है, प्राथमिक समंको के संकलन के लिए प्रत्यक्ष संपर्क कर अनुसूची एवं प्रश्नावली भरवायी गई है, इसके अलावा निगम से प्राप्त वार्षिक प्रतिवेदन जनगणना, प्रकाशन जिला सांख्यिकी पुस्तिका सांख्यिकी प्रकाशनो, रोजागार समंको से प्राप्त आकड़ों को द्वितीयक समंको के रूप में प्रयोग कर उनके सारणीयन एवं विश्लेषण, सांख्यिकी विधियों के आधार पर प्रतिशत, विकासदर, प्रवृत्तिमान का उपयोग तथ्यों की सार्थकता का प्रस्तुतीकरण किया गया है।

अध्ययन क्षेत्र एवं सीमाएं :-

प्रस्तुत अध्ययन हेतु राजनांदगांव जिला का चयन किया गया है, जिसमें निगम द्वारा संचालित आर्थिक विकास योजनाओं को लिया गया है। राजनांदगांव जिले के अंतर्गत 9 विकासखंड हैं – राजनांदगांव, डोंगरगांव, चौकी, छुरिया, मोहला, मानपुर, खैरागढ़, छुईखदान, डोंगरगढ़ आते हैं। राजनांदगांव जिला छ.ग. राज्य के पश्चिम भाग में स्थित राज्य का सबसे बड़ा जिला है। वर्तमान अध्ययन कार्यक्षेत्र राजनांदगांव जिला में संचालित निगम (विभाग) से प्राप्त सूची के आधार पर लगभग 10 प्रतिशत हितग्राहियों का चयन कर इन्हे अध्ययन की ईकाई के रूप में सम्मिलित किया गया है, जिसमें अनु. जाति, अनु.जन जाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक, सफाई कामगार वर्ग के हितग्राहियों को शामिल किया गया है। शोध प्रबंध के अध्ययन की अवधि का निर्धारण भी करना एक व्यवहारिक समस्या है। अतः उपलब्ध योजनाओं का अध्ययन उन आकड़ों की उपलब्धता के आधार पर अलग-अलग समयावधि पर किया गया है।

राजनांदगांव जिले का परिचय एवं भौगोलिक स्थिति :-

मध्यप्रदेश के तत्कालिक मुख्यमंत्री श्री प्रकाशचंद सेठी ने अविभाजित दुर्ग जिले से राजनांदगांव को जिला बनाने की घोषणा 26 जनवरी 1973 को किया, तब से यह जिला अस्तित्व में आया है, राजनांदगांव जिला छत्तीसगढ़ के अंचल में स्थित पश्चिम भाग में स्थित छ.ग. राज्य का सबसे बड़ा जिला जो वर्तमान में दुर्ग संभाग के अंतर्गत आता है। 1973 में कुल भौगोलिक क्षेत्रफल 11127 वर्ग किमी था। वर्तमान में कुल भौगोलिक क्षेत्रफल 8022.5 वर्ग किमी है। जिले का विस्तार 20°70' से 22°29' उत्तरी अक्षांश तथा 80°23' से 81°29' पूर्वी देशांतर के मध्य है, समुद्रतल से औसत ऊँचाई 330°78 मीटर इसकी उत्तर से दक्षिण लम्बाई 148.4 कि.मी. तथा पूर्व पश्चिम लम्बाई 89 कि.मी. है। जिले की कुल जनसंख्या 2001 के अनुसार 1283224 थी, जो बढ़कर 2011 में 1537133 हो गई, इसी प्रकार जिले के अधिकांश तहसीलों में जनसंख्या वृद्धि हुई है, वर्ष 2011 की जनगणना के अनुसार सर्वाधिक जनसंख्या राजनांदगांव तहसील में तथा सबसे कम मोहला तहसील में दर्ज की गई है।

छ.ग. अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम का परिचय कार्य एवं उद्देश्य :-

भारत सरकार द्वारा संविधान में उल्लेखित अनुच्छेदों के तहत घोषित अनु.जाति, अनु.जन.जाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक एवं सफाई कामगारों (लक्षित वर्ग) के लोगों को स्वरोजगार एवं वित्तीय सहायता प्रदान करने के उद्देश्य से छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम का गठन म.प्र. सहकारी सोसायटी (पुनर्गठन एवं निर्माण) अध्यादेश क्रमांक 04 सन् 2000 के अंतर्गत दिनांक 30.10.2000 को किया गया छ.ग. में कुल आबादी 32% अनुसूचित जनजाति एवं 13% अनुसूचित जाति वर्ग का है, इन दोनों को विशेष ध्यान में रखते हुए इनके आर्थिक विकास एवं गरीबी रेखा से नीचे के अंतिम छोर के व्यक्ति को वित्तीय सहायता दिलाकर स्वालम्बी बनाने के उद्देश्य पर निगम छ.ग. प्रदेश एवं राजनांदगांव जिले में विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन कर रहा है। इसके अतिरिक्त पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक वर्ग, सफाई कामगारों की मुक्ति एवं पुर्नबास के लिए आर्थिक मूलक योजनाओं के दायित्व का निर्वहन निगम कर रहा है। बेरोजगार युवकों में व्यवसायिक मानसिकता विकसित करने के उद्देश्य से व्यवसाय पूर्व प्रशिक्षण देने के लिए उद्यमी विकास संस्थान एवं प्रशिक्षण सह-उत्पाद केन्द्र का विलय छ.ग. राज्य अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित में किया गया है।

लक्षित वर्ग समूह – छ.ग. राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम द्वारा लक्षित वर्ग समूह वर्ग समूह के अंतर्गत अनु. जाति, अनुसूचित जनजाति, पिछड़ा वर्ग, अल्पसंख्यक वर्ग एवं सफाई कामगार वर्ग को शामिल किया गया है, इन वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास हेतु विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन निगम कर रहा है।

अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम की लक्षित वर्गों के लिए जिले में संचालित विभिन्न योजनाओं एवं उनका क्रियान्वयन बाबद— राजनांदगांव जिले में लक्षित वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास को ध्यान में रखते हुए छ.ग. अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित राष्ट्रीय वित्त पोषक निगमों के सहयोग से अलग-अलग वर्गों के हितार्थ संचालित विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन सफलतापूर्वक कर रहा है, राष्ट्रीय वित्त पोषक निगमों में प्रमुख (1) राष्ट्रीय अनुसूचित जाति वित्त एवं विकास निगम (2) राष्ट्रीय अनुसूचित जनजाति वित्त एवं विकास निगम (3) राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग वित्त एवं विकास निगम (4) राष्ट्रीय अल्प संख्यक वित्त एवं विकास निगम (5) राष्ट्रीय सफाई कामगार वित्त एवं विकास निगम है, इन लक्षित वर्गों के लिए संचालित योजनाएँ निम्नानुसार हैं—

- 1. अनुसूचित जाति –** अनुसूचित जाति वर्ग के हितग्राहियों को आर्थिक रूप से सशक्त करने हेतु संचालित योजनाएँ (1) महिला समृद्धि योजना (2) माइक्रो क्रेडिट योजना (3) ट्रेक्टर ड्राली योजना (4) स्माल बिजनेस योजना (5) गुड्स कैरियर योजना (6) पेसेन्जर व्हीकल योजना (7) शिक्षा ऋण योजना (8) लघु व्यवसाय योजना
- 2. अनुसूचित जनजाति –** अनुसूचित जनजाति वर्ग के लिये संचालित योजनाएँ (1) ट्रेक्टर ड्राली योजना (2) गुड्स कैरियर योजना (3) पेसेन्जर व्हीकल योजना (4) आदिवासी महिला सशक्तिकरण योजना (5) स्माल बिजनेस योजना (6) शिक्षा ऋण योजना
- 3. राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग—** राष्ट्रीय पिछड़ा वर्ग के लिए संचालित योजनाएँ (1) टर्म लोन योजना (2) माइक्रो क्रेडिट योजना (3) जनरल लोन योजना (4) नई स्वर्णिम योजना (5) आकांक्षा शैक्षिक ऋण योजना (6) महिला समृद्धि योजना
- 4. अल्पसंख्यक वर्ग—** अल्पसंख्यक वर्ग के लिए संचालित योजनाएँ (1) टर्म लोन योजना (2) शैक्षिक ऋण योजना (3) लघु वित्त (माइक्रो फायनेन्स) योजना (4) महिला समृद्धि योजना (5) व्यक्ति मूलक बड़ी ऋण योजना
- 5. सफाई कामगार वर्ग—** सफाई कामगार वर्ग के लिए योजनाएँ (1) व्यक्ति मूलक योजना (2) आटो शिक्षा योजना (3) स्वच्छता से संबंधित वाहन योजना (4) सेनेटरी मार्ट योजना (5) महिला समृद्धि योजना (6) माइक्रो क्रेडिट योजना (7) महिला अधिकारिकता योजना आदि का क्रियान्वयन निगम द्वारा किया जा रहा है। जिला अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम मर्यादित राजनांदगांव द्वारा वर्ष 2000 से 2016 तक वर्गवार योजनाओं में वितरित राशि के आंकड़े निम्न तालिका अनुसार हैं—

वर्गवार योजनाओं के आंकड़े (वर्ष 2000 से जून 2016 तक) राशि लाख रुपये में

क्रमांक	विवरण	वितरित राशि	वसूल की गई राशि	बकाया राशि	वसूली का प्रतिशत
01	अनुसूचित जाति वर्ग	32767840	18598430	14169410	56.75%
02	अनुसूचित जनजाति वर्ग	50337405	25650839	24686566	50.95%
03	पिछड़ा वर्ग	7304968	3823932	3481036	52.35%
04	अल्पसंख्यक वर्ग	5003145	1515493	3487653	30.29%
05	सफाई कामगार वर्ग	12851766	2256663	10596103	17.55%
योग –		108265124	51844357	5642767	47.88%

स्त्रोत – अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम राजनांदगांव (छ.ग.)

उपरोक्त तालिका से स्पष्ट है कि जिला अंत्यावसायी वित्त विकास निगम राजनांदगांव द्वारा जिले में लक्षित वर्गों को आर्थिक एवं सामाजिक विकास की दृष्टि से विभिन्न योजनाओं के माध्यम से आर्थिक सहायता उपलब्ध कराई गई जिससे अनुसूचित जाति, अनुसूचित जनजाति, पिछड़ा वर्ग का वसूली प्रतिशत क्रमशः 56.75%, 50.95%, 52.35%, है जो अन्य वर्गों की तुलना में सर्वाधिक है, इसका कारण इन वर्गों का शिक्षित एवं जागरूक होना दर्शाता है वहीं अल्पसंख्यक तथा सफाई कामगारों क्रमशः 30.29 एवं 17.55 % रहा है। ऋण का प्रतिशत कम होने से जिले में निगम की राशि विभिन्न राष्ट्रीय निगमों को समय पर वापस करने में कठिनाई होती है, जिले में कुल वसूली का प्रतिशत 47.88% है जो कि निगम द्वारा संचालित योजना के सफल क्रियान्वयन से सभी वर्गों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास संभव हो सका है।

समस्या एवं सुझाव –

लक्षित वर्गों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योजनाओं के क्रियान्वयन में जिला अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम की महत्वपूर्ण भूमिका रही है, विषय के अध्ययन विश्लेषण के समय हमें कई चुनौतियों एवं कठिनाइयों का सामना करना पड़ा है, योजनाओं के क्रियान्वयन में हितग्राहियों की अशिक्षा, निष्ठा, प्रतिबद्धता, कर्मठता, इच्छा शक्ति तथा योजनाओं की सही जानकारी का हितग्राहियों तक सही समय एवं सही परिस्थितियों में नहीं पहुँच पाना तथा इसका ज्ञान न होना निर्धारित समय पर लक्ष्य की पूर्ति न होना वसूली का शत-प्रतिशत नहीं होना, वसूली में विलम्ब जैसी प्रमुख समस्या पायी गई है, निगम के कर्मचारी, अधिकारी का भी सहयोग एवं समन्वय का आभाव रहा है, निगम की योजनाएँ आर्थिक विकास अर्थात् ऋण वितरण से संबंधित होने के कारण वितरण प्रक्रिया में जटिलता से भी हितग्राही योजना का सही लाभ उठाने में असमर्थ रहे हैं, निगम की विभिन्न योजनाओं के क्रियान्वयन का लक्षित वर्गों के आर्थिक सामाजिक विकास पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा एवं उनकी स्थिति सुदृढ़ वसूली हो इसके लिए निम्नलिखित सुझाव प्रस्तुत है –

सुझाव –

1. हितग्राहियों को सरलता से ऋण उपलब्ध हो सके इसके लिए ऋण लेने की औपचारिकता को कम करने की आवश्यकता है।
2. निगम द्वारा ऋण वितरण, ऋण वसूली की प्रक्रिया को सरल बनाना चाहिए।
3. योजनाओं का व्यापक प्रचार-प्रसार किया जाना चाहिए जिससे कि हितग्राहियों द्वारा योजनाओं को अधिक लाभ उठाया जा सके।
4. ऋण पर ब्याज दर में कमी करना आवश्यक है ताकि हितग्राहियों को अधिक भार उठाना ना पड़े।
5. हितग्राहियों को प्रोत्साहन स्वरूप कुछ अतिरिक्त सुविधाएँ प्रदान करनी चाहिए।
6. आवेदकों के चयन प्रक्रिया पूर्ण रूप से पारदर्शी होनी चाहिए, जिससे योग्य, ईमानदार, परिश्रमी, लगनशील दृढ़ ईच्छाशक्ति एवं कर्मठ व्यक्ति का चयन हो ताकि ऋण की राशि का सही उपयोग हो सके।
7. निगम द्वारा योजनाओं के क्रियान्वयन की जवाबदेयता तय होनी चाहिए।
8. निगम की कुछ योजनाओं पर ब्याज मुक्त ऋण दिया जाए ताकि अधिक से अधिक हितग्राही आकर्षित हो सके।

निष्कर्ष –

वर्तमान समय में बेरोजगारी पूरे विश्व में प्याप्त है। अनु.जाति, जनजाति, पिछड़ा वर्ग एवं अल्प संख्यक एवं सफाई कामगारों ने बेरोजगारी की समस्या को समाप्त करने तथा इस वर्ग के हितग्राहियों को स्वरोजगार प्रदान करने के दृश्य से छ.ग. अंत्यावसायी सहकारी वित्त एवं विकास निगम विभिन्न योजनाओं का क्रियान्वयन कर रही है। निगम विभिन्न योजनाओं के माध्यम से लक्षित वर्गों को वित्तीय सहायता प्रदान कर रही है। इन योजनाओं का लक्षित वर्ग पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा है, साथ ही जिले के लक्षित वर्गों की सामाजिक, आर्थिक, शैक्षणिक स्थिति सुदृढ़ हुई साथ ही रोजगार, स्वरोजगार के अवसर उपलब्ध हुए। इन योजनाओं के क्रियान्वयन से लक्षित वर्गों के जीवन स्तर में सुधार आया है और वे विकास की मुख्यधारा से जुड़कर आर्थिक रूप से सक्षम बन रहे हैं। इन वर्गों के आर्थिक रूप से विकसित होने से समाज का, गांव का, जिले का, राज्य का एवं राष्ट्र का भी विकास हो रहा है।

संदर्भ सूची –

1. जिला अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम राजनांदगांव द्वारा प्रकाशित पुस्तिका।
2. मिनी माता स्वालम्बन योजना सफलता की कहानी 2012।
3. राष्ट्रीय अनुसूचित जाति, जनजाति वित्त एवं विकास निगम नई दिल्ली।
4. सफाई कामगार समुदाय खुदशाह संजीव रामकृष्ण प्रकाशन नई दिल्ली।
5. छ.ग. राज्य अंत्यावसायी वित्त एवं विकास निगम रायपुर मार्गदर्शिका।
6. आदिवासी स्वरोजगार योजना मार्गदर्शिका।
7. जिला सांख्यिकी पुस्तिका 2014।
8. रिसर्च लिंक मार्च-2018।
9. डॉ. शांता शुक्ला, छत्तीसगढ़ सामाजिक आर्थिक इतिहास।
10. आदिवाल चंद्रमोहन आदिवासी हरिजन आर्थिक विकास, नारदन बुक सेंटर, इलाहाबाद।
11. जिला राजनांदगांव की विकास झलक – 2014

AN ANALYSIS ON TRANSPERANCY OF PUBLIC DISTRIBUTION SYSTEM

Ms. Taruna Verma Ph.D Research Scholar Department of Commerce Govt. Digvijay Autonomous PG College, Rajnandgaon, Chhattisgarh India

Dr. H. S. Bhatia Assistant Professor Department of Commerce Govt. Digvijay Autonomous PG College, Rajnandgaon Chhattisgarh India

Dr. Divya Pawar Ph.D Research Scholar Department of Commerce Govt. Digvijay Autonomous PG College, Rajnandgaon, Chhattisgarh India

1.Abstract:

To ensure the transparency in PDS, the work of computerization of the PDS started in the year 2007. All the activities of the PDS have been computerized. All the district food offices have been connected to the state headquarter through the internet for computerization of PDS. For the allocation of ration materials, a database of all 12,451 FPS of the state has been prepared and on the basis of the ration cards attached to them, the allocation of shop wise ration material is being issued by food directorate through January 2008. In the financial year 2020-21 total 12,072 FPS has been computerized through android based tablet. Information about distribution of ration materials is available online to ration card holder by computerization up to FPS level. PDS has become more robust and transparent with this system.

Key words: PDS: - Public Distribution System, FPS: - Fair Price Shop,

2.Introduction:

The implementation of PDS has ensured food security in the state. Under the PDS food grain and other essential commodities are provided to the economically weaker section of the society at the subsidized rate. In the state, the essential commodities like food grain, sugar, kerosene, salt and gram are made available through the PDS by the department of 'Food civil supplies and consumer protection' at the subsidized rate through FPS. PDS is being implemented in the state through 130 PDS supply centers and 12,451 FPS of civil supplies corporation. Under the PDS about 67.11 lakh ration card holders are being distributed ration material according to the type of criteria of their ration card.

3.Research Methodology:

3.1 Objective of the Study

1. To know the PDS in brief.
2. To study about transparency under PDS.
3. To know the facilities available to people in PDS

3.2 Hypothesis of the Study

Ho: - There is significantly no any problem face by people in online payment under PDS.

H1:- There is significantly many problems faced by people in online payment under PDS.

Ho: - There is significantly no need to improvement in PDS regarding management.

H1:- There is significantly need to some improvement in PDS regarding management.

3.3 Nature of the study:

This study is descriptive in nature, which describes about certain facilities provide under PDS in Chhattisgarh state.

3.4 Sources of data collection:

In this study, all the data/numerical contents are collected from secondary source of data collection i.e. News Paper and from Economic Survey 2020-21.

3.5 Limitation of the study

In this study, data is collected from secondary source only and this study covers Chhattisgarh State only.

4. Steps taken by state government for transparency of PDS in Chhattisgarh state

4.1 Paddy procurement computerization by food department

In the kharif year 2007-08, the entire system of paddy procurement has been computerized and every year, regular improvements are being made to the experience of paddy procurement and to solve the problem faced. In the current kharif year, the work of paddy procurement is being done in 2310 paddy procurement centers of the state through computerized arrangement from farmers of the state.

In this kharif year 21.48 lac farmers have been registered to sell paddy at the support price. The information of the paddy acreage estimated production etc of the registered farmers has been recorded in the software for purchasing paddy from the farmers on the support price is being paid directly to their bank account. Due to this, farmers are getting immediate payment for their produce.

4.2 Call center

In order to increase transparency and public participation in the PDS, The food department is running a call centre since January 2008. Whose contact numbers are 1967 and 1800-233-3663 (toll free). Through this, any citizen can get information about the PDS and other schemes operated by the food department and can file their complaint.

4.3 Public participation website

Public participation website (<http://khadya.cg.nic.in/citizen.citizenhome.aspx>) is a new experiment of state government. Any citizen can register for free on this website. After registration, the facility of sending complains and suggestions related to the food department will be available to citizens through email. After this registration by citizens SMS, registration can be done through ration shop for information.

5. Problems faced by consumers and shopkeeper regarding online PDS

There is no any facility of online payment in ration shops. People are not getting online facility from the ration shop of the state. There is many ration shops in each district of the state which have not online payment facility are given below:-

SN.	District	Total shop	No facility	SN.	District	Total shop	No facility
1.	Bemetara	456	123	15.	Baloda Bazar	668	442
2.	Durg	635	405	16.	Mahasamund	590	114
3.	kawardha	497	497	17.	Raipur	586	341
4.	Rajnandgaon	886	793	18.	Dhamtari	409	230
5.	Balod	446	219	19.	Gariyaband	351	255
6.	Koria	408	236	20.	Kondagaon	389	384
7.	Surajpur	509	429	21.	Narayanpur	112	108
8.	Balrampur	474	380	22.	Sukma	166	166
9.	Sarguja	506	373	23.	Bilaspur	651	607
10.	Jashpur	476	299	24.	GPM	197	197
11.	Bastar	477	387	25.	Janjgir champa	701	571
12.	Bijapur	188	188	26.	Korba	477	314
13.	Dantewada	152	132	27.	Mungeli	397	288
14.	Kanker	485	442	28.	Raigarh	674	573

Source :- Dainik Bhaskar 13/5/22

There are more than 13000 ration shops in the state, out of which 9500 do not have the facility to deposit the amount online after taking ration, whereas the government has given instructions to download 'DigiDhan' software for this in all ration shops. Despite this, people are not getting its facility even in half of the ration shops of the state. At the same time, the condition of the state capital is not very good. In this case, out of 586 shops in the capital, 341 do not have this facility, due to which the beneficiaries either have to pay more amount or the ration shop operators are not returning the amount to the people even after taking the amount. In such a situation, it is necessary to install 'DigiDhan' software in all ration shops but still the installation is not being done.

On other way, in this study, we also find that the ration shop operators, the beneficiaries are also getting upset due to the problem of the server because the new system is not working properly till now. At the same time, there is a claim of improvement in it, but still the improvement is not being done, due to which, people are facing problems.



Source: Dainik Bhaskar 15/3/22

Suggestion and Conclusion

There is need to do more focus on PDS online system for their transparency. Because of the many practices, people are facing many problems in online payment and due to server problem. There is need to improve the connectivity and server. And strictly order the shop operators to make online payment.

But, in this study, we can also see that, Government of Chhattisgarh state, continuous trying to make a transparent PDS, for this purpose, Food department starts computerization in paddy procurement and arranges call centers, Public participation website, launched 'DigiDhan' software But, due to involvement of large number of people, and lack of technological knowledge some major problems are always happen in system. But according to this study, we can say that, Chhattisgarh state is performing not purely transparent system. but, government is continuous trying to do their best. but there is need to more focus on supervision for this system. because there is absence of proper supervision many schemes are not executed properly.

REFERENCE :-

1. Pandhare Rashmi (March 2016) :- “Modern Public Distribution System for Digital India”, International research journal of engineering and technology (IRJET), Volume 3, Issue 3, e-ISSN – 2395-0056
2. Kour Ramandeep (2014) :- “Effectiveness of Public Distribution System in Jammu & Kashmir, Socrates, Volume – 2, Issue – 2, ISSN – 2347-2146 (P)
3. Chhabra Varun (2017) :- Technology Adoption in the Public Distribution System of Chhattisgarh, India; Analysis of factor that facilitate the transition of technology utilization of food distribution; Iowa state university.
4. Kumari Lavanya D. and Kumari Santha K.(May 2015) :- “Public Distribution System in India : An Overview”, India Journal of applied research, Volume – 5, Issue – 5, ISSN – 2249-555X

Books :- Chhattisgarh Economic Survey 2020-21

AN ANALYSIS ON TRANSPERANCY OF PUBLIC DISTRIBUTION SYSTEM

Ms. Taruna Verma Ph.D Research Scholar Department of Commerce Govt. Digvijay Autonomous PG College, Rajnandgaon, Chhattisgarh India

Dr. H. S. Bhatia Assistant Professor Department of Commerce Govt. Digvijay Autonomous PG College, Rajnandgaon Chhattisgarh India

Dr. Divya Pawar Ph.D Research Scholar Department of Commerce Govt. Digvijay Autonomous PG College, Rajnandgaon, Chhattisgarh India

1.Abstract:

To ensure the transparency in PDS, the work of computerization of the PDS started in the year 2007. All the activities of the PDS have been computerized. All the district food offices have been connected to the state headquarter through the internet for computerization of PDS. For the allocation of ration materials, a database of all 12,451 FPS of the state has been prepared and on the basis of the ration cards attached to them, the allocation of shop wise ration material is being issued by food directorate through January 2008. In the financial year 2020-21 total 12,072 FPS has been computerized through android based tablet. Information about distribution of ration materials is available online to ration card holder by computerization up to FPS level. PDS has become more robust and transparent with this system.

Key words: PDS: - Public Distribution System, FPS: - Fair Price Shop,

2.Introduction:

The implementation of PDS has ensured food security in the state. Under the PDS food grain and other essential commodities are provided to the economically weaker section of the society at the subsidized rate. In the state, the essential commodities like food grain, sugar, kerosene, salt and gram are made available through the PDS by the department of 'Food civil supplies and consumer protection' at the subsidized rate through FPS. PDS is being implemented in the state through 130 PDS supply centers and 12,451 FPS of civil supplies corporation. Under the PDS about 67.11 lakh ration card holders are being distributed ration material according to the type of criteria of their ration card.

3.Research Methodology:

3.1 Objective of the Study

1. To know the PDS in brief.
2. To study about transparency under PDS.
3. To know the facilities available to people in PDS

3.2 Hypothesis of the Study

Ho: - There is significantly no any problem face by people in online payment under PDS.

H1:- There is significantly many problems faced by people in online payment under PDS.

Ho: - There is significantly no need to improvement in PDS regarding management.

H1:- There is significantly need to some improvement in PDS regarding management.

3.3 Nature of the study:

This study is descriptive in nature, which describes about certain facilities provide under PDS in Chhattisgarh state.

3.4 Sources of data collection:

In this study, all the data/numerical contents are collected from secondary source of data collection i.e. News Paper and from Economic Survey 2020-21.

3.5 Limitation of the study

In this study, data is collected from secondary source only and this study covers Chhattisgarh State only.

4. Steps taken by state government for transparency of PDS in Chhattisgarh state

4.1 Paddy procurement computerization by food department

In the kharif year 2007-08, the entire system of paddy procurement has been computerized and every year, regular improvements are being made to the experience of paddy procurement and to solve the problem faced. In the current kharif year, the work of paddy procurement is being done in 2310 paddy procurement centers of the state through computerized arrangement from farmers of the state.

In this kharif year 21.48 lac farmers have been registered to sell paddy at the support price. The information of the paddy acreage estimated production etc of the registered farmers has been recorded in the software for purchasing paddy from the farmers on the support price is being paid directly to their bank account. Due to this, farmers are getting immediate payment for their produce.

4.2 Call center

In order to increase transparency and public participation in the PDS, The food department is running a call centre since January 2008. Whose contact numbers are 1967 and 1800-233-3663 (toll free). Through this, any citizen can get information about the PDS and other schemes operated by the food department and can file their complaint.

4.3 Public participation website

Public participation website (<http://khadya.cg.nic.in/citizen.citizenhome.aspx>) is a new experiment of state government. Any citizen can register for free on this website. After registration, the facility of sending complains and suggestions related to the food department will be available to citizens through email. After this registration by citizens SMS, registration can be done through ration shop for information.

5. Problems faced by consumers and shopkeeper regarding online PDS

There is no any facility of online payment in ration shops. People are not getting online facility from the ration shop of the state. There is many ration shops in each district of the state which have not online payment facility are given below:-

SN.	District	Total shop	No facility	SN.	District	Total shop	No facility
1.	Bemetara	456	123	15.	Baloda Bazar	668	442
2.	Durg	635	405	16.	Mahasamund	590	114
3.	kawardha	497	497	17.	Raipur	586	341
4.	Rajnandgaon	886	793	18.	Dhamtari	409	230
5.	Balod	446	219	19.	Gariyaband	351	255
6.	Koria	408	236	20.	Kondagaon	389	384
7.	Surajpur	509	429	21.	Narayanpur	112	108
8.	Balrampur	474	380	22.	Sukma	166	166
9.	Sarguja	506	373	23.	Bilaspur	651	607
10.	Jashpur	476	299	24.	GPM	197	197
11.	Bastar	477	387	25.	Janjgir champa	701	571
12.	Bijapur	188	188	26.	Korba	477	314
13.	Dantewada	152	132	27.	Mungeli	397	288
14.	Kanker	485	442	28.	Raigarh	674	573

Source :- Dainik Bhaskar 13/5/22

There are more than 13000 ration shops in the state, out of which 9500 do not have the facility to deposit the amount online after taking ration, whereas the government has given instructions to download 'DigiDhan' software for this in all ration shops. Despite this, people are not getting its facility even in half of the ration shops of the state. At the same time, the condition of the state capital is not very good. In this case, out of 586 shops in the capital, 341 do not have this facility, due to which the beneficiaries either have to pay more amount or the ration shop operators are not returning the amount to the people even after taking the amount. In such a situation, it is necessary to install 'DigiDhan' software in all ration shops but still the installation is not being done.

On other way, in this study, we also find that the ration shop operators, the beneficiaries are also getting upset due to the problem of the server because the new system is not working properly till now. At the same time, there is a claim of improvement in it, but still the improvement is not being done, due to which, people are facing problems.

ऐसा है हाल- अंगूठा लगाने पर नहीं हो रहा मैच, कई जगह थम्ब अपलोड होने में आ रही दिक्कत
पीडीएस का सर्वर 15 दिन से खराब, तीन घंटे ही वितरण, 300 की बजाय 35 लोगों को ही राशन

राजधानी सहित प्रदेशभर में राशन अडमिशन से लेकर वितरण की व्यवस्था ऑनलाइन करने के बावजूद लोगों को परेशानियों हो रही हैं।

राशन दुकानों में सर्वर ठीक रहने से मात्र 300 से ज्यादा लोगों को एक दिन में राशन प्राप्त हो रहा है। राशन के लिए खंटे करना पड़ रहा है। राशन दुकानों में सर्वर ठीक रहने से मात्र 300 से ज्यादा लोगों को एक दिन में राशन प्राप्त हो रहा है। राशन के लिए खंटे करना पड़ रहा है।

टैब के जरिए वितरण की पुरानी व्यवस्था की बंद, नई व्यवस्था में आए दिन सर्वर त्रुटि समस्या

राशन दुकानों में सर्वर ठीक रहने से मात्र 300 से ज्यादा लोगों को एक दिन में राशन प्राप्त हो रहा है। राशन के लिए खंटे करना पड़ रहा है। राशन दुकानों में सर्वर ठीक रहने से मात्र 300 से ज्यादा लोगों को एक दिन में राशन प्राप्त हो रहा है। राशन के लिए खंटे करना पड़ रहा है।

जिला, क्या हो रही है दिक्कत और किस तरह लोग हो रहे हैं परेशान

आज दिवस सर्वर में आ रही समस्या से लोग परेशान हैं। राशन दुकानों में सर्वर ठीक रहने से मात्र 300 से ज्यादा लोगों को एक दिन में राशन प्राप्त हो रहा है। राशन के लिए खंटे करना पड़ रहा है। राशन दुकानों में सर्वर ठीक रहने से मात्र 300 से ज्यादा लोगों को एक दिन में राशन प्राप्त हो रहा है। राशन के लिए खंटे करना पड़ रहा है।

आज दिवस सर्वर में आ रही समस्या से लोग परेशान

राशन दुकानों में सर्वर ठीक रहने से मात्र 300 से ज्यादा लोगों को एक दिन में राशन प्राप्त हो रहा है। राशन के लिए खंटे करना पड़ रहा है। राशन दुकानों में सर्वर ठीक रहने से मात्र 300 से ज्यादा लोगों को एक दिन में राशन प्राप्त हो रहा है। राशन के लिए खंटे करना पड़ रहा है।

Source: Dainik Bhaskar 15/3/22

Suggestion and Conclusion

There is need to do more focus on PDS online system for their transparency. Because of the many practices, people are facing many problems in online payment and due to server problem. There is need to improve the connectivity and server. And strictly order the shop operators to make online payment.

But, in this study, we can also see that, Government of Chhattisgarh state, continuous trying to make a transparent PDS, for this purpose, Food department starts computerization in paddy procurement and arranges call centers, Public participation website, launched 'DigiDhan' software But, due to involvement of large number of people, and lack of technological knowledge some major problems are always happen in system. But according to this study, we can say that, Chhattisgarh state is performing not purely transparent system. but, government is continuous trying to do their best. but there is need to more focus on supervision for this system. because there is absence of proper supervision many schemes are not executed properly.

REFERENCE :-

1. Pandhare Rashmi (March 2016) :- "Modern Public Distribution System for Digital India", International research journal of engineering and technology (IRJET), Volume 3, Issue 3, e-ISSN – 2395-0056
2. Kour Ramandeep (2014) :- "Effectiveness of Public Distribution System in Jammu & Kashmir, Socrates, Volume – 2, Issue – 2, ISSN – 2347-2146 (P)
3. Chhabra Varun (2017) :- Technology Adoption in the Public Distribution System of Chhattisgarh, India; Analysis of factor that facilitate the transition of technology utilization of food distribution; Iowa state university.
4. Kumari Lavanya D. and Kumari Santha K.(May 2015) :- "Public Distribution System in India : An Overview", India Journal of applied research, Volume – 5, Issue – 5, ISSN – 2249-555X

Books :- Chhattisgarh Economic Survey 2020-21

ANALYTICAL STUDY OF PRADHAN MANTRI MUDRA YOJANA IN RAJNANDGAON BLOCK.

Dr H.S Bhatia, Dr Divya Pawar Govt. Digvijay College Rajnandgaon
Taruna Verma Research Scholar Govt. Digvijay College Rajnandgaon

Introduction

Finance is one of the most important things to fight against poverty and provide opportunities to grow a business. Financial inclusion is one of the most treasured strategies in India. Our monetary arrangements have dependably been driven by a basic plan of a practical and comprehensive development. The concept of financial was first introduced by the governor of RBI Shri Y.V Reddy in year 2005. Financial inclusion means process of ensuring access to appropriate financial service to all the section at an affordable rate. Government of India has been introduced a number of financial initiatives such as Pradhan mantri mudra yojana (PMMY), Pradhan mantri jeewan Jyoti bema yojana (PMJJBY), Pradhan mantra jan dhan yojana (PMJDY), Atal pension yojana (APY), and Pradhan mantri surakhsha bema yojana (PMSBY) etc..This loan facility has been provided for the low income group and small business enterprises and weaker section of the society which help to grow a firm and even also help a new start up.

Loan Categories under Prime Minister Mudra yojana

Sl No.	Categories	Loan Amount
1	Shishu	Upto 50,000
2	Kishore	50,001 to 5 lakh
3	Tarun	5,00,001 to 10 lakh

Shishu – This is for starter or small entrepreneur under this scheme the leading amount will be Rs 50,000/- . That means if anyone want to start a new business then he/she will get a loan cover up to Rs 50,000.

Kishore Loan Scheme- This scheme is ment for the mid-level business organization .If you have set your business then you may receive a term loan from Rs. 50,000/- to Rs. 5 lakh from MUDRA for further expansion and growth.

Tarun loan scheme- This is the next level scheme and it for those business /manufacturing organization who wish to have a large and better business setup. The loan provided in this scheme will cover a sum of rupees from Rs.5 lakh to Rs. 10 lakh.

Hypothesis of the study

1) **H₀₁** – There is no role of MUDRA loan scheme on uplifting the Micro, small, medium Enterprises.

H_{A1} – There is role of MUDRA loan scheme on uplifting the Micro, small, medium Enterprises..

2) **H₀₁** -MUDRA loan is not financing more capital to enterprises (New/Existing) other then any loan scheme.

H_{A1} - MUDRA loan financing more capital to enterprises (New/Existing) other then any loan scheme.

Area of the study

My research area is Rajnandgaon district. The present study attempts to study ‘**Analytical study of pradhan mantra mudra yojana**’ at rajnandgaon district with having a 9 block.

Limitation of the study

- 1) Time constrain while collecting the secondary data.
- 2) All the data cannot be generalized.

Eligibility ceritiory

MUDRA LOAN ELIGIBILITY	
MUDRA LOAN ELIGIBILITY	last Update 11th June 2021
Minimum Age	18 year
Maximum Age	65 year
Who all can avail loan	Loans can be availed by new and existing units
Collateral	No collateral or third party security is required
Lending institutions eligible	Public sector banks , private sector bank, regional Rural banks micro finance institutions.
Document	Identity proof, residence proof application form and passport size photos.

Progress made under Pradhan mantri mudra yojana

Data collected from all PSBs shows that disbursement of Rs. 33,000 crore (approx.) was made during 2014-15. With the intervention of MUDRA, amount of disbursement to same category of loans was Rs. 56126 crore in 2015-16. Total disbursement of Rs. 132954 Crore was made against the target of Rs.122188 crore by the Banks and MFIs together. The share of the disbursement by different MLIs in terms of no of accounts and amount disbursed is being depicted by the pie graph in figure 3(a) and 3(b). loans. For the rest time MFIs were directly involved for implementing government scheme and these group of institutions have performed well. 38 NBFC-MFIs and 10 MFIs are partnering with MUDRA. With the launch of MUDRA, cost of fund of NBFC-MFIs has come down and within a year. The top 10 NBFC-MFIs have a weighted average interest rate of 23.13%, far below the 26% max cap prescribed by RBI. Over 36 NBFC-MFIs have reduced rates significantly in the last financial year itself. SKS Microfinance, one of the biggest NBFC-MFIs has reduced its rate of interest charged from borrowers to 19.76%. Interest rate of 19.76 percent is the lowest rate charged by any private sector MFI in the world. A Renance facility of MUDRA is being availed by NBFC-MFIs and has helped in reduction of cost of fund of NBFC-MFIs. Government of India has set a target of Rs.1, 80,000 crore for FY 2016-17. Out of which, NBFC-MFIs have been given a target of Rs.64, 240 crore.

PMMY during 2019-20

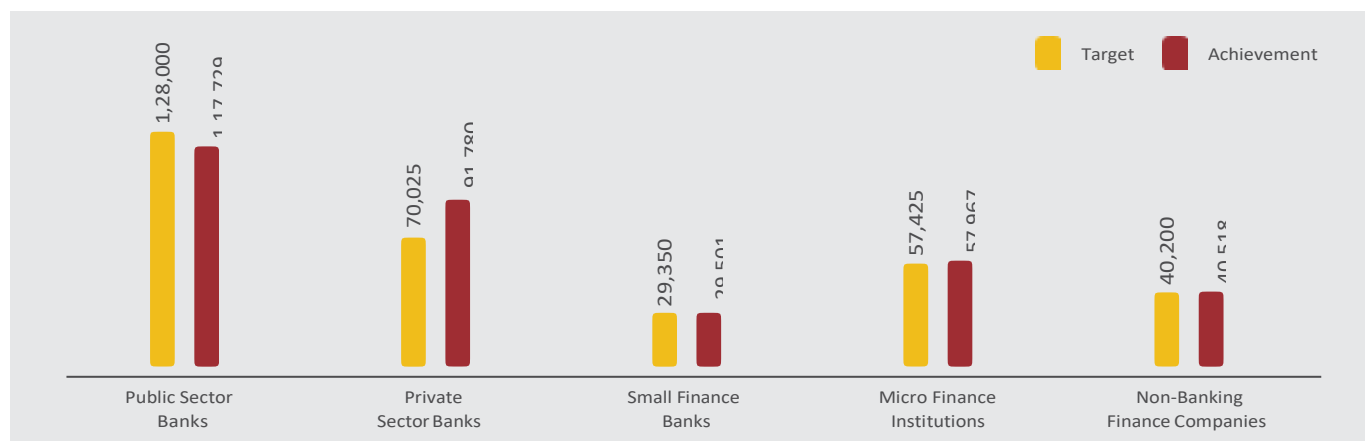
Agency-wise Achievement The target set by the Government of India under PMMY for the year 2019-20 was `3.25 lakh crore which was distributed across various lending institutions, banks, MFIs and NBFCs based on their outreach and presence in various parts of the country. The category-wise performance against their overall targets for the year 2019-20 is as under:

Agency-wise performance

Category	Target (2019-20)	Sanction Amt. (2019-20)	Sanction Amt.(2018-19)	Growth
Public Sector Banks (incl. Regional RuralBanks)	1,28,000	1,17,729 (92%)	1,17,282	7%

Private Sector Banks (incl. Foreign Banks)	70,025	91,780 (132%)	64,037	43%
Small Finance Banks	29,350	29,501 (101%)	29,794	-1%
Micro Finance Institutions	57,425	57,967 (101%)	63,471	-9%
Non-Banking Finance Companies	40,200	40,518 (101%)	47,137	-14%
Total	3,25,000	3,37,495 (104%)	3,21,721	5%

Target vs Achievement in `crore



The achievement data indicates 5% growth over the previous year in the overall performance of the programme implemented by all the lending institutions. While the growth in respect of Public Sector Banks was moderate at 7%, the same increased significantly by 43% for Private Sector Banks. Among the Public Sector Banks, State Bank of India (SBI), with sanction of ` 35,125 crore to 36.76 lakh accounts topped the table. SBI was followed by Bank of Baroda and Canara Bank with sanction figures of ` 10,282 crore and ` 9,489 crore respectively. The Private Sector Banks recorded considerable improvement in performance with a sanction of ` 91,780 crore during the year, registering 43% growth over the previous year. This was mainly on account of merger of SKS Microfinance (Bharat Finance Ltd.) with IndusInd Bank, who topped the list with sanction of ` 38,199.43 crore grabbing over 41% of the aggregate sanctions by Private Sector Banks. The other major contributors in the private sector banks category were Bandhan Bank and IDFC Bank. Merger of SKS Microfinance (Bharat Finance Ltd.) with IndusInd Bank resulted in lower performance of MFI category during FY 2019-20, registering a decline by 9% to the previous FY. MFIs sanctioned a total Loan amount of ` 57,967 crore to 1.96 crore Borrowers. Credit Access Grameen Limited was the leading MFI with a sanction amount of ` 7,598 crore in more than 23 lakh loan accounts. NBFCs have also emerged as a major contributor to the PMMY with a total sanction of ` 40,518 crore (12% of the total sanction amount). In this category, Fullerton India Credit Company Limited has been the highest contributor with a total sanction amount of ` 11,666 crore. Small Finance Banks achieved 101% of their target. During the year, the 10 SFBs sanctioned a total amount of ` 29,501 crore to 71.60 lakh loan accounts.

Bank Type	New Entrepreneurs	
	No. of A/c	Disbursement Amt in Cr
Public Sector Bank	3822226	35463.13
Private Sector Bank and Foreign Bank	1777400	8000.88
Regional Rural Bank	720430	5088.39
NBFC –MFI	6049094	10213.16
Non NBFC-MFI	105518	142.52
Total	12474668	58908.08

Findings & Analysis

Agency wise performance of MUDRA loans

MUDRA has enrolled institutions such as commercial banks both public sector as well as private sector banks, regional rural banks (RRBs), state/urban cooperative banks, micro-finance institutions (MFIs) and non-banking financial companies (NBFCs) as partners for refinancing against their lending to micro entrepreneurs. Since the inception of the scheme each institution that is a part of the scheme has participated actively however, the rate of growth in terms of opening of new accounts, loan sanction as well as loan disbursement varies amongst the institutions. In the present study, we have considered the amount of loan sanctioned by each institution under the scheme in order to assess their performance since the inception of the scheme. It has been observed that the highest share of the amount of loans sanctioned to

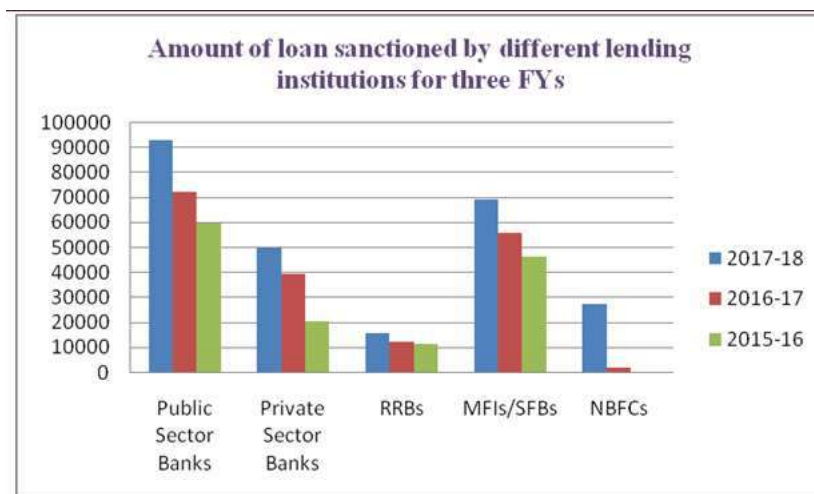
micro enterprises is of the public sector banks each year since 2015. That is, amongst all the agencies public sector banks have sanctioned the highest amount of loans under the scheme. Also, it is found that the largest growth in terms of loan sanctioned since 2015 till 2018 has been by the private sector banks. Even though they might have lesser share in the total amount of loan sanctioned but the rate of growth of the loans sanctioned by these banks has been the highest. The following table indicates the amount of loan sanctioned by different agencies for three different financial years. Table: Amount of loan sanctioned during three financial years by different lending institutions (Amount in Rs Crores)

Type of Agencies	Sanction (2017-18)	Sanction (2016-17)	Sanction (2015-16)	Growth since Inception (%)
Public Sector Banks	92,492.68 (36%)	71,953.67 (40%)	59,674.28 (43%)	55%
Private Sector Banks	49,545.11 (20%)	39,042.60 (21%)	20,445.74 (15%)	142.32%
RRBs	15,454.51 (6%)	12,009.52 (7%)	11,324.47 (8%)	36%
MFIs/SFBs^	69,166.64 (27%)	55,657.01 (31%)	46,004.78 (34%)	50%
NBFCs	27,018.16 (11%)	1,865.74 (1%)	*	134.81%
Total	2,53,677.10 (100%)	1,80,528.54 (100%)	1,37,449.27 (100%)	84.56%

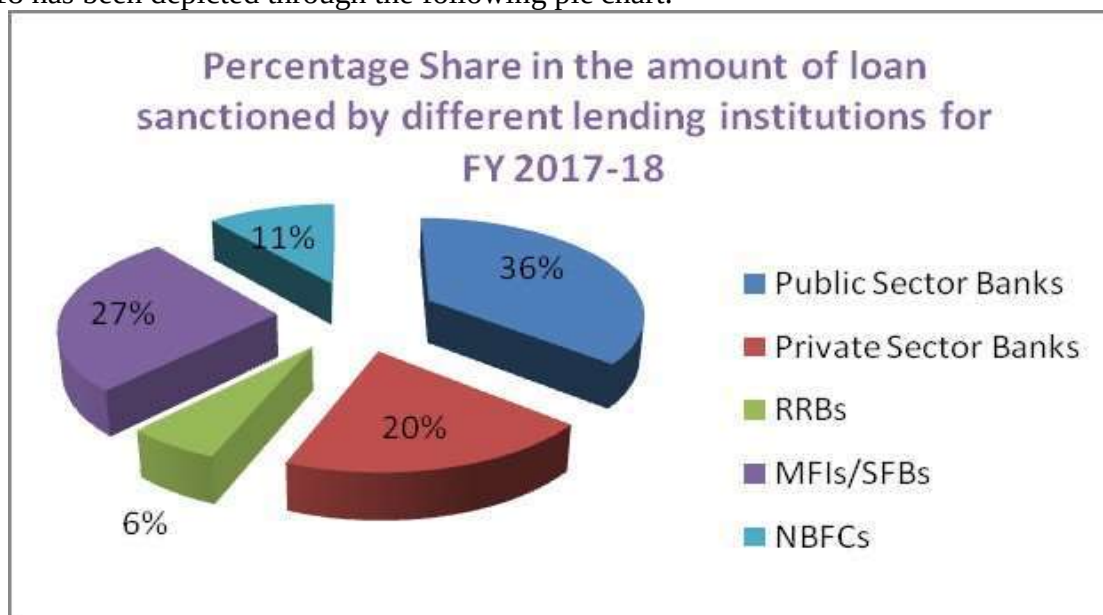
Source: www.mudra.org

The figures in the above table shows that there has been a rise in the amount sanctioned by public sector banks from Rs 59,674 crores in the FY 2015-16 to Rs 92,493 crores in the FY 2017-18 showing a 55% growth for them. MFIs and SFBs including the non-NBFC-MFIs have witnessed an

increase in the amount of loan sanctioned by Rs 23,162 crores over a period of 3 years. The amount sanctioned by private sector banks have increased drastically from Rs 20,445.74 crores in FY 2015-16 to Rs 39,042 crores in FY 2016-17 indicating a growth of 91% and an amount of Rs 49,545 crores in FY 2017-18 indicating a growth of 27% since 2016-17. SFBs witnessed a growth of 183% in between FY 2016-17 and FY 2017-18. Below given chart is a graphical presentation of the amount of loan sanctioned by different institutions for three consecutive financial years starting from 2015-16.

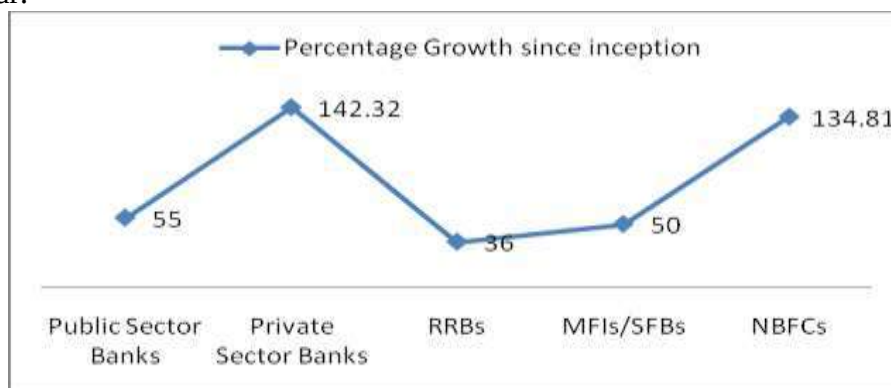


Year wise analysis of the amount of loan sanctioned by different lending institutions reveals that there has been a gradual rise in the amount of loan sanctioned by each of the institutions over a period of three years however, the rate of growth and the total share of each of these institutions in the amount sanctioned under the scheme varies. The share of each of the institutions for the FY 2017-18 has been depicted through the following pie chart.



The percentage share of the amount of loan sanctioned by different lending institutions is highest for public sector banks in each of the three financial years. During FY 2015-16, the share in the total amount sanctioned by public sector banks including SBI and its associates is 43% whereas, in FY 2017-18, the share reduced to 36% but was still higher than any other institution. The next highest share of the amount of loan sanctioned was that of micro finance institutions (MFIs) which play a

very crucial role in granting credit to micro enterprises under this scheme. During FY 2017-18 the share of MFIs was 27% followed by private banks sharing 20% of the total amount sanctioned during the year.



The achievement data indicates 85% growth since the inception of the scheme in the overall performance of the programme by all the agencies. The growth in private sector banks has increased significantly by 142% since the FY 2015-16. Also the growth of NBFCs has been very well with 135% in terms of the amount sanctioned in a period of one year that is since FY 2016-17. On the other hand, other institutions have also witnessed a decent growth in the amount sanctioned by them over a period of three years.

Bibliography

1. Annual Report of MUDRA Yojana 2017-18, 2016-17 and 2015-16, www.mudra.org
 2. Bank-wise Performance 2017-18, 2016-17, 2015-16, www.mudra.org
 3. Khadar.A.,Rahim.A. (2018). "A Study on Roles and Responsibility of The MUDRA Yojana and its impact assessment".IJRTI.Vol 3(9).
 4. Roy.A. (2016). "MudraYojana-A Strategic Tool for Small Business Financing". IJARCSMS, Vol 4(1).
 5. Dwivedi.R. (2018). "Pradhan /mantra /mudraYojana: A Critical Review". ResearchGate.
 6. Ibrahim.P. (2018). "An Empirical Study on the Role of MUDRA Yojana in Financing Micro Enterprises".IJED.Vol 6(10).
 7. Agarwal.M.,Dwivedi. R. (2017). "PradhanMantriMudraYojana: A Critical Review" KIIT Journal of Management.
 8. Lall.A. (2018). "A Study on Critical Analysis of MUDRA Yojana in Uttarakhand".IJSSER.Vol 3(7).
 9. Audretsch, D.B., M.A. Carree and A.R. Thurik (2001), *Does entrepreneurship reduce unemployment?*, Tinbergen Institute Discussion Paper TI 2001-074/3, Erasmus UniversityRotterdam.
 10. Audretsch,D.B.and M.Fritsch(2002), Growthregimes overtime andspace, *RegionalStudies* 36,113-124.
 11. Toma, S.-G., Grigore, A.-M., and Marinescu, P., *EconomicDevelopment and Entrepreneurship*.
 12. Procedia Economics andfinance, 2014. 8: p. 436-443.
 13. Naudé, W.A., *Entrepreneurship and economic development:Theory, evidence and policy*. 2013, IZA Discussion Paper.
 14. Al-Mubarak, H.M. and Busler, M., *Business Incubation as anEconomic Development Strategy: A Literature Review*. International Journal of Management, 2013. 30(1): p. 362-372.
 15. Fukugawa, N., *Which Factors do Affect Success of BusinessIncubators*. Journal of Advanced Management Science, 2013.1(1).
 16. Minniti,M., *The role of government policy on entrepreneurial activity: productive, unproductive, or destructive?*
 17. Entrepreneurship Theory and Practice, 2008. 32(5): p. 779-790.
- Annual Report of Micro Units Development and Refinance Agency Ltd.(MUDRA) for the financial

ANALYTICAL STUDY OF PRADHAN MANTRI MUDRA YOJANA IN RAJNANDGAON BLOCK.

Dr H.S Bhatia, Dr Divya Pawar Govt. Digvijay College Rajnandgaon
Taruna Verma Research Scholar Govt. Digvijay College Rajnandgaon

Introduction

Finance is one of the most important things to fight against poverty and provide opportunities to grow a business. Financial inclusion is one of the most treasured strategies in India. Our monetary arrangements have dependably been driven by a basic plan of a practical and comprehensive development. The concept of financial was first introduced by the governor of RBI Shri Y.V Reddy in year 2005. Financial inclusion means process of ensuring access to appropriate financial service to all the section at an affordable rate. Government of India has been introduced a number of financial initiatives such as Pradhan mantri mudra yojana (PMMY), Pradhan mantri jeewan Jyoti bema yojana (PMJJBY), Pradhan mantra jan dhan yojana (PMJDY), Atal pension yojana (APY), and Pradhan mantri surakhsha bema yojana (PMSBY) etc..This loan facility has been provided for the low income group and small business enterprises and weaker section of the society which help to grow a firm and even also help a new start up.

Loan Categories under Prime Minister Mudra yojana

Sl No.	Categories	Loan Amount
1	Shishu	Upto 50,000
2	Kishore	50,001 to 5 lakh
3	Tarun	5,00,001 to 10 lakh

Shishu – This is for starter or small entrepreneur under this scheme the leading amount will be Rs 50,000/- . That means if anyone want to start a new business then he/she will get a loan cover up to Rs 50,000.

Kishore Loan Scheme- This scheme is ment for the mid-level business organization .If you have set your business then you may receive a term loan from Rs. 50,000/- to Rs. 5 lakh from MUDRA for further expansion and growth.

Tarun loan scheme- This is the next level scheme and it for those business /manufacturing organization who wish to have a large and better business setup. The loan provided in this scheme will cover a sum of rupees from Rs.5 lakh to Rs. 10 lakh.

Hypothesis of the study

1) **H₀₁** – There is no role of MUDRA loan scheme on uplifting the Micro, small, medium Enterprises.

H_{A1} – There is role of MUDRA loan scheme on uplifting the Micro, small, medium Enterprises..

2) **H₀₁** -MUDRA loan is not financing more capital to enterprises (New/Existing) other then any loan scheme.

H_{A1} - MUDRA loan financing more capital to enterprises (New/Existing) other then any loan scheme.

Area of the study

My research area is Rajnandgaon district. The present study attempts to study ‘**Analytical study of pradhan mantra mudra yojana**’ at rajnandgaon district with having a 9 block.

Limitation of the study

- 1) Time constrain while collecting the secondary data.
- 2) All the data cannot be generalized.

Eligibility ceritiory

MUDRA LOAN ELIGIBILITY	
MUDRA LOAN ELIGIBILITY	last Update 11th June 2021
Minimum Age	18 year
Maximum Age	65 year
Who all can avail loan	Loans can be availed by new and existing units
Collateral	No collateral or third party security is required
Lending institutions eligible	Public sector banks , private sector bank, regional Rural banks micro finance institutions.
Document	Identity proof, residence proof application form and passport size photos.

Progress made under Pradhan mantri mudra yojana

Data collected from all PSBs shows that disbursement of Rs. 33,000 crore (approx.) was made during 2014-15. With the intervention of MUDRA, amount of disbursement to same category of loans was Rs. 56126 crore in 2015-16. Total disbursement of Rs. 132954 Crore was made against the target of Rs.122188 crore by the Banks and MFIs together. The share of the disbursement by different MLIs in terms of no of accounts and amount disbursed is being depicted by the pie graph in figure 3(a) and 3(b). loans. For the rest time MFIs were directly involved for implementing government scheme and these group of institutions have performed well. 38 NBFC-MFIs and 10 MFIs are partnering with MUDRA. With the launch of MUDRA, cost of fund of NBFC-MFIs has come down and within a year. The top 10 NBFC-MFIs have a weighted average interest rate of 23.13%, far below the 26% max cap prescribed by RBI. Over 36 NBFC-MFIs have reduced rates significantly in the last financial year itself. SKS Microfinance, one of the biggest NBFC-MFIs has reduced its rate of interest charged from borrowers to 19.76%. Interest rate of 19.76 percent is the lowest rate charged by any private sector MFI in the world. A Renance facility of MUDRA is being availed by NBFC-MFIs and has helped in reduction of cost of fund of NBFC-MFIs. Government of India has set a target of Rs.1, 80,000 crore for FY 2016-17. Out of which, NBFC-MFIs have been given a target of Rs.64, 240 crore.

PMMY during 2019-20

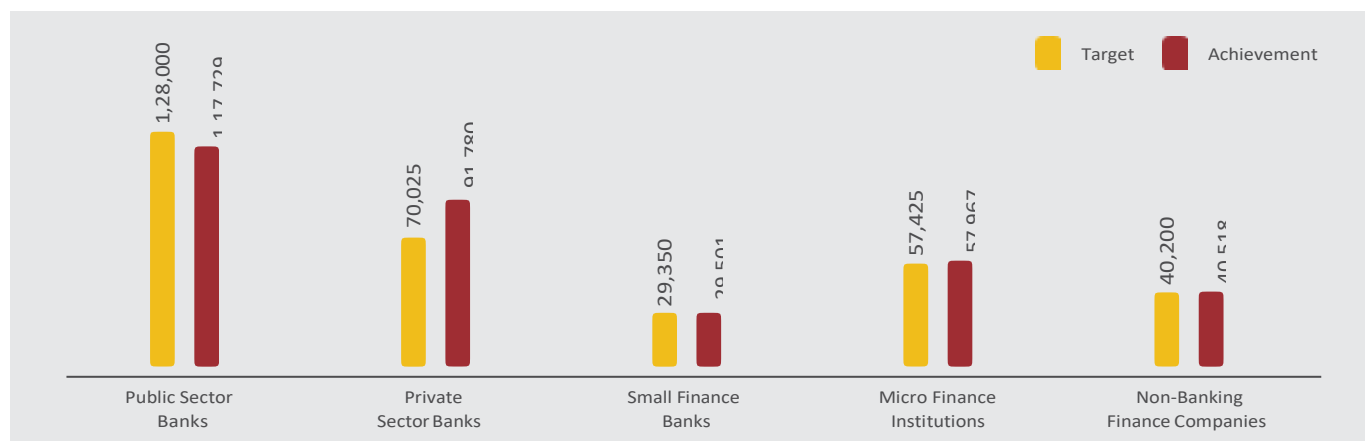
Agency-wise Achievement The target set by the Government of India under PMMY for the year 2019-20 was `3.25 lakh crore which was distributed across various lending institutions, banks, MFIs and NBFCs based on their outreach and presence in various parts of the country. The category-wise performance against their overall targets for the year 2019-20 is as under:

Agency-wise performance

Category	Target (2019-20)	Sanction Amt. (2019-20)	Sanction Amt.(2018-19)	Growth
Public Sector Banks (incl. Regional RuralBanks)	1,28,000	1,17,729 (92%)	1,17,282	7%

Private Sector Banks (incl. Foreign Banks)	70,025	91,780 (132%)	64,037	43%
Small Finance Banks	29,350	29,501 (101%)	29,794	-1%
Micro Finance Institutions	57,425	57,967 (101%)	63,471	-9%
Non-Banking Finance Companies	40,200	40,518 (101%)	47,137	-14%
Total	3,25,000	3,37,495 (104%)	3,21,721	5%

Target vs Achievement in `crore



The achievement data indicates 5% growth over the previous year in the overall performance of the programme implemented by all the lending institutions. While the growth in respect of Public Sector Banks was moderate at 7%, the same increased significantly by 43% for Private Sector Banks. Among the Public Sector Banks, State Bank of India (SBI), with sanction of ` 35,125 crore to 36.76 lakh accounts topped the table. SBI was followed by Bank of Baroda and Canara Bank with sanction figures of ` 10,282 crore and ` 9,489 crore respectively. The Private Sector Banks recorded considerable improvement in performance with a sanction of ` 91,780 crore during the year, registering 43% growth over the previous year. This was mainly on account of merger of SKS Microfinance (Bharat Finance Ltd.) with IndusInd Bank, who topped the list with sanction of ` 38,199.43 crore grabbing over 41% of the aggregate sanctions by Private Sector Banks. The other major contributors in the private sector banks category were Bandhan Bank and IDFC Bank. Merger of SKS Microfinance (Bharat Finance Ltd.) with IndusInd Bank resulted in lower performance of MFI category during FY 2019-20, registering a decline by 9% to the previous FY. MFIs sanctioned a total Loan amount of ` 57,967 crore to 1.96 crore Borrowers. Credit Access Grameen Limited was the leading MFI with a sanction amount of ` 7,598 crore in more than 23 lakh loan accounts. NBFCs have also emerged as a major contributor to the PMMY with a total sanction of ` 40,518 crore (12% of the total sanction amount). In this category, Fullerton India Credit Company Limited has been the highest contributor with a total sanction amount of ` 11,666 crore. Small Finance Banks achieved 101% of their target. During the year, the 10 SFBs sanctioned a total amount of ` 29,501 crore to 71.60 lakh loan accounts.

Bank Type	New Entrepreneurs	
	No. of A/c	Disbursement Amt in Cr
Public Sector Bank	3822226	35463.13
Private Sector Bank and Foreign Bank	1777400	8000.88
Regional Rural Bank	720430	5088.39
NBFC –MFI	6049094	10213.16
Non NBFC-MFI	105518	142.52
Total	12474668	58908.08

Findings & Analysis

Agency wise performance of MUDRA loans

MUDRA has enrolled institutions such as commercial banks both public sector as well as private sector banks, regional rural banks (RRBs), state/urban cooperative banks, micro-finance institutions (MFIs) and non-banking financial companies (NBFCs) as partners for refinancing against their lending to micro entrepreneurs. Since the inception of the scheme each institution that is a part of the scheme has participated actively however, the rate of growth in terms of opening of new accounts, loan sanction as well as loan disbursement varies amongst the institutions. In the present study, we have considered the amount of loan sanctioned by each institution under the scheme in order to assess their performance since the inception of the scheme. It has been observed that the highest share of the amount of loans sanctioned to

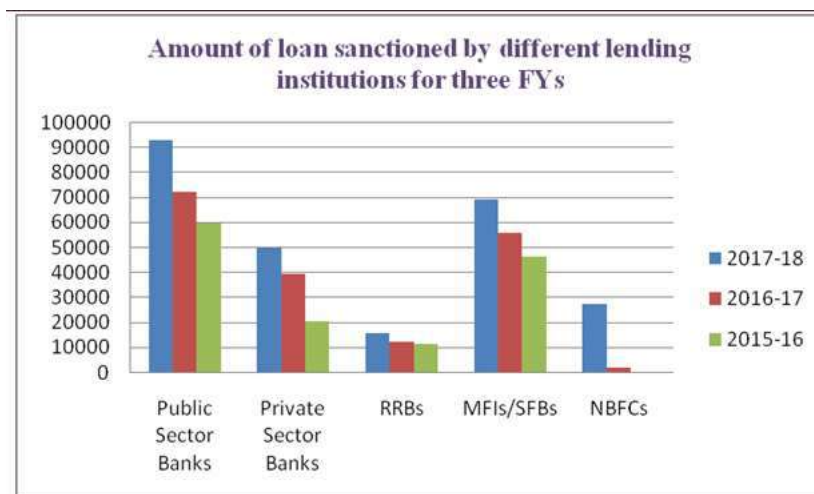
micro enterprises is of the public sector banks each year since 2015. That is, amongst all the agencies public sector banks have sanctioned the highest amount of loans under the scheme. Also, it is found that the largest growth in terms of loan sanctioned since 2015 till 2018 has been by the private sector banks. Even though they might have lesser share in the total amount of loan sanctioned but the rate of growth of the loans sanctioned by these banks has been the highest. The following table indicates the amount of loan sanctioned by different agencies for three different financial years. Table: Amount of loan sanctioned during three financial years by different lending institutions (Amount in Rs Crores)

Type of Agencies	Sanction (2017-18)	Sanction (2016-17)	Sanction (2015-16)	Growth since Inception (%)
Public Sector Banks	92,492.68 (36%)	71,953.67 (40%)	59,674.28 (43%)	55%
Private Sector Banks	49,545.11 (20%)	39,042.60 (21%)	20,445.74 (15%)	142.32%
RRBs	15,454.51 (6%)	12,009.52 (7%)	11,324.47 (8%)	36%
MFIs/SFBs^	69,166.64 (27%)	55,657.01 (31%)	46,004.78 (34%)	50%
NBFCs	27,018.16 (11%)	1,865.74 (1%)	*	134.81%
Total	2,53,677.10 (100%)	1,80,528.54 (100%)	1,37,449.27 (100%)	84.56%

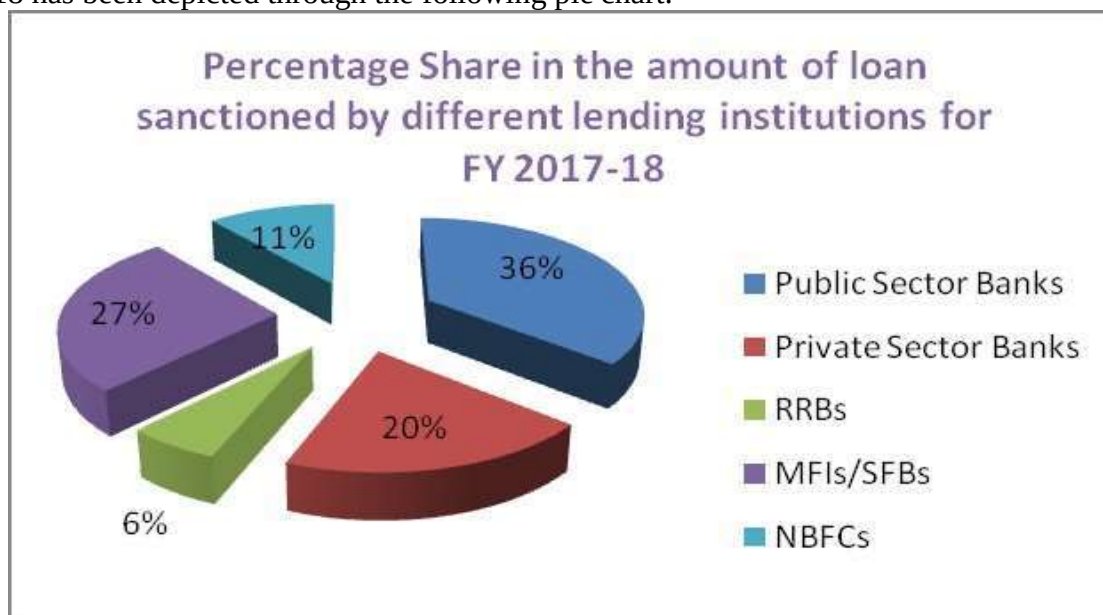
Source: www.mudra.org

The figures in the above table shows that there has been a rise in the amount sanctioned by public sector banks from Rs 59,674 crores in the FY 2015-16 to Rs 92,493 crores in the FY 2017-18 showing a 55% growth for them. MFIs and SFBs including the non-NBFC-MFIs have witnessed an

increase in the amount of loan sanctioned by Rs 23,162 crores over a period of 3 years. The amount sanctioned by private sector banks have increased drastically from Rs 20,445.74 crores in FY 2015-16 to Rs 39,042 crores in FY 2016-17 indicating a growth of 91% and an amount of Rs 49,545 crores in FY 2017-18 indicating a growth of 27% since 2016-17. SFBs witnessed a growth of 183% in between FY 2016-17 and FY 2017-18. Below given chart is a graphical presentation of the amount of loan sanctioned by different institutions for three consecutive financial years starting from 2015-16.

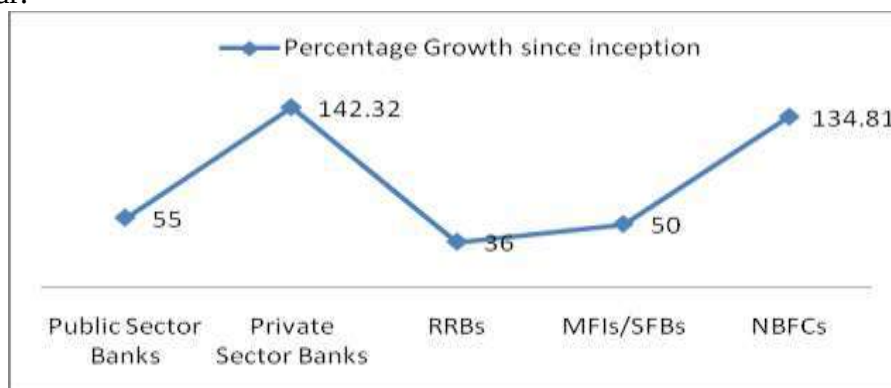


Year wise analysis of the amount of loan sanctioned by different lending institutions reveals that there has been a gradual rise in the amount of loan sanctioned by each of the institutions over a period of three years however, the rate of growth and the total share of each of these institutions in the amount sanctioned under the scheme varies. The share of each of the institutions for the FY 2017-18 has been depicted through the following pie chart.



The percentage share of the amount of loan sanctioned by different lending institutions is highest for public sector banks in each of the three financial years. During FY 2015-16, the share in the total amount sanctioned by public sector banks including SBI and its associates is 43% whereas, in FY 2017-18, the share reduced to 36% but was still higher than any other institution. The next highest share of the amount of loan sanctioned was that of micro finance institutions (MFIs) which play a

very crucial role in granting credit to micro enterprises under this scheme. During FY 2017-18 the share of MFIs was 27% followed by private banks sharing 20% of the total amount sanctioned during the year.



The achievement data indicates 85% growth since the inception of the scheme in the overall performance of the programme by all the agencies. The growth in private sector banks has increased significantly by 142% since the FY 2015-16. Also the growth of NBFCs has been very well with 135% in terms of the amount sanctioned in a period of one year that is since FY 2016-17. On the other hand, other institutions have also witnessed a decent growth in the amount sanctioned by them over a period of three years.

Bibliography

1. Annual Report of MUDRA Yojana 2017-18, 2016-17 and 2015-16, www.mudra.org
 2. Bank-wise Performance 2017-18, 2016-17, 2015-16, www.mudra.org
 3. Khadar.A.,Rahim.A. (2018). "A Study on Roles and Responsibility of The MUDRA Yojana and its impact assessment".IJRTI.Vol 3(9).
 4. Roy.A. (2016). "MudraYojana-A Strategic Tool for Small Business Financing". IJARCSMS, Vol 4(1).
 5. Dwivedi.R. (2018). "Pradhan /mantra /mudraYojana: A Critical Review". ResearchGate.
 6. Ibrahim.P. (2018). "An Empirical Study on the Role of MUDRA Yojana in Financing Micro Enterprises".IJED.Vol 6(10).
 7. Agarwal.M.,Dwivedi. R. (2017). "PradhanMantriMudraYojana: A Critical Review" KIIT Journal of Management.
 8. Lall.A. (2018). "A Study on Critical Analysis of MUDRA Yojana in Uttarakhand".IJSSER.Vol 3(7).
 9. Audretsch, D.B., M.A. Carree and A.R. Thurik (2001), *Does entrepreneurship reduce unemployment?*, Tinbergen Institute Discussion Paper TI 2001-074/3, Erasmus UniversityRotterdam.
 10. Audretsch,D.B.and M.Fritsch(2002), Growthregimes overtime andspace, *RegionalStudies* 36,113-124.
 11. Toma, S.-G., Grigore, A.-M., and Marinescu, P., *EconomicDevelopment and Entrepreneurship*.
 12. Procedia Economics andfinance, 2014. 8: p. 436-443.
 13. Naudé, W.A., *Entrepreneurship and economic development:Theory, evidence and policy*. 2013, IZA Discussion Paper.
 14. Al-Mubarak, H.M. and Busler, M., *Business Incubation as anEconomic Development Strategy: A Literature Review*. International Journal of Management, 2013. 30(1): p. 362-372.
 15. Fukugawa, N., *Which Factors do Affect Success of BusinessIncubators*. Journal of Advanced Management Science, 2013.1(1).
 16. Minniti,M., *The role of government policy on entrepreneurial activity: productive, unproductive, or destructive?*
 17. Entrepreneurship Theory and Practice, 2008. 32(5): p. 779-790.
- Annual Report of Micro Units Development and Refinance Agency Ltd.(MUDRA) for the financial

राजीव गांधी ग्रामीण भूमिहीन कृषि मजदूर न्याय योजना एक समीक्षा

(राजनांदगांव जिले के विशेष संदर्भ में)

प्रो. एच. सी. जैन सहायक प्राध्यापक (वाणिज्य संकाय) शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव
(छ.ग.)

डॉ. के. एल. टाण्डेकर प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

शोध सारांश :-

छत्तीसगढ़ के प्रवेश द्वार राजनांदगांव जिले के ग्रामीण क्षेत्रों में निवासरत् भूमिहीनों को आर्थिक सहायता प्रदान करने हेतु राज्य शासन द्वारा इस महत्वाकांक्षी योजना का क्रियान्वयन किया जा रहा है। योजना का क्रियान्वयन एवं नियंत्रण अंतरविभागीय राज्य स्तरीय समन्वयक समिति द्वारा किया जाता है। पंजीकृत हितग्रहियों को शासन द्वारा अनुदान प्रदान कर उनके जीवन-स्तर वृद्धि तथा उन्हें आर्थिक रूप से समृद्ध बनाये जाने के प्रयास लगातार किये जा रहे हैं। ग्रामीण भूमिहीन कृषक मजदूर इस न्याय योजना का लाभ उठाकर आर्थिक रूप से सुदृढ़ हो रहे हैं, विशेष रूप से यह योजना बेरोजगारी दूर करने में प्रभावी रूप से सहायक सिद्ध हुई है। गांवों में निवासरत् भूमिहीन जिसके पास स्वयं की कृषि भूमि नहीं है, उन्हें प्रदत्त सहायता राशि से पारिवारिक और आर्थिक सुधार हो रहा है एवं हितग्राही इस योजना से लाभान्वित हो रहे हैं। इस न्याय योजना से भूमिहीन मजदूरों पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा है। यही इस शोध अध्ययन की विषय वस्तु है।

प्रस्तावना :-

छत्तीसगढ़ राज्य में ग्रामीण आबादी का एक बड़ा हिस्सा कृषि कार्य एवं कृषि कार्य हेतु की जाने वाली मजदूरी पर निर्भर है, राज्य में जब खरीफ फसलों हेतु खेती की जाती है, उसी समय कृषि कार्य हेतु मजदूरी करने हेतु मजदूरों की आवश्यकता होती है, रबी फसलों की खेती के समय फसल क्षेत्राच्छादन कम होता है, इसी कारण कृषि कार्य हेतु मजदूरी के अवसर भी कम हो जाते हैं, भारत चूंकि कृषि प्रधान देश है, उसमें भी कई ऐसे ग्रामीण हैं जिनके पास स्वयं की कृषि भूमि नहीं है। कृषि मजदूरी कार्य में संलग्न ग्रामीणों में अधिकतर लघु सीमांत अथवा भूमिहीन कृषक हैं। इसमें से भूमिहीन कृषि मजदूर को अन्य की अपेक्षा रोजगार के अवसर ग्राम स्तर पर अत्यन्त कम उपलब्ध हो पाते हैं। छत्तीसगढ़ राज्य के गांवों में रहने वाला वह परिवार जिसके पास अपनी स्वयं की कृषि भूमि नहीं है, वह भूमिहीन कहलाता है, कार्यहीन दिवसों में उनके परिवार की आर्थिक स्थिति अत्यंत दयनीय एवं कमजोर हो जाती है, और वह बेरोजगार हो जाते हैं, मुख्यमंत्री माननीय श्री भूपेश बघेल ने उन्हीं भूमिहीन एवं आर्थिक रूप से कमजोर कृषि मजदूरों की समस्या को समझा एवं न्याय पथ पर चलते हुए राज्य के भूमिहीनों को आर्थिक सम्बल प्रदान करने के लिए न्याय सबके लिए और सबके द्वार के ध्येय को लेकर राज्य के भूमिहीन मजदूरों की सहायता के लिए राज्य की महत्वाकांक्षी योजना “राजीव गांधी ग्रामीण भूमिहीन कृषि मजदूर न्याय योजना” की शुरुआत 1 सितंबर 2021 को की गई तथा इस योजना के अंतर्गत लगभग 10 लाख से अधिक भूमिहीन कृषि मजदूरों को लाभ प्रदान करने का निर्णय लिया गया। इस योजना के माध्यम से भूमिहीन मजदूरों को चिन्हित कर उन्हें आर्थिक सहायता प्रदान की जाती है।

अवधारणा :-

छत्तीसगढ़ राज्य कृषि प्रधान राज्य है, खेती किसानों के कार्यों में काफी संख्या में कृषि मजदूर जुड़े हुए हैं, उनमें से कई ऐसे कृषि मजदूर हैं, जिनके पास स्वयं की अपनी कृषि भूमि नहीं है, और वे शहर एवं ग्रामीण क्षेत्र में रहने वाले दूसरे कृषकों की कृषि भूमि में श्रमिक के तौर पर शारीरिक श्रम करते हुए अपने परिवार का पालन पोषण करते हैं। यहां भूमिहीन किसी मजदूर से आशय ऐसा व्यक्ति जो कोई कृषि भूमि धारण नहीं करता और जिसकी आजीविका का मुख्य साधन शारीरिक श्रम करना है, एवं उसके परिवार का जिसका वह सदस्य है, कोई भी सदस्य कृषि भूमि को धारण नहीं करता है, वह एक निश्चित आय कैसे प्राप्त करें ताकि उसका एवं उसके परिवार का भरण पोषण हो सके। इस योजना

के लाभार्थी ग्रामीण कृषि मजदूर, चरवाहा, बढई, लोहार, मोची, नाई, धोबी और पुरोहित आदि को जिनके पास 1 डिसेमील भी कृषि भूमि नहीं है उन्हें इस योजना का लाभ प्रदान किया जायेगा 'आवासीय प्रयोजन के लिए धारित भूमि कृषि भूमि नहीं मानी जायेगी योजनांतर्गत आर्थिक सहायता अनुदान के रूप में कृषि मजदूर परिवारों की पहचान करके प्रदान की जायेगी यह सहायता राशि परिवार के मुखिया को प्रदान की जायेगी जिसका पंजीयन उसे स्वयं अधिकारिक वेबसाइट पर करवाना होगा।'

योजना के उद्देश्य :-

1. ग्रामीण क्षेत्र में भूमिहीन कृषि मजदूरों का पंजीयन कर उन्हें चिन्हित करना।
2. प्रदेश के भूमिहीन कृषि कार्य करने वाले नागरिकों को आर्थिक सहायता प्रदान करना।
3. उन्हें प्रदत्त आर्थिक सहायता से उनके जीवन स्तर एवं आत्मविश्वास में वृद्धि करना।

शोध के उद्देश्य :-

1. ग्रामीण क्षेत्रों में पंजीकृत भूमिहीन कृषि मजदूर परिवारों का अध्ययन करना।
2. पंजीकृत भूमिहीन कृषि मजदूर परिवारों को वार्षिक आधार पर आर्थिक अनुदान का अध्ययन करना।
3. आर्थिक अनुदान के माध्यम से कृषि मजदूर परिवारों की शुद्ध आय में वृद्धि का अध्ययन करना।
4. राज्य के मजदूरों को आत्मनिर्भर एवं सशक्तिकरण का अध्ययन करना।

शोध परिकल्पना :-

1. ग्रामीण क्षेत्रों में भूमिहीन भूमिहीनों की पहचान योजनाबद्ध तरीके से की जा रही है।
2. उन्हें किस्तों में आर्थिक अनुदान प्राप्त हो रहा है, जिससे उनकी आय में वृद्धि हो रही है।
3. भूमिहीनों के जीवन स्तर में सुधार हो रहा है।

शोध क्षेत्र एवं सीमाएं :-

छत्तीसगढ़ राज्य की अधिकांश जनता ग्रामीण क्षेत्रों में निवास करती है, उसमें से भी अधिकांश ग्रामीण निवासियों के पास स्वयं की कृषि भूमि न होने के कारण वे मजदूरी से अपना जीवनयापन करते हैं, अतः शोध के अध्ययन हेतु राजनांदगांव जिले के 9 विकासखंडों में खैरागढ़, अम्बागढ़ चौकी, छुरिया, छुईखदान, डोंगरगढ़, मानपुर, मोहला तथा राजनांदगांव में निवासरत भूमिहीन कृषि मजदूरों की स्थिति का अध्ययन किया गया है।

शोध प्रविधि :-

राज्य सरकार द्वारा संचालित 'राजीव गांधी भूमिहीन कृषि मजदूर राज्य योजना' के हितग्राहियों को मिलने वाली आर्थिक अनुदान एवं इससे होने वाले प्रभावों का अध्ययन करने हेतु राजनांदगांव जिले के 9 तहसीलों में से इस शोध सारांश में तथ्यों का संग्रहण, विश्लेषण, निर्वचन एवं निष्कर्ष हेतु द्वितीयक समंको का उपयोग किया गया है ताकि भूमिहीनों को मिलने वाले लाभ की वस्तु-स्थिति का वास्तविक अध्ययन कर निष्कर्ष ज्ञात किया जा सके।

राजीव गांधी ग्रामीण भूमिहीन कृषि मजदूर न्याय योजना का क्रियान्वयन एवं लाभ का विश्लेषण

योजना की पात्रता

योजना के अंतर्गत पात्रता केवल छत्तीसगढ़ के मूल निवासियों की होगी। ग्रामीण भूमिहीन कृषि मजदूर परिवारों के अंतर्गत चरवाहा, बढई, लोहार, मोची, नाई, धोबी और पुरोहित जैसे पौनी-पसारी व्यवस्था से जुड़े परिवार, वनोपज संग्राहक तथा समय-समय पर नियत अन्य वर्ग भी पात्र होंगे। इस योजना के हितग्राहियों के लिए आवश्यक शर्त यह है कि हितग्राही परिवार के पास कृषि भूमि नहीं होनी चाहिए। आवासीय प्रयोजन के लिए धारित भूमि कृषि भूमि नहीं मानी जाएगी, पट्टे पर प्राप्त शासकीय भूमि को कृषि भूमि माना जाएगा।

ग्रामीण भूमिहीन कृषि मजदूर परिवारों के मुखिया के अनुदान सहायता राशि प्राप्त करने हेतु आवेदन पत्र के साथ “राजीव गांधी ग्रामीण भूमिहीन कृषि मजदूर न्याय योजना” पोर्टल पर पंजीयन कराना अनिवार्य होगा। अपंजीकृत परिवारों को योजना अंतर्गत अनुदान की पात्रता नहीं होगी। पंजीकृत हितग्राही परिवार के मुखिया की मृत्यु हो जाने पर उक्त परिवार के द्वारा पात्रता अनुसार नवीन आवेदन प्रस्तुत करना होगा।

राज्य की सरकार ग्रामीण क्षेत्र के गरीब तबकों को सीधे सहायता पहुंचाना चाहती है, छत्तीसगढ़ देश का पहला ऐसा राज्य है, जिसने भूमिहीन कृषि मजदूरों के लिए ऐसी योजना कार्य रूप में परिणित की है, जिस तरह से किसानों को नहीं मिली आर्थिक मदद ने बाजार को एक नया आर्थिक आधार प्रदान किया है, उसी तरह से भूमिहीन कृषि मजदूरों को मिली आर्थिक मदद भी ग्रामीण अंचल में अर्थव्यवस्था को गति देने का कार्य कर रही है, राज्य के इस योजना से 3 लाख 55 हजार मजदूर भाई बहनों को सीधे तौर पर आर्थिक अनुदान के रूप में फायदा प्राप्त होगा, इस योजना के जरिए ग्रामीण भूमिहीन मजदूरों को सीधे आर्थिक मदद प्राप्त हो रही है, 3 फरवरी को इस योजना के पार 3 लाख 55 हजार भूमिहीन कृषक मजदूरों को “डायरेक्ट बैंक ट्रांसफर” के माध्यम से उनके बैंक खातों में राशि का अंतरण किया गया। इस योजना से भूमिहीन मजदूरों की चिंता को खत्म कर दिया है, हर वर्ग के लोगो को यह लगने लगा है कि सरकार उनके हित में कार्य कर रही है, छत्तीसगढ़ के प्रत्येक भूमिहीनों को उनके खाते में 6000/- डायरेक्ट ट्रांसफर किए गए हैं, इससे उन्हें आय का एक नया संबल मिला है, जिससे वे प्रोत्साहित हो रहे हैं, इस योजना से जहां भूमिहीनों के जेब में लगातार प्रतिवर्ष आर्थिक अनुदान के रूप में पैसा जा रहा है, इसी कारण कोरोना संक्रमण काल में भी ऐसे भूमिहीनों जबकि पूरे देश में मंदी मंदी का दौर था, उससे होने वाले प्रभाव से अछूते रहे, इस योजना के क्रियान्वयन होने से भूमिहीनों को अपने तथा अपने परिवार के भरण-पोषण के लिए इधर-उधर भटकना नहीं पड़ा, पलायन भी राज्य से रुक सा गया, भूमिहीनों को राशि मिलने से वह जीवन यापन की परेशानी से काफी सीमा तक बच गये हैं।

इस योजना के अंतर्गत चिन्हांकित के हितग्राही परिवार के मुखिया को 6000/- अनुदान सहायता राशि प्रतिवर्ष दी जा रही है। इस हेतु हितग्राही परिवारों का पंजीयन नियमानुसार किया जा रहा है, अपात्र व्यक्तियों को योजना से पृथक किया गया है ताकि सही व्यक्ति तक योजना का लाभ प्राप्त हो सके, पोर्टल के माध्यम से पंजीकृत हितग्राही परिवारों की ग्राम पंचायतवार, ग्रामवार सूची मुख्य कार्यपालन अधिकारी, जनपद पंचायत द्वारा तैयार की जा रही है। जिसकी अंतिम सत्यापित सूची तैयार करने की जवाबदारी जिला कलेक्टर को दी गई है।

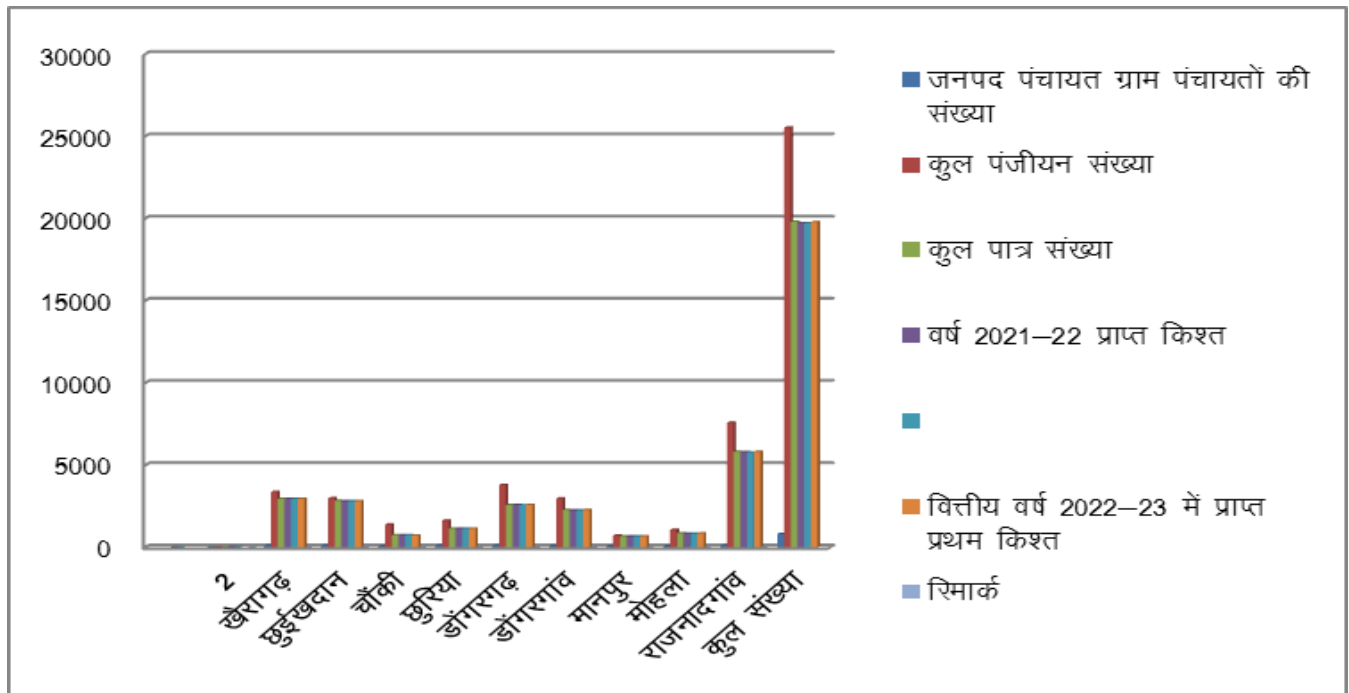
अनुदान सहायता राशि एक या दो किश्तों में दी जा रही है, जिसे नगद न देकर सीधे परिवार के मुखिया के बैंक खाते में डेबिट “प्रत्यक्ष लाभ हस्तांतरण” खाता में की जा रही है। छोटे हुए पात्र हितग्राही परिवार को जिला अनुश्रवण समिति की अनुशंसा पर आर्थिक अनुदान सहायता राशि दी जा रही है। जिससे भूमिहीनों को आर्थिक अनुदान प्राप्त होने से उनको संभल मिल रहा है, जिससे उनका मनोबल बढ़ता जा रहा है, एवं जीवन स्तर में भी पर्याप्त सुधार आ रहा है।

राजनांदगांव की कुल 25533 पंजीकृत हितग्राहियों में से 19805 पात्र हितग्राहियों को चिन्हित कर किश्तों में राशि का वितरण किया गया है।

“राजीव गांधी ग्रामीण भूमिहीन कृषि मजदूर न्याय योजना” अंतर्गत तहसीलवार लाभार्थी सूची (दिनांक 31.05.2022 की स्थिति में)								
क्र.	तहसील का नाम	जनपद पंचायत ग्राम पंचायतों की संख्या	कुल पंजीयन संख्या	कुल पात्र संख्या	वर्ष 2021-22 प्राप्त किश्त		वित्तीय वर्ष 2022-23 में प्राप्त प्रथम किश्त	रिमार्क
					प्रथम किश्त	द्वितीय किश्त		
1	2	3	4	5	6	7		8

1	खैरागढ़	114	3380	2947	2940	2944	2947	87.19%
2	छुईखदान	107	2998	2826	2811	2807	2819	94.02%
3	चौकी	69	1389	728	729	728	724	52.42%
4	छुरिया	118	1629	1141	1141	1141	1141	70.04%
5	डोंगरगढ़	101	3800	2575	2568	2565	2575	67.76%
6	डोंगरगांव	76	2966	2267	2245	2243	2265	75.62%
7	मानपुर	59	723	660	661	661	660	91.29%
8	मोहला	57	1064	851	842	841	849	79.79%
9	राजनादगांव	112	7584	5810	5786	5779	5806	76.50%
	कुल संख्या	813	25533	19805	19723	19709	19786	

उपरोक्त सारणी का विश्लेषण करने पर यह प्रतीत होता है कि कुल 9 विकासखंडों के में अधिकांशतः भूमिहीनों को इस योजना का लाभ सत्र 2021-22 में प्रथम एवं द्वितीय किस्त के रूप में तथा 2022-23 में प्रथम किस्त के रूप में मिल चुका है एवं हितग्राहियों को मिले अनुदान का प्रतिशत खैरागढ़ में 80.19%, छुईखदान में 94.02%, चौकी में 52.42%, छुरिया में 70.4%, डोंगरगढ़ में 67.76%, डोंगरगांव में 75.62%, मानपुर में 91.29%, मोहला में 79.79%, राजनादगांव में 70.5% है जो मानपुर में 91.29% सर्वाधिक है नक्सली प्रभावित क्षेत्रों में अनुदान लाभ की राशि सरकार की प्रगति मूलक सोच को प्रदर्शित करती है।



स्त्रोत – कार्यालय भू अभिलेख राजनादगांव

समस्या :-

1. योजना के व्यापक प्रचार-प्रसार की कमी।
2. वार्षिक अनुदान राशि अत्यधिक कम है।

3. इतनी राशि से भूमिहीनों का जीवन स्तर में वृद्धि होना मुश्किल है।

सुझाव :-

1. योजना के व्यापक प्रचार-प्रसार हेतु विज्ञापन एजेंसियों को अनुबंधित किया जाना चाहिए।
2. वार्षिक अनुदान की राशि 6000/- वर्तमान महंगाई की तुलना में काफी कम है, इसे बढ़ाया जाना चाहिए।
3. राशि बढ़ाने के साथ-साथ उन्हें अन्य कार्य हेतु भी प्रोत्साहित किया जाना चाहिए ताकि उनके जीवन स्तर में वृद्धि हो सके।

निष्कर्ष :-

निष्कर्ष रूप में कहा जा सकता है कि “राजीव गांधी ग्रामीण भूमिहीन कृषि मजदूर नया योजना” राज्य की एक महत्वपूर्ण योजना है जिसके जरिए ग्रामीण भूमिहीन मजदूरों को सीधे आर्थिक लाभ बैंक खाते के माध्यम से प्राप्त हो रहा है, छत्तीसगढ़ देश का पहला ऐसा राज्य है जिसने भूमिहीन कृषि मजदूरों के लिए ऐसी योजना का प्रारंभ किया है, जिस तरह से सरकार ने भूमिहीनों की समस्या का समझकर उन्हें लाभ पहुंचाने की सशक्त पहल की है उससे भूमिहीन कृषि मजदूरों को मिली आर्थिक मदद ग्रामीण अंचलों में अर्थव्यवस्था को गति देने का महत्वपूर्ण माध्यम बनेगी वही दूसरी ओर ग्रामीण क्षेत्रों में रहने वाले गरीब भूमिहीन मजदूरों के जीवन स्तर में भी वृद्धि करेगी।

संदर्भ :-

1. जनमन।
2. योजना, आर्थिक एवं सांख्यिकी संचालनालय छ.ग. शासन रायपुर।
3. उद्यमिता।
4. कार्यालय भू अभिलेख, राजनांदगांव।

**मुख्यमंत्री शहरी स्लम स्वास्थ्य योजना का क्रियान्वयन एक समीक्षा
(छत्तीसगढ़ राज्य के नगरीय निकायों के विशेष संदर्भ में)**

प्रो. एच. सी. जैन सहायक प्राध्यापक (वाणिज्य संकाय) शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

डॉ एच.एस. भटिया विभागाध्यक्ष (वाणिज्य संकाय) शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

डॉ के. एल. टाण्डेकर प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

शोध सारांश :-

छत्तीसगढ़ राज्य के शहरी स्लम क्षेत्र में निवासरत नागरिकों को निशुल्क स्वास्थ्य परीक्षण की सुविधा प्रदान करने हेतु प्रदेश की सरकार द्वारा लोगों के स्वास्थ्य का स्तर बढ़ाने हेतु इस मुख्यमंत्री शहरी स्लम स्वास्थ्य योजना को प्रारंभ किया गया इस योजना की सफल संचालन राज्य के 14 नगरीय निकायों के माध्यम से स्वास्थ्य विभाग द्वारा किया जा रहा है। इस योजना के अंतर्गत विभिन्न कैंपों के माध्यम से हितग्राहियों को विभिन्न प्रकार से स्वास्थ्य लाभ पहुंचाया जाता है। योजना के प्रारंभ से अब तक लगभग 20 लाख स्लम क्षेत्रों में रहने वाले हितग्राहियों को लाभान्वित किया जा चुका है लाभान्वित हितग्राहियों में महिलाएं बच्चे श्रमिक तथा सामान्य वर्ग के निवासी शामिल हैं, इस योजना के माध्यम से स्लम क्षेत्र में रहने वाले नागरिकों को स्वास्थ्य सुविधाएं प्रदान कर प्रदेश के सर्वांगीण विकास में उनकी महती भूमिका का उपयोग किया जाता है। इस योजना से प्रदेश के स्लम क्षेत्रों में रहने वाले नागरिकों के स्वास्थ्य पर हुए प्रभाव का अध्ययन किया गया है।

प्रस्तावना :-

स्वास्थ्य सुविधाओं की दृष्टि से छत्तीसगढ़ राज्य जहां एक ओर भारत के अन्य राज्यों की तुलना में काफी पिछड़ा हुआ है वहीं दूसरी ओर संतोषजनक औद्योगिक विकास न हो पाने के कारण राज्य की अधिकांश जनसंख्या आर्थिक दृष्टि से काफी कमजोर है। राज्यों में पर्यावरण प्रदूषण, वायु प्रदूषण, जल प्रदूषण, खानपान में पौष्टिक आहार की कमी, निम्न स्तरीय जीवन शैली, खानपान में गुणवत्ता में काफी कमी रासायनिक खाद के अत्याधिक उपयोग से होने वाले शारीरिक प्रभाव कृषि फसलों के उत्पादन को बढ़ाने एवं संरक्षण हेतु अत्याधिक कीटनाशक दवाइयों के प्रयोग से राज्य की जनता के स्वास्थ्य पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ा है एक ओर जहां राज्य में अच्छी एवं उन्नत स्वास्थ्य सुविधाओं का अभाव है वहीं दूसरी ओर राज्य के निजी चिकित्सालयों में इलाज करवाने हेतु अत्याधिक आर्थिक भार पड़ता है जो चिंताजनक है शासकीय चिकित्सालय में भी लंबी-लंबी कतारें होने के कारण राज्य की जनता विशेषकर श्रमिक वर्ग के इलाज में काफी विलंब होने के कारण परेशानी उठानी पड़ रही है तथा शासकीय चिकित्सालय में कुछ चुनिंदा बीमारियों का ही दवाइयां उपलब्ध हो पाती है शेष आवश्यक दवाइयों को निजी मेडिकल स्टोर से क्रय करने के कारण आम जनता पर स्वास्थ्य संबंधी आर्थिक व्ययों का अत्याधिक भार पड़ रहा रहा था। कोरोना महामारी के भीषण प्रकोप से भी राज्य के निवासियों की आय प्रभावित हुई थी, इन सब के कारणों से वह शारीरिक ही नहीं वरन् मानसिक तनाव से भी गुजर रहा है, ऐसी विषम परिस्थितियों में जो अस्पताल में नहीं पहुंच पाते उन स्लम क्षेत्रों में रहने वाले व्यक्तियों को गुणवत्ता पूर्वक निःशुल्क स्वास्थ्य परामर्श जांच, उपचार एवं दवाइयां उपलब्ध कराने हेतु राज्य में दिनांक 1 नवंबर 2020 को “मुख्यमंत्री शहरी स्लम स्वास्थ्य योजना” का शुभारंभ राज्य के 14 नगरीय निकायों रायपुर, बिरगांव, धमतरी, दुर्ग, भिलाई, रिसाली, भिलाई चरोदा, राजनांदगांव, बिलासपुर, कोरबा, रायगढ़, अबिकापुर, चिरमिरी तथा जगदलपुर में किया गया। स्लम क्षेत्रों में रहने वाले लोगों को व्यक्तिगत चर्चा एवं अन्य माध्यम से परिवार नियोजन के उपायों को समझाना एवं परिवार नियोजन के संसाधनों को उपलब्ध कराना है शहरी स्लम क्षेत्रों में मूलभूत सुविधाएं अपेक्षाकृत कम होती हैं जिसके कारण उन क्षेत्रों में निवासरत व्यक्तियों के स्वास्थ्य पर इसका प्रत्यक्ष असर परिलक्षित होता है उनके स्वास्थ्य स्तर में सुधार के लिए मुख्यमंत्री शहरी श्रम स्वास्थ्य योजना अंतर्गत चलित चिकित्सालय दल का गठन कर स्लम क्षेत्रों में स्वास्थ्य सुविधाएं उपलब्ध पहुंचाने का निर्णय राज्य सरकार द्वारा जनहित में लिया गया है।

अवधारणा :-

छत्तीसगढ़ राज्य की इस महत्वकांक्षी योजना इस अवधारणा को लेकर प्रारंभ की गई कि स्लम घनी आबादी वाले वे शहरी क्षेत्र जो विशेषकर आर्थिक रूप से काफी कमजोर एवं पिछड़े हुए हैं तथा स्लम क्षेत्र याने निम्न वर्गों के आवास व्यवस्था वाले क्षेत्र झुग्गी झोपड़ियों की बहुलता एवं मलिन (गंदी) बस्तियों वाला शहरी क्षेत्र। इन क्षेत्रों में रहने वाले निम्न आय वर्ग के व्यक्तियों को समय की बचत चिकित्सालय में लगने वाली लंबी लंबी कतारों से बचाना एवं चिकित्सालयों में पहुंचने में लगने वाले आर्थिक भार को कम कर उसे स्वास्थ्य लाभ पहुंचाने के उद्देश्य से लेकर दिनांक 01/11/2020 को माननीय मुख्यमंत्री द्वारा इस योजना की शुरुआत की गई ताकि स्लम क्षेत्र में रहने वाले प्रत्येक

नागरिक का स्वास्थ्य का स्तर ऊंचा उठ सके वह प्रदेश से अपने तथा अपने परिवार का जीवन स्तर ऊंचा उठा सके एवं प्रदेश की प्रगति में अपना महत्वपूर्ण योगदान दे सके कोरोना महामारी के प्रकोप से भी जहां जनता की कामकाज प्रभावित हुआ था वही उसका स्वास्थ्य भी बेहतर नहीं हो पा रहा था इस सब कारणों से इस योजना को प्रारंभ किया गया।

योजना के उद्देश्य :-

1. राज्य के शहरी क्षेत्रों में निवासरत जनता को स्वास्थ्य सुविधाओं का अध्ययन करना।
2. शासकीय चिकित्सालयों में रोगोपचार हेतु पहुंचने वाले रोगियों की संख्या को कम करना एवं लाभान्वित का अध्ययन करना।
3. राज्य में निवासियों को त्वरित एवं घर पहुंच निःशुल्क स्वास्थ्य परीक्षण निःशुल्क विभिन्न प्रकार के टेस्ट तथा निःशुल्क औषधि वितरण करना।
4. स्वास्थ्य शिक्षा के माध्यम से स्वास्थ्य संबंधी जानकारी प्रदान करना।

शोध परिकल्पना :-

1. स्लम मलिन बस्तियों में योजना का क्रियान्वयन सुचारु रूप से हो रहा है।
2. स्लम क्षेत्रों में पूर्ण रूप से निःशुल्क स्वास्थ्य परीक्षण विभिन्न प्रकार के लैब टेस्ट तथा जेनेरिक दवाइयों का वितरण किया जा रहा है।
3. झुग्गी झोपड़ियों एवं गंदी बस्तियों में रहने वाले आर्थिक दृष्टि से कमजोर हितग्राही इससे लाभान्वित हो रहे हैं।

शोध प्रविधि :-

राज्य सरकार द्वारा संचालित मुख्यमंत्री शहरी स्लम स्वास्थ्य योजना के हितग्राहियों के स्वास्थ्य परीक्षण एवं उसमें होने वाले सुधार की संभावना से संबंधित इस शोध सारांश में तथ्यों के संग्रहण, विश्लेषण निर्वचन एवं निष्कर्ष हेतु प्राथमिक एवं द्वितीयक समंको का उपयोग किया गया है प्रकाशित एवं अप्रकाशित स्रोतों का भी आधार लिया गया है।

शोध अध्ययन का क्षेत्र एवं सीमाएं :-

भारतीय संघ राज्य मध्य प्रदेश के विभाजन के पश्चात छत्तीसगढ़ राज्य दिनांक 1 नवंबर 2000 को मूल रूप से अस्तित्व में आया राज्य में वर्तमान में कुल 33 जिलें हैं 2011 की जनगणना के अनुसार छत्तीसगढ़ की कुल जनसंख्या 25540196 (दो करोड़ पचपन लाख चालिस हजार एक सौ छियानब्बे) है, इसमें से 12827915 (एक करोड़ अट्ठस लाख सत्ताईस हजार नौ सौ पन्द्रह) पुरुष तथा 12712281 (एक करोड़ सत्ताईस लाख बारह हजार दो सौ इक्यासी) महिलाएं हैं। प्रदेश की शहरी आबादी 5936538 (उनसठ लाख छत्तीस हजार पांच सौ अड़तीस) तथा ग्रामीण आबादी लगभग 1963658 (एक करोड़ छियानब्बे लाख तीन हजार छह सौ अटठावन) है। राज्य में जनसंख्या घनत्व 189 व्यक्ति प्रति वर्ग किलोमीटर है शोध के अध्ययन हेतु विषय का चयन एवं शोध के उद्देश्य को निर्धारित करते हुए प्रदेश के 14 नगरीय निकायों में रायपुर, बीरगांव, धमतरी, दुर्ग, भिलाई, रिसाली, भिलाई चरोदा, राजनंदगांव, बिलासपुर, कोरबा, रायगढ़, अंबिकापुर, चिरमिरी, तथा जगदलपुर को शामिल किया गया है।

स्लम स्वास्थ्य योजना का क्रियान्वयन एवं प्रगति का विश्लेषण :-

छत्तीसगढ़ सरकार की महत्वपूर्ण स्वास्थ्य योजना मुख्यमंत्री शहरी स्लम स्वास्थ्य योजना दिनांक 1 नवंबर 2020 को प्रारम्भ की गई। इस योजना के तहत शहर में मोबाइल मेडिकल यूनिट की गाड़ियां संचालित हो रही है जिसमें डॉक्टरों की टीम घर के चौखट पर पहुंचकर मरीजों का निःशुल्क इलाज करती है इसमें लैब की भी सुविधा प्रदान की जा रही है जिसमें मरीजों को खून पेशाब से लेकर 41 तरह की जांच की सुविधाएं एवं इस योजनांतर्गत दी जा रही है। राज्य के शहरी क्षेत्रों के गरीब बस्तियों में निवासरत गरीब करीब 16 लाख निवासियों के स्वास्थ्य में सुधार करना है ताकि उनका जीवन स्तर ऊंचा उठ सके और वह स्वस्थ होकर सुख पूर्वक अपना जीवन बगैर किसी किसी अतिरिक्त आर्थिक भार के साथ व्यतीत कर सकें इस स्वास्थ्य योजना के माध्यम से स्लम इलाकों में रहने वाले नागरिकों के स्वास्थ्य जांच टेस्ट तथा जेनेरिक औषधियों का निःशुल्क वितरण मोबाइल मेडिकल यूनिट के माध्यम से किया जा रहा है।

योजना की शुरुआत शुरुआत दो चरणों में की गई पहले चरण में 14 नगरीय निकायों में 60 मोबाइल मेडिकल यूनिट के माध्यम से लोगों को त्वरित एवं घर पहुंच निःशुल्क सुविधा उपलब्ध कराई गई तथा दूसरे चरण में 169 नगर निगम, नगर पालिका एवं नगर पंचायतों में 60 मोबाइल यूनिट मेडिकल के माध्यम से स्वास्थ्य सुविधाओं का संचालन राज्य के निवासियों को शारीरिक व मानसिक रूप से स्वस्थ बनाने के लिए किया जा रहा है निगम के सूत्रों द्वारा बताया गया है कि पूरे प्रदेश में अब तक लगभग 2000000 लोगों को निःशुल्क स्वास्थ्य परीक्षण, 41 प्रकार की टेस्ट तथा 200 से अधिक प्रकार की जेनेरिक दवाइयों का वितरण कर स्वास्थ्य के क्षेत्र में आधारभूत कार्यक्रम संचालित

किए जा रहे हैं। मोबाइल यूनिट में एक डॉक्टर एक नर्स एक फार्मासिस्ट एक लैब टेक्नीशियन एवं एक चालक सहित 5 स्टाफ कार्यरत रहते हैं। शहरी क्षेत्र के झुग्गी झोपड़ियों में निवासरत उन गरीब व्यक्तियों को जिन्हें दैनिक कार्य पर प्रतिदिन कमाओ प्रतिदिन खाओ जाकर अपने एवं अपने परिवार का पालन पोषण करना पड़ता है को शासकीय चिकित्सालय में जाने से एक तो जाने का आर्थिक खर्चा वहीं दूसरी ओर लंबी-लंबी कतारें होने से प्रतीक्षा करने से उसका समय नष्ट होता है जिसके कारण वह उस दिन की आय से वंचित हो जाता है इससे उसे आर्थिक हानि उठानी पड़ती थी, इन्हीं कारणों को दृष्टिगत रखते हुए राज्य शासन द्वारा इस योजना की शुरुआत कर इसका सफल क्रियान्वयन किया जा रहा है।

महामारी के बीच जब लोग सामान्य एवं छोटी-मोटी बीमारियों के लिए अस्पताल जाने से डरने लगे तब यह योजना इलाज के लिए सर्वाधिक मददगार साबित हुई लॉकडाउन होने पर भी घर की चौखट पर सुबह से दोपहर तक इलाज के लिए मोबाइल यूनिट के चौपाल लगाकर बीमार मरीज का न केवल इलाज किया वरन कोरोना का टेस्ट भी किया तथा वैक्सीनेशन हेतु टीकाकरण में भी अपनी महत्वपूर्ण भूमिका का निर्वहन किया गया। निःशुल्क लैब टेस्ट होने से लोगों का पैसा भी बच रहा है और इलाज हेतु इधर-उधर भटकने की जरूरत भी नहीं पड़ रही है।

शहरी स्लम स्वास्थ्य योजना में होने वाली परीक्षणों की सूची

निम्न प्रकार की जांच की सुविधाएं

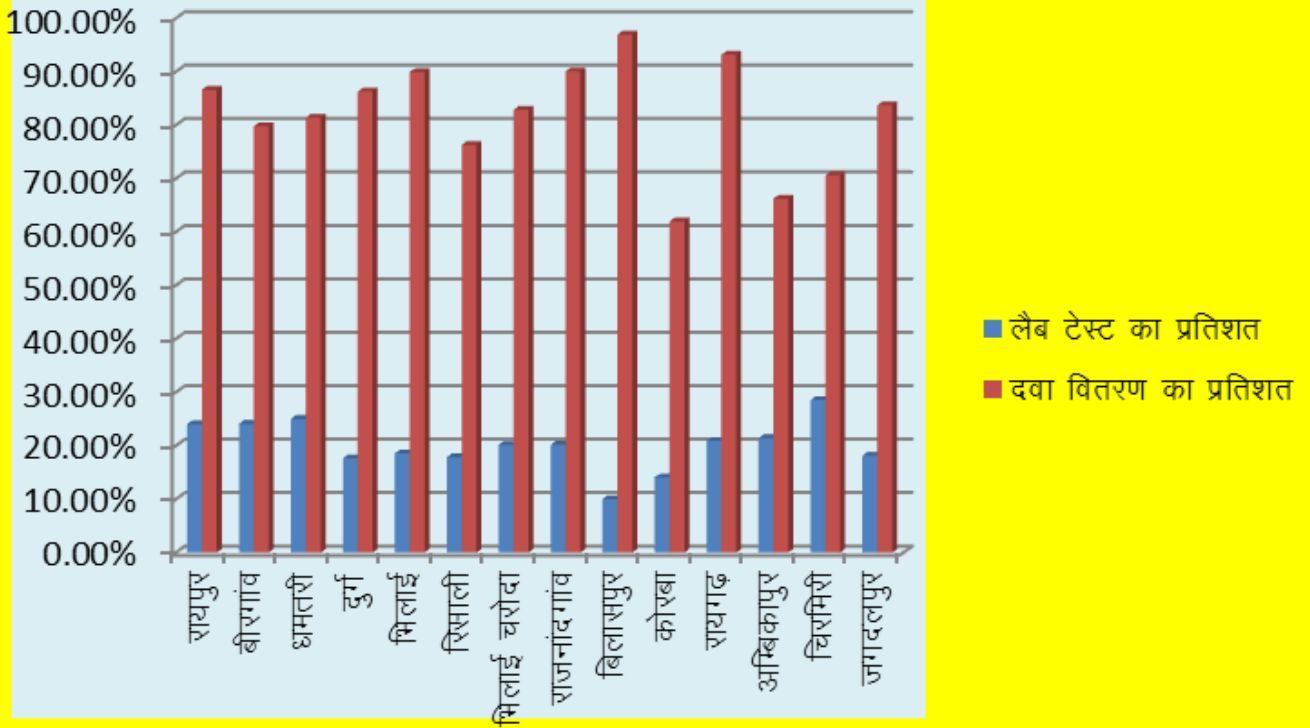
खून टेस्ट, पेशाब टेस्ट, टी बी, थायराइड, मल टेस्ट, थूक, मलेरिया, टाइफाइड, ब्लड शुगर, विटामिन की कमी, कोलेस्ट्रॉल, हिमोग्लोबिन।

निम्न प्रकार की दवाइयां निःशुल्क उपलब्ध

पेरासिटामाल, ब्रुफेन मेटफार्मिन, कैटेनॉल लोल, बी कांपलेक्स, आयरन की गोलियां, फोलिक एसिड, सीपोल एंपसन, ओ आर एस, लिम्सी, टिटनेस इंजेक्शन एवं अन्य जेनेरिक दवाईयां।

छत्तीसगढ़ राज्य के नगरीय निकायों में संचालित योजना के लाभान्वितों का विवरण निम्न तालिका द्वारा प्रदर्शित किया गया है लाभान्वितों की संख्या तालिका

क्र.	नगरीय निकाय टस्ट	डडट के कुल कैम्प संख्या	कुल मरीजों की लैब टेस्ट	कुल मरीजों को दवा वितरण	कैम्प में कुल मरीजों की संख्या	प्रति डडट औसत मरीज संख्या	लैब टेस्ट का :	दवा वितरण का :
1	रायपुर	6906	111713	401827	463936	67	24.08%	86.60%
2	बीरगांव	888	13418	44482	55756	63	24.10%	79.78%
3	धमतरी	879	19169	62356	76582	87	25.03%	81.42%
4	दुर्ग	1849	22811	111618	12939342	70	17.64%	86.30%
5	भिलाई	1384	19817	95853	106587	77	18.59%	89.93%
6	रिसाली	927	12988	53484	72739	78	17.86%	76.28%
7	भिलाई चरोदा	919	12749	52360	63192	69	20.17%	82.86%
8	राजनांदगांव	1845	31069	138636	153942	83	20.18%	90.06%
9	बिलासपुर	1835	15260	147507	152292	83	10.02%	96.92%
10	कोरबा	3409	38845	170844	275716	81	14.09%	61.98%
11	रायगढ़	1751	24502	109136	117150	67	20.90%	93.16%
12	अम्बिकापुर	1725	26682	82406	124482	72	21.43%	66.20%
13	चिरमिरी	824	11780	29077	41273	50	28.54%	70.61%
14	जगदलपुर	1785	18450	85029	101648	57	18.15%	83.72%
			379253	1586845				



स्रोत :- नगरीय निकाय एवं विकास मंत्रालय, छत्तीसगढ़ शासन

विश्लेषण :-

उपरोक्त सारणी से विश्लेषण करने पर यह प्रतीत होता है कि राज्य में कुल 14 नगरीय निकायों में संचालित मुख्यमंत्री शहरी स्लम स्वास्थ्य योजना के तहत कुल 60 मोबाइल में टिकट यूनिट के तहत कुल 1934637 मरीजों का 26926 कैंपो के माध्यम से इलाज किया गया प्रत्येक एमएमयू औसत मरीजों की संख्या 72 है तथा लैब टेस्ट वाले मरीजों की संख्या रायपुर में 24.08%, बीरगांव में 24.10%, धमतरी में 25.03%, दुर्ग में 17.64%, भिलाई में 18.59%, रिसाली में 17.86%, भिलाई चरोदा में 20.17%, राजनांदगांव में 20.18%, बिलासपुर में 10.02%, कोरबा में 14.09%, रायगढ़ में 20.90%, अम्बिकापुर में 21.43%, चिरमिरी में 28.54%, जगदलपुर में 18.15% में एवं दवाई वितरण का विश्लेषण करने पर यह पाया गया कि औसत रूप से 82% मरीजों का परीक्षण उपरांत दवा का वितरण निःशुल्क किया गया जो इस योजना की सफलता को प्रदर्शित करता है।

स्लम स्वास्थ्य योजना की समस्या :-

1. इस योजना में परीक्षण का समय प्रातः 8:00 से 3:00 बजे तक है शहरी क्षेत्र में रहने वाले कामकाजी व्यक्तियों को शाम को ही काम से लौटते समय तथा सुबह जल्दी से ही चले जाते हैं उन्हें उन्हें के लिए इस योजना का लाभ नहीं मिल पा रहा है।
2. केवल छोटी-छोटी चिकित्सा का ही उपचार हो पाता है गंभीर बीमारियों हेतु इस योजना में उपचार संभव नहीं है।

सुझाव :-

1. मोबाइल यूनिट में सेवा का समय बढ़ाया जाना चाहिए ताकि और अधिक लोग इस योजना का लाभ लेकर स्वस्थ हो सकें।
2. मोबाइल यूनिट की संख्या में वृद्धि की जानी चाहिए।
3. मोबाइल यूनिट का विस्तार के वाले नगरी निकाय को ही नहीं वरन ग्रामीण क्षेत्र की जनता के लिए भी किया जाना चाहिए।
4. टेस्ट की संख्या बढ़ाई जानी चाहिए ताकि लोगों को प्राइवेट लैब में न जाना पड़े।

निष्कर्ष :-

किसी भी योजना की सफलता का पैमाना उस योजना का लाभ और लाभ उठाने वाले और उनसे मिली प्रतिक्रिया होती है इस योजना का धरातल पर क्रियान्वयन और मरीजों को मिल रहे लीज़ की हकीकत जानने जब नगरीय निकाय प्रशासन विभाग द्वारा फीडबैक पोल कराया गया तो 3:00 93% लोगों ने इसे एक्सीलेंट बहुत बढ़िया 4.18% लोगों ने बढ़िया गुड कहकर इसकी सफलता पर मुहर लगाई है अब तक लगभग 2000000 बीमार व्यक्ति इस योजना से लाभान्वित हुए हैं जिससे पुरुष महिलाएं बच्चे 30% श्रमिक एवं श्रमिक परिवारों ने इस योजना का लाभ लिया है इस सेवा को बेहतर बनाने विभाग द्वारा सतत मॉनिटरिंग और स्टाफ की उपस्थिति सुनिश्चित करने के लिए रेटिंग रियल टाइम जीपीएस सीसीटीवी कैमरा आदि की भी व्यवस्था की गई है। मुफ्त दवा और लैब टेस्ट से राज्य के बीमार व्यक्ति पर आर्थिक बोझ में भी काफी कमी आई है। अतः यह कहा जा सकता है कि मात्र 1 वर्ष में ही सबके लिए वरदान बनी इस योजना ने कोरोनाकाल में कोविड जाँच सहित वैक्सीनेशन में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है।

संदर्भ :-

जनमत

नगर निगम राजनांदगांव

उद्यमिता

1. योजना, आर्थिक एवं सांख्यिकी संचालनालय छ.ग. शासन रायपुर
2. संचालनालय नगरीय प्रशासन विभाग छ.ग. शासन

राजनांदगांव जिले में गोधन न्याय योजना का क्रियान्वयन एक समीक्षा

प्रो. एच. सी. जैन सहायक प्राध्यापक (वाणिज्य) शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)
डॉ. के. एल. टांडेकर प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

शोध सार :-

राजनांदगांव जिले के 9 विकासखंडों के 346 स्थानों से लाभान्वित हुए 21535 हितग्राहियों की आर्थिक स्थिति, जीवन स्तर में सुधार तथा प्राप्त रोजगार का अध्ययन किया गया है, यह अध्ययन छत्तीसगढ़ सरकार द्वारा संचालित ग्रामीण एवं शहरी क्षेत्रों के विकास के क्रियान्वयन के संदर्भ में छत्तीसगढ़ आदिवासी बहुलता वाला प्रदेश है, यहां की अधिकांश जनसंख्या गांवों में निवास करती है, तथा आर्थिक रूप से कमजोर है, प्रदेश के निवासियों को अधिकाधिक रोजगार प्राप्त हो सके गौपालक सहायता समूह की महिलाएं स्वावलम्बन की दिशा में आगे बढ़ सके, इस भावना को लेकर “गड़बो नवा छत्तीसगढ़” के सपनों को साकार करने के लिए प्रदेश की आंतरिक क्षमताओं गौधन संसाधनों का पूर्ण सदुपयोग करते हुए ग्रामीण क्षेत्रों का पूर्ण विकास करना है जिससे आम जन जीवन के जीवन स्तर में सुधार हो सके, उन्हें आत्मनिर्भर बना सके तथा प्रदेश खुशहाली आ सके।

प्रस्तावना:-

भारत की अधिकांश जनता कृषि पर निर्भर है छत्तीसगढ़ राज्य के लगभग 80% जनसंख्या का जीवन यापन कृषि पर निर्भर है प्रदेश के 40.10 लाख कृषक परिवारों में से 82% लघु एवं सीमांत श्रेणी में आते हैं। गाय को माता मानने के पीछे यही आस्था रही हुई है, कि गाय में समस्त देवी-देवता निवास करते हैं, व प्रकृति की कृपा भी गाय की सेवा करने से मिलती है। जो बातें हमें वेद पुराणों से ऋषि-मुनियों से और अपने पुरखों से विरासत में मिली है उसको धरातल पर लाने की योजना “गोधन नया योजना” है माननीय मुख्यमंत्री श्री भूपेश बघेल ने 20 जुलाई 2020 को इस योजना की शुरुआत की थी।

ग्रामीण क्षेत्रों में गौपालकों, महिलाओं एवं युवाओं को आर्थिक तौर पर मजबूती प्रदान करना इस योजना का लक्ष्य था। पशुपालकों के द्वारा गोबर को एकत्रित कर गौठानों तक भेजने की व्यवस्था की गई और उनके बैंक खाते में राशि का भुगतान किया जाने लगा गोबर खरीदी केंद्रों में गोबर से गौ कास्ट (गोबर से बनी लकड़ी) कंडे और वर्मी कंपोस्ट बनाया जा रहा है, उन्हें शहरों में बेचने की व्यवस्था भी इस योजना के अंतर्गत की गई है तथा इस योजना की राष्ट्रीय स्तर पर सराहना की जा रही है तथा इसे पूरे देश में लागू करने पर विचार किया जा रहा है। पर्यावरण संरक्षण और सतत विकास में उत्कृष्ट योगदान के लिए छत्तीसगढ़ सरकार की इस योजना को 20 मार्च 2021 को “स्काच गोल्ड अवार्ड” से सम्मानित किया गया है इसके पश्चात 19 अप्रैल 2022 को “एलेटस एनोवेशन अवार्ड”(ELETS INOVATION AWARD) से भी सम्मानित किया गया है जो हमारे प्रदेश के लिए अत्यन्त गर्व की बात है।

गोधनन्याय योजना की अवधारणा :-

न्यायकी अवधारणा को आगे बढ़ाते हुए छत्तीसगढ़ में माननीय मुख्यमंत्री श्री भूपेश बघेल के नेतृत्व में “गोधन न्याय योजना” को लागू करने का निर्णय लिया गया। चूंकि राज्य की अधिकांश जनता गांवों में निवास करती है उनमें भी कईयों के पास स्वयं की भूमि नहीं है सिंचाई के पर्याप्त संसाधन की कमी है एवं प्रदेश के अधिकांश स्थानों में एक फसली खेती होती है। जो मानसून पर निर्भर है, ऐसी स्थिति में ग्रामीण जनता के पास आय के कृषि के अलावा विकल्प तैयार हो सके, स्व सहायता समूह एवं युवाओं को रोजगार प्राप्त हो सके भूमिहीनो को कार्य मिल सके। इसी अवधारणा के आधार पर इस महत्वाकांक्षी योजना की शुरुआत की गई।

गोधनन्याय योजना का उद्देश्य :-

1. पशुपालकों की आय में वृद्धि।

2. पशुधन विचरण एवं खुली चराई पर रोक।
3. जैविक खाद के उपयोग को बढ़ावा एवं रासायनिक खाद के उपयोग में कमी लाना।
4. स्थानीय स्व सहायता समूह की महिलाएं एवं युवाओं, गौपालकों को रोजगार के अवसर उपलब्ध कराना।
5. विष रहित खाद्य पदार्थों की उपलब्धता एवं सुपोषण सुनिश्चित करना।
6. गौठानों के समीप तालाब का निर्माण कर मछली पालन को विकसित करना।
7. ग्रामीण क्षेत्र के निवासियों को आत्मनिर्भर बनाकर जीवन स्तर में वृद्धि करना।

शोध के प्रमुख उद्देश्य :-

1. राजनांदगांव के 9 विकासखंडों के पशुपालकों की आर्थिक स्थिति में सुधार का अध्ययन।
2. पशुधन की खुली चराई पर रोक का अध्ययन।
3. स्थानीय एवं स्व सहायता समूह को रोजगार के अवसर का अध्ययन।
4. जैविक खाद के उपयोग को बढ़ावा देने का अध्ययन।

शोध परिकल्पना :-

प्रस्तुतयोजना की शोध परिकल्पना निम्नानुसार है

1. इस योजना का सुचारु रूप से संचालन हो रहा है।
2. राज्य सरकार की इस योजना से ग्रामीण क्षेत्रों की आर्थिक स्थिति में सुधार हुआ है।
3. इस योजना से ग्रामीण क्षेत्र के गौपालकों, युवाओं एवं महिलाओं में रोजगार के अवसरों में वृद्धि हुई है।

शोध प्रविधि :-

राज्य सरकार द्वारा संचालित को गोधन न्याय योजना के हितग्राहियों के आर्थिक विकास एवं रोजगार में वृद्धि की संभावना से संबंधित इस शोध सारांश में तत्त्वों के संग्रहण विश्लेषण एवं निष्कर्ष हेतु द्वितीयक समको का उपयोग किया गया है। प्रत्यक्ष एवं अप्रत्यक्ष, प्रकाशित एवं अप्रकाशित स्रोतों का आधार लिया गया है।

शोध अध्ययन का क्षेत्र :-

शोध अध्ययन हेतु विषय का चयन एवं शोध के उद्देश्यों को निर्धारित करते हुए शोध क्षेत्र हेतु राजनांदगांव से 9 विकासखंडों को लिया गया है, तथा इन 9 विकासखंडों में पशुपालन से संबंधित क्षेत्रों को इस अध्ययन में शामिल किया गया है।

जिले में योजना का क्रियान्वयन एवं क्रय विक्रय तथा लाभ का विश्लेषण :-

राज्य सरकार की महत्वपूर्ण योजना गोधन न्याय योजना की प्रारंभ 20 जुलाई 2020 को हुई। गांव में निर्मित 2408 गौठानों से 2 रु.किलो की दर से गोबर की खरीदी की जा रही है जिनमें महिला स्व सहायता समूह की महिलाएं गोबर से वर्मी कंपोस्ट, सुपर कम्पोस्ट तथा अन्य उत्पाद तैयार कर रही है। प्रदेश में गोधन न्याय योजना के तहत 41 फीसदी भूमिहीनों को लाभ पहुंचा है राज्य में अब तक 145000 भूमिहीनों में से 59412 किसानों से गोबर की खरीदी की जा रही है। सरकार के जरिए इन्हे अब तक 71 करोड़ 72 लाख रुपये का भुगतान किया गया है। बहुत से बेरोजगार युवा भी इस योजना के जरिए गोबर एवं गोबर से निर्मित अन्य उत्पाद बेचकर अपनी आय बढ़ाने लगे हैं। भूमिहीनों को इस योजना से जोड़ने की सरकार की यह पहल कारगर साबित हो रही है। ग्रामीण क्षेत्रों में गौपालकों, महिलाओं व युवाशक्ति को आर्थिक तौर पर सुदृढ़ करना। इस योजना का प्रमुख लक्ष्य था गोबर खरीदी केंद्रों में गोबर से गौ कास्ट(गोबर से बनी लकड़ी) कंडे और वर्मी कंपोस्ट बनाया जा रहा है इसका उपयोग खेतों से लेकर गार्डनोतक में किया जा रहा है यह खाद गौठानों में बनी टंकियों में तैयार की जा रही है। इसके अतिरिक्त गौठान परिसर में ही तालाब

का निर्माण किया जा रहा है, जिसमें मछली पालन का कार्य किया जा रहा है, जिससे समूह की महिलाएं आत्मनिर्भर होने लगी है।

क्रियान्वयन के चरण निम्नानुसार है :-

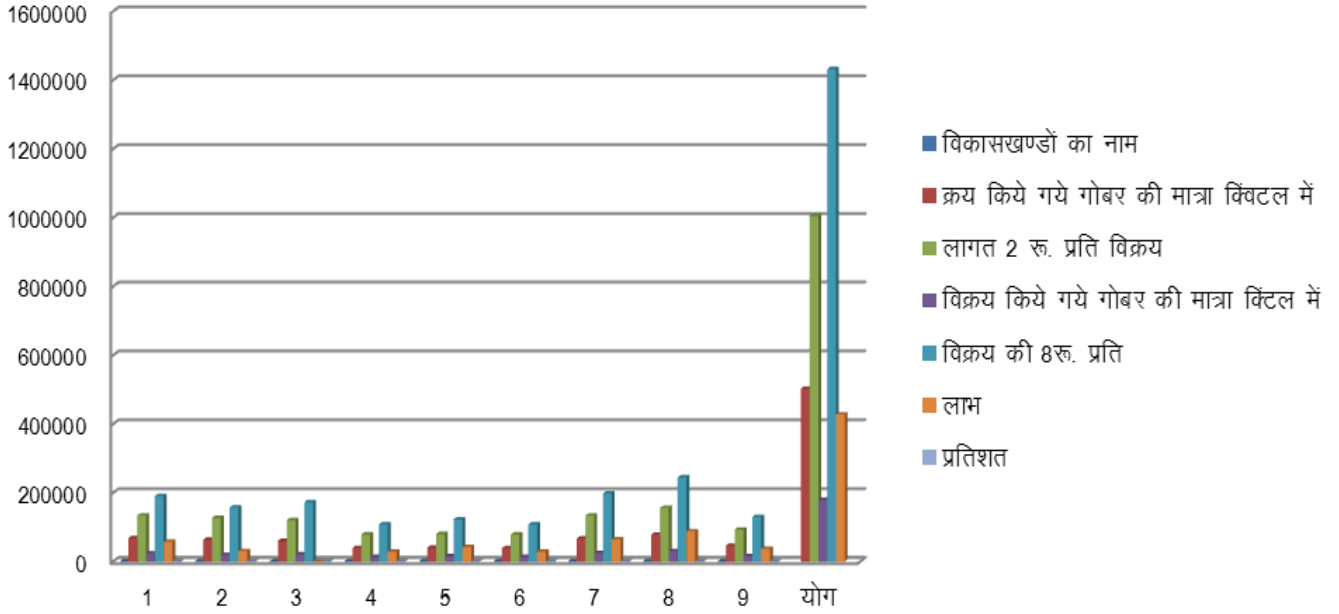
1. गोबर का क्रय एवं भुगतान की प्रक्रिया।
2. वर्मी कंपोस्ट तैयार करने हेतु प्रशिक्षण।
3. वर्मी कंपोस्ट टंकी का निर्माण।
4. गौठान में गोबर प्रसंस्करण।
5. वर्मी कंपोस्ट की पैकेजिंग।
6. वर्मी कंपोस्ट का विपणन।
7. वित्तीय व्यवस्था एवं वित्त प्रवाह।

31 मार्च 2022 तक क्रय एवं विक्रय किए गए खाद का वितरण एवं लाभ का प्रतिशत

Ø-	विकासखण्डों का नाम	क्रय किये गये गोबर की मात्रा (क्विंटल में)	लागत 2 रु. प्रति कि.ग्रा. विक्रय	विक्रय किये गये गोबर की मात्रा क्विंटल में	विक्रय की 8 रु. प्रति कि.ग्रा.	लाभ	लाभ :में
1	राजनांदगांव	68117.35	134234.7	23853.05	190824.40	57589.7	42.17%
2	डोंगरगढ़	63421.33	126842.66	19645.33	157162.64	30319.98	23.90%
3	छुरिया	60085.36	120170.72	21621.27	172970.16	527.99.44	43.94%
4	डोंगरगांव	39519.56	79039.12	13493.96	107951.68	28912.56	36.60%
5	खैरागढ़	40120.19	80240.38	15312.19	122497.52	42257.14	52.67%
6	छुईखदान	39462.49	78924.18	13466.07	107728.56	28803.58	36.56%
7	अम्बागढ़ चौकी	67042.08	134084.16	24844.65	198757.20	64673.04	48.23%
8	मोहला	78173.53	156347.1	30583.98	244671.84	88324.74	56.49%
9	मानपुर	46352.09	92704.18	16225.04	129800.32	37096.14	40.02%
	योग	502294.00	1004588	179025.54	1432204.32	427616.32	

स्रोत :-सांख्यिकीय आंकड़ों से प्राप्त जानकारी

रेखाचित्र विश्लेषण



उपरोक्त सारणी का विश्लेषण करने पर यह प्रतीत होता है, कि राजनांदगांव जिले के 9 विकासखंडों में लाभ का प्रतिशत राजनांदगांव में 42.17%, छुरिया में 40.94%, खैरागढ़ में 52.67%, अम्बागढ़ चौकी में 48.23% है, जो कि ग्रामीण क्षेत्रों में विकास के दृष्टिकोण से सुदृढ़ आधार के रूप में ग्रामीणों को लाभ पहुंचा रहा है, एवं उनकी आर्थिक स्थिति को सुदृढ़ कर जीवन स्तर को बढ़ा रहा है।

समस्या :-

- भुगतान की समस्या**—चूंकि यह योजना राज्य सरकार द्वारा संचालित है जिसके वित्तीय स्रोत की व्यवस्था शासन द्वारा की जाती है क्योंकि गोबर के विक्रय के पश्चात 15 दिन बाद भुगतान किया जाता है ग्रामीणों तथा स्व सहायता समूह को जब राशि की तत्काल आवश्यकता होती है, तब वह उसे तुरंत प्राप्त नहीं हो पाती है।
- परिवहन की समस्या**— प्रत्येक ग्रामीणों के पास गोठानों तक गोबर को विक्रय हेतु पहुंचाने के लिए परिवहन की समुचित व्यवस्था नहीं हो पाती है जिससे संग्रहण केंद्र तक पहुंचाने पर उस पर अतिरिक्त वित्तीय भार पड़ता है।
- प्रचार प्रसार की समस्या** — योजना का समुचित प्रसार प्रत्येक ग्रामीण क्षेत्र में नहीं हो पाया है।
- रासायनिक खाद के प्रयोग की बहुलता** — अधिकतर ग्रामीण क्षेत्र कृषि करने हेतु रासायनिक खाद का उपयोग करते हैं जिससे जैविक खाद के प्रयोग को पर्याप्त स्थान नहीं मिल पाया है।
- ग्रामीण क्षेत्रों में क्रय की रफ्तार ढीमी** — ग्रामीण क्षेत्रों में गोबर खरीदी की रफ्तार समितियों के सक्रियता की कमी से अत्यंत कम है।

उत्पादों के विक्रय की समस्या :-

गोधन न्याय योजना के जरिए महिला कामकाजी समूह के सशक्तिकरण का प्रयास अभी शीथिल है उत्पादों की भी मांग जागरूकता के अभाव में पूर्ति की तुलना में बहुत कम है। उत्पादों की आपूर्ति न होने की वजह से इनके कामकाज फिलहाल ठप्प से हो गए हैं।

1. शासन द्वारा ग्रामीणों को वित्त व्यवस्था शीघ्र उपलब्ध कराई जाए ताकि उन्हें किसी भी प्रकार की आर्थिक समस्या का सामना न करना पड़े।
2. परिवहन के संसाधनों को भी समुचित रूप से विकसित किया जाए।
3. योजना का उचित प्रचार प्रसार कर ग्रामीणों में फैली भ्रांतियों का निराकरण किया जाए एवं जैविक खेती हेतु प्रोत्साहित किया जाए।
4. स्व सहायता समूह द्वारा उत्पादित उत्पादों के विपणन हेतु समुचित प्रबंध किए जाए मांग को बढ़ाने हेतु पर्याप्त विज्ञापन की भी आवश्यकता है।
5. क्रय समितियों को ग्रामीण क्षेत्रों में ज्यादा सक्रिय बनाया जाए ताकि ग्रामीणों को इस योजना का वास्तविक लाभ मिल सके।

निष्कर्ष :-

निष्कर्ष रूप से यह कहा जा सकता है कि राजनांदगांव जिले में गोधन न्याय योजना एवं उसमें लगे गौपालको, ग्रामीणों युवाओं महिलाओं एवं भूमिहीनों के आर्थिक आय को बढ़ाकर एवं रोजगार के नए अवसर उपलब्ध कराकर बेरोजगारी एवं गरीबी जैसी समस्या को दूर करने में मील का पत्थर साबित होगी। योजना के पूर्व जहां पहले गोबर का उपयोग नहीं के बराबर हो पाता था, तथा शासन की इस योजना ने ग्रामीणों को प्रशिक्षित कर गोबर के विविध उपयोग, खाद, दवाइयां, कंडे कास्ट आदि बनाने की विधि से न केवल ग्रामीणों का आर्थिक विकास होगा, वरन राज्य स्तर पर भी तीव्र ग्रामीण विकास को गति मिली है। गौठानों का उपयोग स्व सहायता समूह की महिलाएं वर्मी कंपोस्ट निर्माण की विधि सीखने में करेगी तथा गोबर से अन्य उत्पादों को भी निर्मित कर अपनी आय में वृद्धि करेगी, तात्पर्य यह है कि गौठानों के माध्यम से ग्रामीणों ने उत्पादन को तो बढ़ाया ही है, गांव में रोजगार के नए अवसर का भी निर्माण किया है।

संदर्भसूची

जनमत

कार्यालय जिला पंचायत राजनांदगांव

विकीपीडिया

समाचार पत्रिका

इंटरनेट

पूर्वदेवा

ISSN 0974-1100

सामाजिक विज्ञान शोध पत्रिका

P Ū R V A D E V Ā - A Social Science Research Journal

Peer Reviewed Bilingual International Research Journal
The Journal indexed in the UGC-CARE list.

वर्ष 28 अंक 112 * जनवरी-मार्च, 2023

प्रधान सम्पादक

डॉ. हरिमोहन धवन



मध्यप्रदेश दलित साहित्य अकादमी प्रकाशन

भारत में सतत् औद्योगिक विकास एवं पर्यावरण एक समीक्षात्मक अध्ययन

डॉ. के.एल. टाण्डेकर

प्राचार्य, शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

डॉ. (श्रीमती) मीना प्रसाद

सहायक प्राध्यापक, अर्थशास्त्र, दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

सारांश

औद्योगिक विकास आर्थिक विकास का मुख्य अंग है। आर्थिक विकास की अवस्था ही स्थानीय अथवा घरेलू बाजार का आकार निर्धारित करती है तथा व्यवसाय को प्रभावित करती है।¹ विश्व के देशों को विकसित व विकासशील देशों के रूप में विभाजन का मुख्य आधार औद्योगिक विकास को ही माना जाता है भारत में सतत् औद्योगिक विकास ने प्राकृतिक संसाधनों के अत्यधिक व गैर योजनाबद्ध विदोहन से पर्यावरण असंतुलन व प्रदूषण की समस्या उत्पन्न कर दिया है। औद्योगिकरण से वायु, जल, मृदा सबसे ज्यादा प्रदूषित हुए हैं, देश के 180 से अधिक शहर गुणवत्ता मानकों से 6 गुना अधिक प्रदूषित पाए गए हैं। 14 शहर विश्व के सबसे ज्यादा प्रदूषित शहरों में आगे हैं भारत में बढ़ता औद्योगिक विकास भूजल नदियों, नालों के जल को भी प्रदूषित कर रहे हैं। प्रकृति में जो कुछ भी हमें परिलक्षित होता वायु, जल, मृदा, पादक तथा प्राणी सभी सम्मिलित रूप से पर्यावरण की रचना करते हैं।² यही कारण है कि प्रदूषित मृदा से उत्पादकता तथा गुणवत्ता कम हुई है तथा वन क्षेत्रों का लगातार विनाश भी औद्योगिक विकास को माना जा सकता है। किसी भी देश की अर्थव्यवस्था के विकास को प्रोत्साहित करने के लिए पूंजी निर्माण आवश्यक है, जो विशेषकर बचत निवेश पर निर्भर करता है। इसी माध्यम से उद्योगों की स्थापना सुगमता से की जा सकती है औद्योगिक संरचना उस देश के रोजगार एवं आय सृजन में सहायक होती है वर्तमान में भारत देश की आर्थिक स्थिति यह अभिव्यक्त करती है कि भारत की सतत् औद्योगिक विकास दर आर्थिक समृद्धि में, महत्वपूर्ण भूमिका अदा कर रही है। औद्योगिक विकास को पर्यावरण के अनुकूल पर्यावरण मित्र बनाना होगा तथा दोनों को साथ-साथ लेकर चलना होगा।
शब्द कुंजी : औद्योगिक विकास, पर्यावरण संवर्धन संरक्षण, ओजोन परत, प्राकृतिक संसाधन, भारतीय अर्थव्यवस्था, पंचवर्षीय योजना।

पूर्वदेवा

ISSN 0974-1100

सामाजिक विज्ञान शोध पत्रिका

P Ū R V A D E V Ā - A Social Science Research Journal

Peer Reviewed Bilingual International Research Journal
The Journal indexed in the UGC-CARE list.

वर्ष 28 अंक 112 * जनवरी-मार्च, 2023

प्रधान सम्पादक

डॉ. हरिमोहन धवन



मध्यप्रदेश दलित साहित्य अकादमी प्रकाशन

अटल विहार आवास योजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान (छत्तीसगढ़ राजनांदगाँव, नगर निगम क्षेत्र के विशेष संदर्भ में)

कृ. रागिनी पराटे

सहायक प्राध्यापक, वाणिज्य, शासकीय दिग्विजय स्वशासी महाविद्यालय, राजनांदगाँव .

डॉ.के.एल.टांडेकर

प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगाँव (छ.ग.)

सारांश

राज्य के नागरिकों को आवास की सुविधा प्रदान करने के लिए राज्य शासन द्वारा महत्वाकांक्षी योजनाओं को पूर्ण करने के लिए अटल विहार आवास योजना की शुरुवात की गई। इस योजना का क्रियान्वयन राज्य स्तर पर छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल द्वारा किया जा रहा है इस आवास योजना अंतर्गत प्रत्येक हितग्राहियों को अनुदान प्रदान किया जाता है। वर्तमान में शासन द्वारा वर्तमान में राज्य स्तर पर 50000 से अधिक भवनों का निर्माण किया जा चुका है। इस योजना में लगभग 800000 से 2500000 रुपये तक भवन का मूल्य निर्धारित किया गया है।¹ इस योजना में भवनों के क्रय हेतु भाड़ा क्रय योजना के माध्यम से किस्त भुगतान की सुविधा 10-15 वर्षों तक प्रदान की जा रही है इसके द्वारा निम्न आय स्तर के नागरिकों को आवास की सुविधा प्रदान की जा रही है। इस योजना के माध्यम से हितग्राहियों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास होता है।

मुख्य शब्द : अटल विहार आवास योजना, सामाजिक एवं आर्थिक विकास ,योजना का क्रियान्वयन ,छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल

प्रस्तावना

प्राचीन काल में मानव की मूलभूत आवश्यकताएं थी रोटी कपड़ा और मकान प्राचीन काल से ही मानव घास ,फूस से बने कच्चे मकान में निवास करता था तथा समयानुसार वह स्वयं के आवास स्थान में परिवर्तन करता था। आधुनिक युग में भी मानव की मूलभूत आवश्यकताओं में कदापि परिवर्तन नहीं हुआ है तथा वर्तमान में भी मानव आवास में निवास करता है।

आवास से आशय किसी भी जीव के ऐसे परिवेश से है। जिसमें वह निवास करता है। प्राचीन काल में भी आवास की समस्या थी ,जो वर्तमान में भी बनी हुई है। प्रमुख समस्याओं में मलिन बस्ती की समस्या ,कच्चे मकान की समस्या मकान में मूलभूत सुविधा का आभाव आदि हैं।

पूर्वदेवा

ISSN 0974-1100

सामाजिक विज्ञान शोध पत्रिका

P Ū R V A D E V Ā - A Social Science Research Journal

Peer Reviewed Bilingual International Research Journal
The Journal indexed in the UGC-CARE list.

वर्ष 28 अंक 112 * जनवरी-मार्च, 2023

प्रधान सम्पादक

डॉ. हरिमोहन धवन



मध्यप्रदेश दलित साहित्य अकादमी प्रकाशन

अटल विहार आवास योजना का हितग्राहियों के आर्थिक एवं सामाजिक विकास में योगदान (छत्तीसगढ़ राजनांदगाँव, नगर निगम क्षेत्र के विशेष संदर्भ में)

कृ. रागिनी पराटे

सहायक प्राध्यापक, वाणिज्य, शासकीय दिग्विजय स्वशासी महाविद्यालय, राजनांदगाँव .

डॉ.के.एल.टांडेकर

प्राचार्य शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगाँव (छ.ग.)

सारांश

राज्य के नागरिकों को आवास की सुविधा प्रदान करने के लिए राज्य शासन द्वारा महत्वाकांक्षी योजनाओं को पूर्ण करने के लिए अटल विहार आवास योजना की शुरुवात की गई। इस योजना का क्रियान्वयन राज्य स्तर पर छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल द्वारा किया जा रहा है इस आवास योजना अंतर्गत प्रत्येक हितग्राहियों को अनुदान प्रदान किया जाता है। वर्तमान में शासन द्वारा वर्तमान में राज्य स्तर पर 50000 से अधिक भवनों का निर्माण किया जा चुका है। इस योजना में लगभग 800000 से 2500000 रुपये तक भवन का मूल्य निर्धारित किया गया है।¹ इस योजना में भवनों के क्रय हेतु भाड़ा क्रय योजना के माध्यम से किस्त भुगतान की सुविधा 10-15 वर्षों तक प्रदान की जा रही है इसके द्वारा निम्न आय स्तर के नागरिकों को आवास की सुविधा प्रदान की जा रही है। इस योजना के माध्यम से हितग्राहियों का आर्थिक एवं सामाजिक विकास होता है।

मुख्य शब्द : अटल विहार आवास योजना, सामाजिक एवं आर्थिक विकास ,योजना का क्रियान्वयन ,छत्तीसगढ़ गृह निर्माण मंडल

प्रस्तावना

प्राचीन काल में मानव की मूलभूत आवश्यकताएं थी रोटी कपड़ा और मकान प्राचीन काल से ही मानव घास ,फूस से बने कच्चे मकान में निवास करता था तथा समयानुसार वह स्वयं के आवास स्थान में परिवर्तन करता था। आधुनिक युग में भी मानव की मूलभूत आवश्यकताओं में कदापि परिवर्तन नहीं हुआ है तथा वर्तमान में भी मानव आवास में निवास करता है।

आवास से आशय किसी भी जीव के ऐसे परिवेश से है। जिसमें वह निवास करता है। प्राचीन काल में भी आवास की समस्या थी ,जो वर्तमान में भी बनी हुई है। प्रमुख समस्याओं में मलिन बस्ती की समस्या ,कच्चे मकान की समस्या मकान में मूलभूत सुविधा का आभाव आदि हैं।



Novel glycoluril pharmaceutically active compound as a green corrosion inhibitor for the oil and gas industry

Elyor Berdimurodov^{a,*}, Abduvali Kholikov^a, Khamdam Akbarov^a, Lei Guo^{b,c,*}, Savaş Kaya^d, Dakeshwar Kumar Verma^e, Mohamed Rbaa^f, Omar Dagdag^g

^a Faculty of Chemistry, National University of Uzbekistan, Tashkent 100034, Uzbekistan

^b School of Materials and Chemical Engineering, Tongren University, Tongren 554300, China

^c School of Oil and Natural Gas Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China

^d Cumhuriyet University Health Services Vocational School, Department of Pharmacy, 58140 Sivas, Turkey

^e Department of Chemistry, Government Digvijay Autonomous Postgraduate College, Rajnandgaon, Chhattisgarh 491441, India

^f Laboratory of Organic Chemistry, Catalysis and Environment, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, PO Box 133, 14000 Kenitra, Morocco

^g Institute of Nanotechnology and Water Sustainability, College of Science, Engineering and Technology, University of South Africa, Johannesburg, South Africa

ARTICLE INFO

Keywords:

Carbon steel

Corrosion inhibitor

Glycoluril pharmaceutically active compound

Salty medium

NaCl

CO₂ and H₂S corrosion

ABSTRACT

Background: The corrosion of St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S is a large problem in the chemical industry; therefore, creating green and more efficient inhibitors is an urgent task. However, there have been extremely limited research results related to this problem. In this research, a novel glycoluril pharmaceutically active compound (GCU) was first introduced as a green corrosion inhibitor for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S.

Methods: The inhibition properties of the novel glycoluril pharmaceutically active compound were fully characterized by thermodynamic, gravimetric, electrochemical impedance spectroscopy (EIS), potentiodynamic polarization (PDP), electrochemical frequency modulation (EFM), linear polarization resistance (LPR), density functional theory (DFT), molecular dynamics (MD) simulation, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectrometry (EDX) methods.

Significant findings: The obtained results indicated that this inhibitor is an excellent inhibitory molecule, and its maximum protection degree was 95.62% at 100 mg/L/0.08 mM. The adsorption behaviour of this inhibitor was characterized from a Langmuir isotherm. Electrochemical studies demonstrated that this molecule is a mixed-type corrosion inhibitor. The theoretical calculations indicated a good correlation with the experimental results and confirmed that the adsorption–inhibition character depends on the molecular structure of the inhibitor and that the protonated form of the inhibitor is more inhibited than its neutral form.

1. Introduction

Carbon steel, a mainly metallic material, is used in the oil and gas industry (especially, central Asia, some European countries, Russian federation) because it is inexpensive, exhibits good mechanical behaviour and is a more effective metallic material for crude oil and gas transportation in pipelines [1–3]. The metallic corrosion of carbon steel is a large problem. Crude oil and gas, enriched with salts and CO₂ and H₂S gases in the aqueous phase, flow inside carbon steel pipes during transportation processes. The saturated CO₂ and H₂S gases form H₂CO₃ acid H₂S acids, which are the main reason for acidic corrosion inside the steel pipes. Crude oils contain more salts, which are mainly

chloride ionic salts [4–7]. These chloride ions make crude oil and gas more destructive and promote localized corrosion. The salts cover the metal surface; as a result, a thin layer is formed on the metal surface, which supports the adsorption of CO₂ and H₂S gases inside the steel pipes. Then, the adsorbed acidic gases corrode the metal surface. This corrosion process inside steel pipes is a large problem in the oil and gas industry because metallic destruction is an economical, ecological and environmental disaster [8–12].

Currently, researchers have suggested that using corrosion inhibitors is an effective way to protect the steel surface inside metal pipes in the oil and gas industries. Corrosion inhibitors are soluble in the aqueous phase of crude oil and gas [13,14]. These inhibitors are effective

* Corresponding authors at: Faculty of Chemistry, National University of Uzbekistan, Tashkent 100034, Uzbekistan (E. Berdimurodova). School of Materials and Chemical Engineering, Tongren University, Tongren 554300, China (L. Guo).

E-mail addresses: elyor170690@gmail.com (E. Berdimurodov), cqglei@163.com (L. Guo).

<https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2022.116055>

Received 20 October 2021; Received in revised form 11 January 2022; Accepted 13 January 2022

Available online 18 January 2022

1572-6657/© 2022 Elsevier B.V. All rights reserved.

Nomenclature

GCU	Novel glycoluril pharmaceutically active compound: the systematic name of GCU is (3ar,6ar)-3a,6a-bis(4-((3,5-bis(2-(3-(<i>tert</i> -butyl)phenyl)propan-2-yl)phenyl)diazanyl)phenyl)tetrahydroimidazo[4,5- <i>d</i>]imidazole-2,5(1 <i>H</i> ,3 <i>H</i>)-dione.	$E_{inh+solu}$	Total energy of the inhibitor and solution
EFM	Electrochemical frequency modulation	St2	Low-carbon steel (Number 2 mark)
PDP	Potentiodynamic polarization	$\eta_{Grav.}$	Degree of protection
EIS	Electrochemical impedance spectroscopy	$CR_{Grav.}$	Corrosion rate
DFT	Density functional theory	$\theta_{Grav.}$	Degree of surface coverage
MD simulations	Molecular dynamics simulations	W_0	Mass losses of the metal sample in the corrosive solution
SEM	Scanning electron microscopy	W_{inh}	Mass losses of the metal sample in the inhibited solution
EDX	Energy dispersive X-ray spectrometry	η_{EIS}	Inhibition protection by EIS
R_{ct}^0	Charge transfer resistances in the inhibitor-free solution	R_{ct}^i	Charge transfer resistances in the inhibitor-containing solution
η_{PDP}	Inhibition protection by PDP	B3LYP	Three-parameter Lee–Yang–Parr correlation function by Becke
i_{PDP}^0	Corrosion current densities in the corrosive solution by PDP	6–311G**	Gaussian basis sets
i_{PDP}^i	Corrosion current densities in the inhibited solution by PDP	ΔH_a	Enthalpy
IE_{EFM}	Inhibition protection by EFM	ΔS_a	Entropy
i_{corr}^{inh}	Corrosion currents in the solution with inhibitor by EFM	h	Planck constant (6.626×10^{-34} m ² kg/s)
i_{corr}^0	Corrosion currents in the solution without inhibitor by EFM	N	Avogadro number (6.12×10^{23})
C_{inh}	Inhibitor concentration	R^2	Regressive coefficient
K_{ads}	Equilibrium constant of the adsorption–desorption processes	E_a	Activation energy
ΔH_{ads}^0	Standard enthalpy of adsorption	ΔG_{ads}^0	Standard Gibbs energy of adsorption
R_s	Solution resistance	ΔS_{ads}^0	Standard entropy of adsorption
CPE	Constant phase element	Y_0	Magnitude of the CPE
R_{ct}	Charge transfer resistance	i	Imaginary unit
f	AC frequency	ω	Angular frequency,
ω_{max}	Maximum angular frequencies	n	Phase shift (CPE exponent)
ϵ^0	Dielectric constant in vacuum	C_{dl}	Double-layer capacitance
d	Distance between the two layers	ϵ	Dielectric constant of solution
χ^2	Chi-square value	A	Diameter of the surface area
E_{corr}	Corrosion potential	OCP	Open-circuit potential
β_a	Tafel anodic slope	LUMO	Lowest unoccupied molecular orbital
β_c	Tafel cathodic slope	HOMO	Highest occupied molecular orbital
MEP	Molecular electrostatic potential	FMO	Frontier molecular orbital analysis
$\omega(+)^{DFT}_{inh}$	Electrodonating power	$E_{HOMO}^{DFT}(inh)$	HOMO energy
$\omega(-)^{DFT}_{inh}$	Electroaccepting power	$E_{LUMO}^{DFT}(inh)$	LUMO energy
μ_{inh}^{DFT}	Electronic chemical potential	a_{inh}^{DFT}	α - polarizability
ω_{inh}^{DFT}	Electrophilicity index	A_{inh}^{DFT}	Electron affinity
I_{inh}^{DFT}	Molecular ionization potential	ϵ_{inh}^{DFT}	Nucleophilicity
σ_{inh}^{DFT}	Chemical softness	χ_{inh}^{DFT}	Electronic negativity
β_{inh}^{DFT}	β - polarizability	η_{inh}^{DFT}	Chemical hardness
ΔN_{inh}^{DFT}	Fraction of electrons transferred from the inhibitor molecule to the metal surface (related to Koopmans's theory)	γ_{inh}^{DFT}	γ - polarizability
f_k^- high	Most nucleophilic attack sites	$\Delta\mu_{inh}^{DFT}$	Metal–inhibitor interaction energy
f_k^0 high	Most neutral attack sites	f_k^+ high	Most electrophilic attack sites
$P_k(N)$	Neutral molecules	$P_k(N+1)$	Anionic molecules
RDF	Radial distribution function	$P_k(N-1)$	Cationic molecules
N_A	Probability of finding particle A	$g(r)$	Length of the link
ρ_B	Particle density of B	N_B	Probability of finding particle B
$\text{\AA}$	Angstrom	r	Radius
E_{total}	Energy of the entire system	E_{ads}	Adsorption energy
		$E_{surf+solu}$	Total energy of the Fe(110) surface and solution without the inhibitor
		E_{solu}	Potential energy of the solvent molecules

tive adsorbers and form a protective film on the metal surface, which is thermodynamically stable and not soluble in aggressive acidic solutions. The formed protective film can insulate the metal surface from acidic solutions [15–18]. The acidic attacks of CO₂ or H₂S gas and saline corrosion on the metal surface block the presence of the inhibitor. The corrosion inhibitor chemically and physically links with iron to form rigid covalent and electrostatic bonds. As a result, the inhibitor covers the metal surface to defend against metallic corrosion. Corrosion inhibitors are organic compounds that contain heteroatoms (phos-

phorus, nitrogen, oxygen and nitrogen), aromatic rings and polar functional groups (–C=N–, –NH₂, –OH, –OCH₃, –SH) [19–22]. The π -electrons in the aromatic rings and electron pairs in the heteroatoms of the corrosion inhibitor are mainly responsible for the inhibition properties. These electrons are transferred to the d-orbitals of iron on the metal surface; consequently, a protective film is formed [23–25].

At present, amino, polymer, macrocyclic, ionic liquids, expired drug and heterocyclic compounds are widely used to protect against

metal corrosion in the gas and oil industry. Among these inhibitors, pharmaceutically active compounds are more environmentally friendly than historical inhibitors [26,27]. These inhibitors have more active sites, which are adsorbed on the metal surface and insulate the metal from corrosion destruction. Pharmaceutically active compounds have a large molecular structure and are more polar, which support excellent surface coverage and protect the metals. Their molecular structure has more electron-rich heteroatoms and active functional groups, which promote the adsorption behaviour of the inhibitors. Pharmaceutically active corrosion inhibitors are soluble in polar electrolytes due to the presence of numerous polar functional groups [28,29].

Table 1 shows the characteristics of recently studied pharmaceutically active corrosion inhibitors. Recently, pharmaceutical corrosion inhibitors have been researched in saline and acidic solutions. Nearly all studied pharmaceutical corrosion inhibitors are mixed-type inhibitors related to the Langmuir isotherm. These substances are excellent corrosion inhibitors for steel and other metal types in aggressive saline and acidic corrosive solutions at medium inhibitor concentrations. Mostly, a 3.5% NaCl solution was selected as a corrosive solution because it supports artificial salinity solutions. Pharmaceutical corrosion inhibitors can protect steel materials from saline corrosion. For example, rabeprazole sodium, domperidone, benfotiamine, penicillin G, and sulfamethazine were investigated in 3.5% NaCl solution, and

it was found that these inhibitors are a mixed-type with anodic dominance. The anodic iron reduction was significantly decreased in the presence of these inhibitors. The inhibition properties of ketoconazole for 3.5% M NaCl + 0.1 M Na₂SO₄ and penicillin V for Na₂S + Na₂SO₄ (pH-3) were investigated. These inhibitors are also mixed-type inhibitors for steel and good defenders of metals. The more negative nitrogen and oxygen atoms in these inhibitors promote adsorption. Drug inhibitors are also the most valuable inhibitors in acidic corrosion (HCl, HNO₃, H₂SO₄). A protective film on the metal surface can be formed from the adsorption of drug inhibitors. The protective film is stable in more acidic environments on metal surfaces and effectively insulates the surfaces from acidic electrolyte solutions.

The corrosion of St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S is a large problem in the chemical industry; therefore, creating green and more efficient inhibitors is an urgent task. However, there have been extremely limited research results related to this problem. The novelty of this research work is that the inhibition of carbon steel in alkaline-acid solution (1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S) by a novel glycoluril (GCU) pharmaceutically active compound was first investigated. The reason for the selection of GCU is that it is environmentally friendly (green) and has several applications as antimicrobial, anti-inflammatory, antibacterial, anticonvulsant, antitumour, and analgesic agents [30,50]. The 1 M NaCl solution saturated with CO₂ and H₂S was selected as a corrosive solution because the inside

Table 1
Comparison of GCU with pharmaceutically active corrosion inhibitors.

J#	Name of the pharmaceutically active corrosion inhibitor	Type of solution	Metal type	Nature of adsorption	Inhibitor concentration	Inhibitor efficiency, %	Year, Ref. (s)
Inhibitor in the saline solution							
1	<i>Acarbose, Voglibose, Miglito</i>	700 ppm NaCl	Mild steel	Anodic-type, Langmuir	125 ppm	82–86%	2020, [31]
2	<i>Rabeprazolesodium, Domperidone, Benfotiamine</i>	3.5% NaCl	Mild steel	Mixed-type, Langmuir	200 ppm	58–63%	2019, [32]
3	<i>Penicillin G</i>	3.5% NaCl	304 SS	Mixed-type	5.0 mM	87.1%	2019, [33]
4	<i>Azithromycin</i>	0.9% NaCl	Copper	Mixed-type, Langmuir	5×10^{-3} M	95.76%	2018, [34]
5	<i>Sulfamethazine</i>	3.5% NaCl	Mild steel	Coating	–	–	2007, [35]
6	<i>Streptomycin</i>	Sea water	Carbon steel	Mixed-type, Langmuir	0.52 mM	40.48%	2016, [36]
7	<i>Ketoconazole</i>	3.5% M NaCl + 0.1 M Na ₂ SO ₄	Bronze	Mixed-type, Langmuir	10 ppm	66%	2017, [37]
8	<i>Penicillin V</i>	Na ₂ S + Na ₂ SO ₄ (pH-3)	Carbon steel	Mixed-type, Langmuir	500 ppm	92.2%	2020, [38]
Inhibitor in the acidic solution							
9	<i>Dicloxacillin</i>	0.5 M HNO ₃	AA6063	–	–	58.9%	2019, [39]
10	<i>Cefadroxil</i>	1 M HNO ₃	Copper	Langmuir	2 mM	94%	2019, [40]
11	<i>Ciprofloxacin</i>	1 M HNO ₃	Copper	Langmuir	0.5 & 1 mM	–	2017, [41]
12	<i>Sulfamethazine</i>	2 M H ₃ PO ₄	Carbon steel	Mixed-type, thermodynamic model	5×10^{-4} M	90%	2016, [42]
13	<i>Penicillamine</i>	1 M HCl	Mild steel	Mixed-type, Langmuir	5 mM	49%	2020, [43]
14	<i>Metformin</i>	15% HCl	Carbon steel	Cathodic-type, Langmuir	1000 ppm	68.79%	2020, [44]
15	<i>Dapsone-Salicylaldehyde</i>	0.5 M H ₂ SO ₄	Mild steel	Mixed-type, Langmuir	0.219 mM	94.23%	2019, [45]
16	<i>Pioglitazone</i>	1 N HCl	Mild steel	Mixed-type, Langmuir	14×10^{-4}	79.51%	2020, [46]
17	<i>Dexamethasone</i>	2 M HCl	Mild steel	Mixed-type, Langmuir	0.4 g/L	80%	2020, [47]
18	<i>Rosuvastatin</i>	0.5 M H ₂ SO ₄	Carbon steel	Mixed-type, Langmuir	600 ppm	92%	2019, [48]
19	<i>Tramado</i>	1.0 M HCl	Aluminium	Mixed-type, Langmuir	500 ppm	98.04%	2019, [49]
Acidic-saline solution (Present work)							
20	GCU	1 M NaCl saturated with CO ₂ and H ₂ S	Carbon steel	Mixed-type, Langmuir	100 mg/L/ 0.08 mM	95.62%	Pre-sent work

of the metal pipes of the gas and oil industry are corroded via the aqueous phase of crude oil and gas during transportation processes. The aqueous phase was enriched with chloride ions and CO₂ and H₂S gases, which are mainly responsible for metallic corrosion destruction. To date, there have been no studies related to the corrosion inhibition of steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S. In this research, the inhibition of carbon steel in these solutions was first studied. Therefore, the novel glycoluril pharmaceutically active compound was first introduced as a green corrosion inhibitor for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S. The inhibition properties of the novel glycoluril pharmaceutically active compound were fully characterized by thermodynamic, gravimetric, electrochemical impedance spectroscopy (EIS), potentiodynamic polarization (PDP), electrochemical frequency modulation (EFM), linear polarization resistance (LPR), density functional theory (DFT), molecular dynamics (MD) simulations, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectrometry (EDX) methods.

2. Experimental

2.1. St3 steel sample and tested solution

St3 steel is member of carbon steel. The carbon percentage in the steel is approximately 0.3%. In the gas and oil industry, carbon steel pipes are used during crude oil and gas transportation. Corrosion destruction in the aqueous phase of crude oil is the greatest problem [15,20]. Therefore, St3 steel was selected in the present work, and its elementary compositions are as follows: 0.14–0.12% C, 0.15–0.3% Si, 0.4–0.65% Mn, to 0.3% Ni, to 0.05% S, to 0.04% P, to 0.3% Cr, to 0.008% N, to 0.3% Cu, to 0.08% As, and ~ 97% Fe [6,15]. The selected steel sample was abraded with the varying grades (#800 grit size) of emery paper before the corrosion testing. As a results, the metal surface was became smooth and clean. Next, the metal samples were three times washed with double-distilled water and alcohol. Then, it was degrease with the acetone. Finally, it was dried on the air. The 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S solution was selected as a corrosion solution; this is because crude oil contains the more chloride ions and CO₂ and H₂S gases. The 1 M NaCl solution was prepared with solid NaCl solids. Then, the CO₂ and H₂S gases were purged into the prepared NaCl solution under 1 atmosphere pressure. During the experiment, the CO₂ and H₂S gases were bubbled in an electrochemical cell (pH = 4.2, the time of deaeration of the corrosion cell is 30 min). The experiments were carried out on the 303, 313, 323 and 333 K.

2.2. Glycoluril pharmaceutically active (GCU) inhibitor

The glycoluril pharmaceutically active (GCU) was chosen as a corrosion inhibitor for carbon steel. The chemical structure of GCU was indicated in Fig. 1. The systematic name of GCU is (3ar,6ar)-3a,6a-bis(4-((3,5-bis(2-(3-(*tert*-butyl)phenyl)propan-2-yl)phenyl)diazanyl)phenyl)tetrahydroimidazo[4,5-*d*]imidazole-2,5(1H,3H)-dione. The structural characteristics and synthesis methodology were fully described in [30,50]. The selected corrosion inhibitor was synthesised based on the glycolurils and azobenzenes, which are prepared from low-cost product such as urea and glyoxal [30,50]. The reaction yield is also over 85–90% with room temperature. These properties make GCU become economical-efficient corrosion inhibitor. The selected corrosion solution is very aggressive, because, this solution enriched with more acidic gases and chloride ions. The corrosion protection of St3 steel in the 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S is very difficult. The inhibitor for this solution need to more efficient. GCU have many good inhibition behaviours. This inhibitor contained many benzoyl rings and more negative nitrogen atoms. These aromatic rings and heteroatom make GCU to be more effective corrosion inhibitor. This

inhibitor is large size molecule, this support cover the large part on the metal surface.

2.3. Thermodynamic and gravimetric analysis

Thermodynamic and gravimetric analyses were carried out on a 3 cm × 3 cm × 0.1 cm St3 steel sample in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S without and with the GCU Fig 10 corrosion inhibitor at various concentrations (25, 50, 75 and 100 mg/L) and temperatures (303, 313, 323 and 333 K). The metal sample was immersed in the tested solutions for 76 h before performing the experiments [27]. After immersion, the metal sample was removed from the solution and then dried. Next, the mass of the dried metal sample was measured three times, and the average mass was evaluated to calculate the experimental results. The protection degree (η_{Grav} , at%), corrosion rate (CR_{Grav} , atmg/cm²h) and surface coverage degree (θ_{Grav}) of the GCU corrosion inhibitor for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S without and with the GCU corrosion inhibitor at various concentrations were calculated from Equations (1)–(3), respectively [29–31]:

$$\eta_{Grav} = \left(1 - \frac{W_{inh}}{W_0}\right) \times 100 \quad (1)$$

$$CR_{Grav} = \frac{W_{inh} \text{ or } W_0}{At} \quad (2)$$

$$\theta_{Grav} = 1 - \frac{W_{inh}}{W_0} \quad (3)$$

where W_0 and W_{inh} are the mass loss of the metal sample in the corrosive and inhibited solutions, respectively.

2.4. Electrochemical analysis

A Gamry PC5 galvanostat/IFC1000–06177 potentiostat (USA) was used to perform the electrochemical analysis. The obtained electrochemical data were fitted using Gamry Echem Analyst 6.22 software. In the electrochemical tests, a three-electrode cell assembly including a reference electrode (saturated calomel), counter electrode (platinum) and working electrode (St3 steel) was employed. The working electrode was dipped and immersed in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S without and with the GCU corrosion inhibitor for 76 h. During immersion time, the potential on the electrode surface achieved stable conditions [7,9].

An EIS300–Electrochemical Impedance software package was employed to perform the EIS analyses at frequencies between 100 kHz and 0.01 Hz and an AC voltage amplitude of 10 mV_{rms}. The inhibition protection (η_{EIS} , at%) of the GCU inhibitor was derived from Equation (4).

$$\eta_{EIS}, \% = \frac{R_{ct}^i - R_{ct}^o}{R_{ct}^i} \times 100\% \quad (4)$$

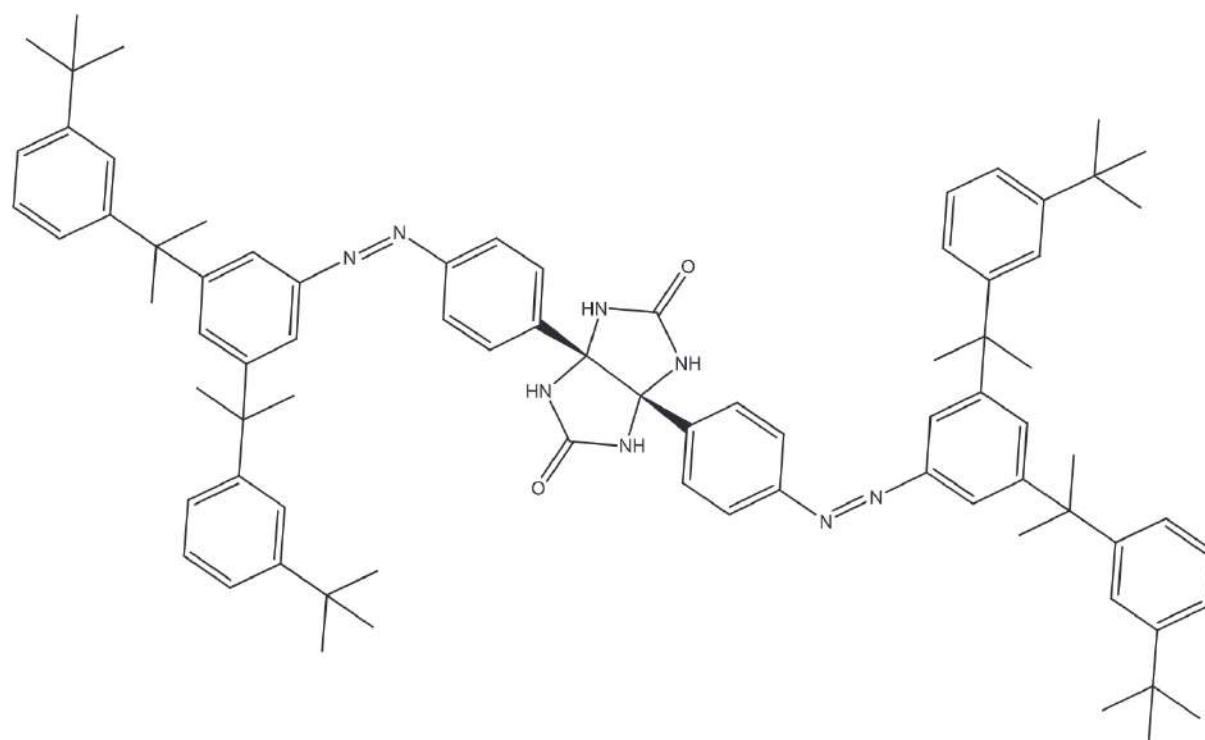
where R_{ct}^i and R_{ct}^o are the charge transfer resistances in the presence and absence of 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S, respectively.

The PDP studies were conducted in the –0.250 to 0.250 V potential range with a 2 s sample period and a 1 mV/s scan rate. The open circuit potential (OCP) was estimated before the PDP analysis. The inhibition efficiency (η_{PDP} , at%) of the GCU corrosion inhibitor from the EFM analysis was calculated according to Equation (5).

$$\eta_{PDP}, \% = \frac{i_{PDP}^o - i_{PDP}^i}{i_{PDP}^o} \times 100\% \quad (5)$$

where i_{PDP}^o and i_{PDP}^i are the corrosion current densities in the corrosive and inhibited 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S, respectively.

The EFM data were estimated with a 10 mV amplitude and 2 Hz and 5 Hz sine wave potential perturbation signals in the 140–EFM soft-



(3ar,6ar)-3a,6a-bis(4-((3,5-bis(2-(3-(tert-butyl)phenyl)propan-2-yl)phenyl)diazenyl)phenyl)tetrahydroimidazo[4,5-d]imidazole-2,5(1H,3H)-dione

Fig. 1.

ware package. The inhibition efficiency ($IE_{EFM}(\%)$) of the GCU inhibitor from the EFM analyses was calculated from Equation (6).

$$IE_{EFM}, \% = \frac{I_{corr}^0 - I_{corr}^{inh}}{I_{corr}^0} \times 100 \quad (6)$$

where I_{corr}^{inh} and I_{corr}^0 are the corrosion current in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S with and without the inhibitor, respectively [12].

The LPR analyses were performed with a control potential of ± 20 mV and a 0.125 mV/s scan rate.

The LPR data estimated from the slope of the plots of the corrosion potential versus the corrosion rate. The estimated value of the slope was equal to the amount of polarization resistance (R_{LPR}), which was applied to measure the inhibition efficiency of the inhibitor ($\eta_{LPR}(\%)$) from Equation (7):

$$\eta_{LPR}, \% = \frac{R_{LPR}^{inh} - R_{LPR}^0}{R_{LPR}^{inh}} \quad (7)$$

where R_{LPR}^{inh} and R_{LPR}^0 are the polarization resistance in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S with and without inhibitor, respectively.

2.5. 1.5. Surface analysis

SEM and EDX tests (HITACHI TM3000, Hitachi Company, Tokyo, Japan) were performed in inhibited and corrosive 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S solution. The metal sample was immersed in the studied solutions for 72 h before the experiment. The immersed metal sample was removed from the solution and then washed with alcohol and distilled water. Next, the washed metal sample was dried with acetone solution. Finally, the dried metal sample was moved to an examination chamber for SEM and EDX investigations [68–71].

2.6. 1.6. Quantum chemical analysis

Computer-based quantum chemical methods have been extensively applied for the determination of the structure, electron density and chemical behaviour of organic molecules. In the present work, various theoretical parameters of the glycoluril molecule were calculated from GAMESS-US software and were used as corrosion inhibitor parameters in the present study. The frontier molecular orbitals (FMOs), such as the lowest unoccupied molecular orbital (E_{LUMO}) and highest occupied molecular orbital (E_{HOMO}), were calculated for the GCU molecule. In this research, quantum chemical calculations were performed to theoretically characterize the inhibition properties of selected inhibitors. In this quantum chemical calculation, DFT (density functional theory) and B3LYP (three – parameter Lee–Yang–Parr correlation function by Becke) exchange – corrected functional [51,52] combined with Pople's 6–311G** electronic basic set were used [53]. Geometry optimization, polarizability and hyperpolarizability parameters were calculated with GAMESS-US software [54]. The quantum chemical calculation of the optimized structure of GCU was performed in the aqueous phases with the polarizable continuum model employing the integral equation formalism variant (IEFPCM) and a water solvent. The correlation between important influencing factors in the solution and inhibition performance of GCU were also studied.

2.7. 1.7. Molecular dynamics (MD) simulation

The adsorption of the GCU inhibitor on the steel surface was established using the Forcite module implemented in the Material Studio package (BIOVIA Ltd., USA) [14,16]. The calculations were conducted in a simulation box ($37.2 \times 37.2 \times 33.1 \text{ \AA}^3$) with periodic boundary conditions, which consisted of an Fe(110) substrate and a solvent layer (with 1200 H_2O + 1 GCU molecule). The correlation between

important influencing factors in the solution and adsorption processes of GCU were also studied. The Fe(1 10) surface was chosen because of its highly stabilized and packed structure, which was presented with a five-layer slab model in each layer representing a (15 × 15) unit cell. The simulated system was performed using an Andersen thermostat and NVT ensemble, with a simulation time of 15000 ps and a time step of 1.0 fs. The temperature was controlled at 303 K by the Andersen thermostat. The COMPASSII force field was adopted, which is an ab initio force field, and its nonbond interaction energy is described by the following equation [8,21]:

$$E_{\text{nonbond}} = \sum_{ij} \varepsilon_{ij} \left[2 \left(\frac{r_{ij}^0}{r_{ij}} \right)^9 - 3 \left(\frac{r_{ij}^0}{r_{ij}} \right)^6 \right] + \sum_{ij} \frac{q_i q_j}{r_{ij}} \quad (8)$$

where q_i and q_j are the charges of i and j atoms and ε_{ij} , r_{ij}^0 and r_{ij} stand for the energy parameter, dimension parameter, and distance between particles i and j , respectively.

3. Results and discussion

3.1. Gravimetric analyses

3.1.1. Effect of the GCU concentration

Table 2 indicates the corrosion rate ($CR_{\text{Grav.}}$) of St3 steel and the inhibition efficiency ($\eta_{\text{Grav.}}$) and surface coverage degree ($\theta_{\text{Grav.}}$) of GCU in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S at various concentrations. The inhibition efficiency increased with increasing inhibitor concentration and achieved the highest protection degree at 100 mg/L/0.08 mM (95.62%). The $CR_{\text{Grav.}}$ was higher in the corrosive medium than in the inhibited medium; it decreased with increasing concentration. When the inhibitor concentration increased from 25 mg/L/0.02 mM to 100 mg/L/0.08 mM, the protection ability of the GCU inhibitor for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S substantially increased. This increase is because the high concentration of the inhibitor facilitated good adsorption, so that many inhibitor molecules were adsorbed on the large metal surface. The high inhibition efficiency of the GCU inhibitor is a direct result of the formation of the protective film that covered the St3 steel in the studied solution, diminishing the corrosion attacks of aggressive Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} and HS^- ions. The inhibitor effectively adsorbed on the metal surface because of the electron pairs of sulfur, nitrogen and oxygen atoms in the inhibitor molecule and the delocalized π electrons in the phenyl group.

Table 2
Gravimetric parameters of GCU.

C_{inh} , mg/L/mM	Temperature, K	$CR_{\text{Grav.}}$, mg/cm ² h	$\eta_{\text{Grav.}}$, %	$\theta_{\text{Grav.}}$
Blank	303	1.62	—	—
25/0.02		0.284	82.47	0.8247
50/0.04		0.224	86.17	0.8617
75/0.06		0.153	90.55	0.9055
100/0.08		0.071	95.62	0.9562
Blank	313	1.73	—	—
25/0.02		0.335	80.64	0.8064
50/0.04		0.284	83.6	0.836
75/0.06		0.223	87.11	0.8711
100/0.08		0.151	91.27	0.9127
Blank	323	1.96	—	—
25/0.02		0.41	79.1	0.791
50/0.04		0.367	81.28	0.8128
75/0.06		0.316	83.88	0.8388
100/0.08		0.253	87.1	0.871
Blank	333	2.11	—	—
25/0.02		0.497	76.45	0.7645
50/0.04		0.465	77.96	0.7796
75/0.06		0.424	79.91	0.7991
100/0.08		0.372	82.37	0.8237

3.1.2. Temperature effect on the inhibition properties

Temperature is a major factor in the corrosion and inhibition processes because aggressive Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} and HS^- ions are more activated at high temperatures and seriously corrode metal surfaces. The effect of temperature on the corrosion and inhibition of St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S was investigated in the 303–333 K range. Table 2 reveals the values of the corrosion rate ($CR_{\text{Grav.}}$) of St3 steel and the inhibition efficiency ($\eta_{\text{Grav.}}$) and surface coverage degree ($\theta_{\text{Grav.}}$) of GCU. $CR_{\text{Grav.}}$ increased with increasing temperature. The inhibition efficiency decreased slowly from 95.62% to 82.37% at 100 mg/L/0.08 mM when the temperature rose from 303 K to 333 K. This result is due to the increasing desorption of the inhibitor on the metal surface and the diffusion of corrosion products with increasing temperature. Notably, the observed data in Table 2 confirmed that the inhibition efficiency of the selected inhibitor was high at 303–313 K and medium at 323–333 K; the protective film on the metal surface was stable at medium temperatures with a low concentration. This film considerably insulated the metal surface from the corrosion solution in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S .

3.2. Thermodynamics of activation

The thermodynamic characteristics of St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S in the absence and presence of the GCU inhibitor were studied in this research. The thermodynamic parameters of activation are identified with a change in temperature. This correlation is described by Equation (9), which is used to find the amount of activation energy (E_a) [15].

$$CR_{\text{Grav.}} = A \exp \left(\frac{-E_a}{RT} \right) \quad (9)$$

where E_a is the activation energy at kJ/mol, R is the universal gas constant (8.314 J/mol × K), T is the temperature at K, and A is the Arrhenius pre-exponential factor [72–75].

Fig. 2a indicates the variation in $\log CR_{\text{Grav.}}$ versus $1000/T$ for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S in the absence and presence of the GCU inhibitor at various concentrations. These plots are named after the Arrhenius plots, which were utilized to calculate the values of E_a for the blank and inhibitor according to a slope = $(-E_a/2.303R)$, and the resulting data are shown in Table 3. The amounts of R^2 in Fig. 2a revealed that the Arrhenius plots are best fit to estimate the values of the activation energy. As can be observed, the E_a for the inhibited system varied in the range of 45.14 to 73.07 kJ/mol, and the

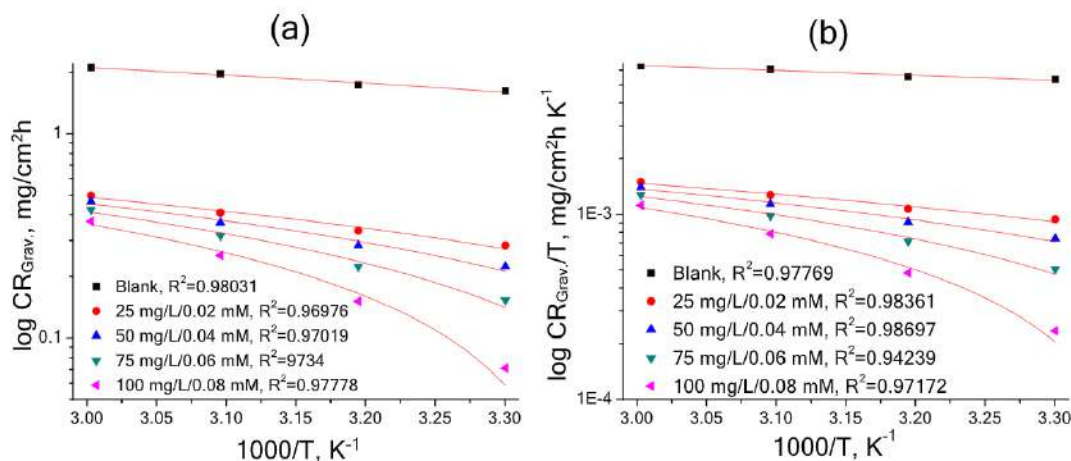


Fig. 2. (a) Arrhenius and (b) transition-state plots of GCU.

Table 3
Activation parameters for GCU.

Parameters	Blank	25 mg/L/0.02 mM	50 mg/L/0.04 mM	75 mg/L/0.06 mM	100 mg/L/0.08 mM
E_a , kJ/mol	39.59	45.14	54.15	64.88	73.07
ΔH_a , kJ/mol	42.3	47.84	56.84	67.56	75.79
ΔS_a , kJ/mol $\times T$	-44.05	-25	-36.06	-55.62	-61.65
$E_a - \Delta H_a$	2.71	2.7	2.69	2.68	2.72

E_a for the corrosion system was 39.59 kJ/mol. The rise in the values of the activation energy is responsible for the formation of an energy obstacle for metal destruction in the studied solution. This energetic obstacle is also responsible for the decrease in the mass and charge transfer. The rise in temperature is attributed to a decrease in the activation energy; this decrease is the reason for the reduction in the corrosion efficiency. The obtained E_a data demonstrated that the inhibitor dominantly replaced with preadsorbed water molecules on St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S and highly insulated the metal from a corrosive environment; these actions required additional energy.

The changes in the activation enthalpy (ΔH_a) and entropy (ΔS_a) for the blank and GCU inhibitor were estimated from Equation (10). Fig. 2b shows the plots of $\log CR_{\text{Grav}}/T$ versus $1000/T$, which are named after the transition-state plots. These plots give the intercept = $[\log \frac{R}{N_h} + (\frac{\Delta S_a}{2.303R})]$ and slope = $-\Delta H_a/2.303R$. The estimated values of ΔH_a and ΔS_a are represented in Table 3. The values of R^2 in these plots were close to 1, suggesting that these plots are best for estimating the values of the thermodynamic parameters.

$$CR_{\text{Grav}} = \frac{RT}{N_h} \exp\left(\frac{\Delta S_a}{R}\right) \exp\left(-\frac{\Delta H_a}{RT}\right) \quad (10)$$

where h is Planck's constant ($6.626 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$) and N is Avogadro's number (6.12×10^{23}) [19,20].

As indicated in the observed data, the positive sign of ΔH_a demonstrated that the dissolution of St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S is endothermic. This process means that metal corrosion required additional energy. It has also been reported that the formation complex of inhibitors with iron ions in solution is an endothermic process. The values of ΔH_a are higher in the inhibited system, showing that the inhibition processes are more endothermic than those in the corrosive system. In contrast to the obtained amounts of ΔS_a in Table 3, it is stressed that the ΔS_a was more negative in both the inhibitor absence and presence solutions. The amount of ΔS_a decreased with increasing concentration, confirming that the order of GCU inhibitor molecules on the St3 steel surface increased and that the formation

of inhibitor-metal complexes was more stable. This means that the reduction in disorder moved from the reactant to the activated complex, confirming that the association of the inhibitor-iron complex is more stable than that of disassociation. These thermodynamic characteristics can also be described as a consequence of the substitution processes between the inhibitor and water molecules on the metal surface; in addition, the decrease in ΔS_a is responsible for the decrease in the solvent entropy. The average difference between the activation energy and enthalpy was 2.7 kJ/mol for all cases. This result confirmed that the dissolution of St3 steel, inhibition processes and adsorption rate of GCU in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S were unimolecular reactions.

3.3. Adsorption isotherm and thermodynamics

Adsorption isotherms were measured to identify the inhibition efficiency and adsorption mechanism of the surfactant molecule. In this research study, the Langmuir (Fig. 3a, Frumkin (Fig. 3b and Temkin (Fig. 3c) isotherms were applied to demonstrate the adsorption performance of the GCU inhibitor on St3 steel, and these isotherms are represented in Equations (11)–(13) [18]. The value of R^2 was close to 1 for the Langmuir isotherm, confirming that this isotherm is a better fit for estimating the values of the adsorption thermodynamic parameters than the Frumkin and Temkin isotherms. The values of R^2 and slope of the Langmuir isotherm were close to unity, supporting the accuracy of the Langmuir isotherm. The values of the equilibrium constant of the adsorption-desorption processes (K_{ads}) were estimated from an intercept = $1/K_{\text{ads}}$ in Langmuir isotherms (Fig. 3a, and its estimated data are given in Table 4.

$$\text{Langmuir: } \frac{C_{\text{inh}}}{\theta_{\text{Grav}}} = \frac{1}{K_{\text{ads}}} + C_{\text{inh}} \quad (11)$$

$$\text{Frumkin: } \frac{\theta_{\text{Grav}}}{1 - \theta_{\text{Grav}}} \exp(-2f\theta_{\text{Grav}}) = K_{\text{ads}} C_{\text{inh}} \quad (12)$$

$$\text{Temkin: } \exp(f\theta_{\text{Grav}}) = K_{\text{ads}} C_{\text{inh}} \quad (13)$$

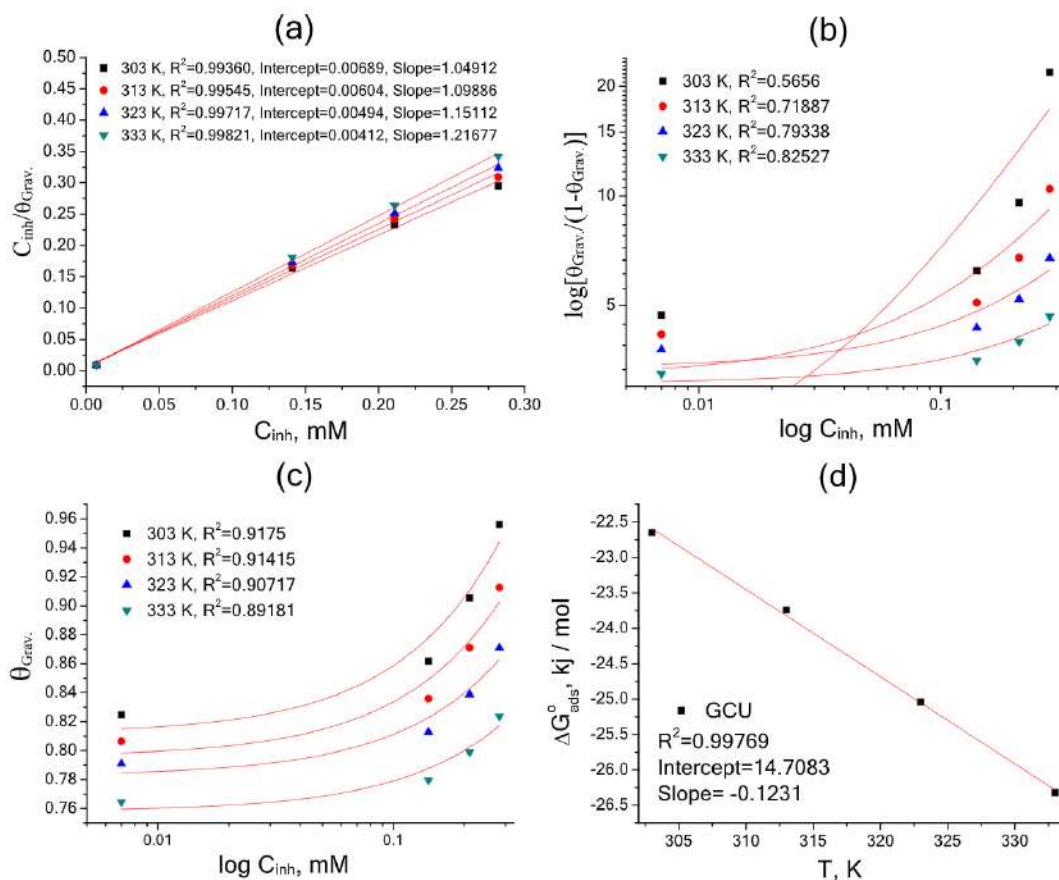


Fig. 3. (a) Langmuir, (b) Frumkin, (c) Temkin isotherm plots and (d) ΔG_{ads}° versus temperature for GCU.

Table 4

Adsorption thermodynamic parameters of GCU.

Temperature, K	K_{ads} , M^{-1}	ΔG_{ads}° , kJ/mol	ΔH_{ads}° , kJ/mol	ΔS_{ads}° , J/mol K
303	145.14	-22.65	14.7083	123.1
313	165.56	-23.74		
323	202.43	-25.04		
333	242.72	-26.32		

At first sign, clearly, the higher amounts of K_{ads} confirmed that the adsorption of the GCU inhibitor is stronger, and the adsorption performance of the inhibitor is better than the desorption performance. The values of K_{ads} increased with increasing temperature. This trend is due to the heating capacitance of this inhibitor. The obtained data of K_{ads} were employed to estimate the change in the standard Gibbs energy of adsorption (ΔG_{ads}°) from Equation (14) [26]. The estimated data of ΔG_{ads}° are represented in Table 4.

$$\Delta G_{ads}^{\circ} = -2.303RT \log(55.55K_{ads}) \quad (14)$$

where 55.55 is the water concentration in the studied solution [76].

The main objective of the observed data in Table 4 highlights the information that the values of ΔG_{ads}° were negative in all cases, suggesting that the adsorption of GCU on the St3 steel surface spontaneously proceeded. According to previously reported research studies [2,7], the value of $\Delta G_{ads}^{\circ} \leq -20 \text{ kJ/mol}$ is due to the electrostatic interaction between the inhibitor and negatively charged metal surface, which is called a physisorption process; the value of $\Delta G_{ads}^{\circ} \geq -40 \text{ kJ/mol}$ is an indicator of the chemical interaction, which is named after chemisorp-

tion processes, which are carried out by the sharing electron pairs of heteroatoms or π -electrons of aromatic rings to form rigid coordinated bonds. In the present research work, the values of ΔG_{ads}° were cited between 20 and 40 kJ/mol, confirming that the adsorption of the GCU inhibitor on St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S is mixed. This result means that the inhibitor perfectly adsorbed on the metal surface by electrostatic and chemical interactions. The protonated heteroatoms and aromatic rings support these acts.

Fig. 3d shows the correlation between temperature and ΔG_{ads}° . These correlation plots were employed to estimate the change in the standard enthalpy (ΔH_{ads}°) and in the standard entropy (ΔS_{ads}°) of adsorption according to Equation (15). Fig. 3d depicts ΔH_{ads}° as an intercept and $-\Delta S_{ads}^{\circ}$ as a slope. The estimated values of ΔH_{ads}° and ΔS_{ads}° are represented in Table 4.

$$\Delta G_{ads}^{\circ} = \Delta H_{ads}^{\circ} - T\Delta S_{ads}^{\circ} \quad (15)$$

It should be emphasized that the value of ΔH_{ads}° was negative (14.7083 kJ/mol), suggesting that the adsorption of GCU on St3 steel in an aggressive salty environment with CO_2 and H_2S is endothermic. On the other hand, the value of ΔS_{ads}° was positive 123.1 J/mol,

signifying that the adsorption film is more stable in the studied solution. This stable adsorption film was formed through substitution between the inhibitor and preadsorbed water molecules on the metal surface.

3.4. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) measurements

The electrochemical nature and kinetics of the corrosion and inhibition processes of the St3 steel electrode in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S in the absence and presence of the GCU inhibitor at various concentrations were studied by EIS. Fig. 4 shows the Nyquist plots for the blank and selected inhibitor at different concentrations. The Nyquist impedance spectra showed a low inductance loop at a high frequency in the inhibitor-free medium and a large capacitive loop at a high frequency in the inhibitor-containing medium. This finding confirms that the excellent adsorption of the GCU inhibitor on the metal surface enhanced the resistance during charge transfer. From Fig. 4, the obtained Nyquist capacity loops were single depressed for both the blank and GCU inhibitor, indicating that the corrosive and inhibition acts were controlled with the charge transfer mechanism. It should be emphasized that the resulting Nyquist plots are semi-rings depressed under the real axis. This result is due to physical factors, including the inhomogeneity of the electrode surface originating from the surface roughness and frequency dispersion of interfacial impedance or interfacial phenomena. The surface inhomogeneity irregularities and defects on the metal surface were diminished with the addition of the GCU inhibitor to the corrosive solution of 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S . The radius of the Nyquist semi-rings were increased with increasing inhibitor concentration. This change indicates that increasing the concentration improved the inhibition effectiveness; as a result, the corrosive processes were effectively blocked.

Fig. 5a and 5b indicate the body plots ($\log Z_{\text{mod}}$ vs. $\log \text{freq.}$) and phase angle ($-Z_{\text{phz}}$ vs. $\log \text{freq.}$) for blank and St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S in the absence and presence of the GCU inhibitor. From Fig. 5a, there is only one time constant in the intermediate frequencies related to the electric double layer on the metal interface/solution electrolyte, confirming that relaxation occurred during charge transfer. Interestingly, the values of impedance plots were higher in the inhibitor-free medium than in the inhibitor-containing medium. Next, the value of Z_{mod} rose with increasing concentration, confirming the excellent protective ability of the GCU inhibitor. As shown in Fig. 5b, the phase angle was higher in the corrosive medium than in the corrosive medium. The maximum value of $-Z_{\text{phz}}$ was -82° at 100 mg/L. This value is responsible for the charge exchange between the anode and cathode effectively collapsing with the formation of a protective film.

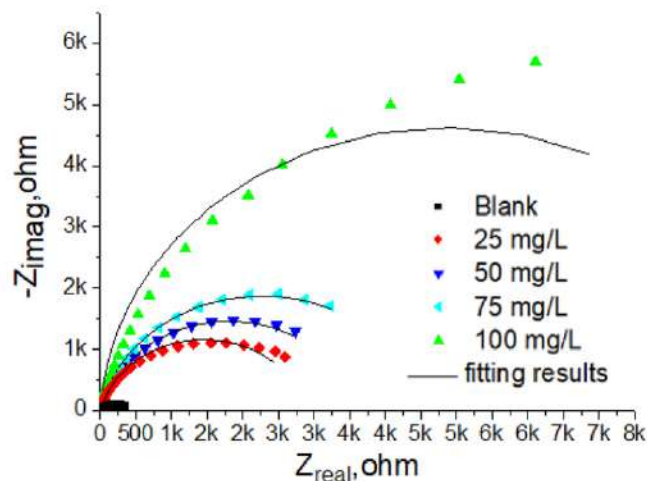


Fig. 4. Nyquist plots for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S in the absence and presence of the GCU inhibitor at various concentrations.

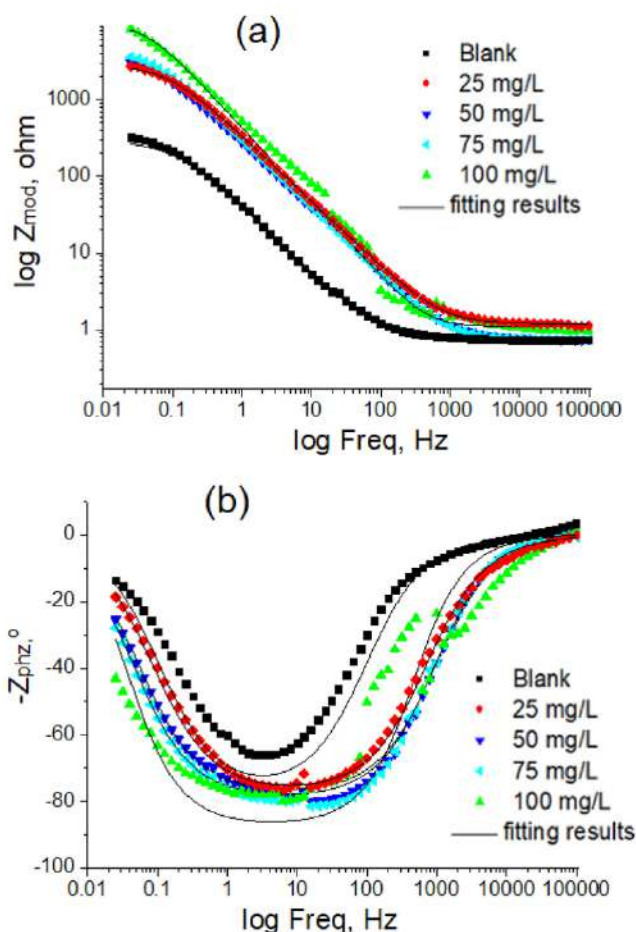


Fig. 5. (a) Body and (b) phase angle plots for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S in the absence and presence of the GCU inhibitor at various concentrations.

The EIS impedance data were fitted related to the equivalent circuit model, which is indicated in Fig. 6. The observed EIS data are given in Table 5. This circuit model consists of the solution resistance (R_s), charge transfer resistance (R_{ct}) and constant phase element (CPE), which is described in Equation (16) [16].

$$Z_{\text{CPE}} = Y_0^{-1} (i\omega)^{-n} \quad (16)$$

where n signifies the phase shift (CPE exponent, which is in the range of -1 to 1 ; if $n = -1$ (an inductor), $n = 0$ (real resistor), $n = 1$ (capacitor)), $\omega = 2\pi f$ (ω is the angular frequency, f is the AC frequency), Y_0 is the magnitude of the CPE and i is the imaginary unity ($i^2 = -1$ is regarded as the imaginary axis).

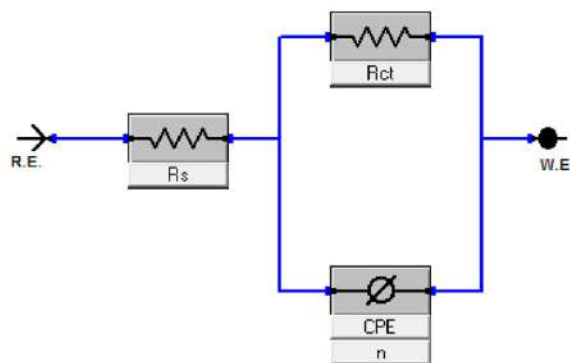


Fig. 6. Equivalent circuit model performed for fitting the EIS results.

Table 5EIS data for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S without and with the GCU inhibitor.

C_{inh} , mg/L	Blank	25	50	75	100
R_{ct} , Ω/cm^2	176.1 ± 9.44	1287.6 ± 4.12	2902.3 ± 39.12	3614 ± 55.68	9700 ± 154.9
R_s , Ω/cm^2	$0.707 \pm 4.87 \times 10^{-3}$	$0.775 \pm 4.02 \times 10^{-3}$	$1.195 \pm 7.52 \times 10^{-3}$	$1.743 \pm 4.85 \times 10^{-3}$	$2.105 \pm 6.33 \times 10^{-3}$
Y_0 , $\text{S-s}^n/\text{cm}^2$	$9.2 \times 10^{-3} \pm 6.06 \times 10^{-6}$	$0.5 \times 10^{-3} \pm 46.29 \times 10^{-6}$	$0.6 \times 10^{-3} \pm 4.74 \times 10^{-6}$	$0.71 \times 10^{-3} \pm 5.08 \times 10^{-6}$	$0.38 \times 10^{-3} \pm 2.75 \times 10^{-6}$
n	$0.818 \pm 1.26 \times 10^{-3}$	$0.865 \pm 2.32 \times 10^{-3}$	$0.859 \pm 1.604 \times 10^{-3}$	$0.865 \pm 1.45 \times 10^{-3}$	$0.97 \pm 1.44 \times 10^{-3}$
C_{dl} , $\mu\text{F}/\text{cm}^2$	150.415	31.352	12.541	8.465	6.231
η_{EIS} , %	—	86.32	93.93	95.13	98.18
χ^2	64.14×10^{-3}	15.56×10^{-3}	1.328×10^{-3}	2.55×10^{-3}	9.61×10^{-3}

The maximum angular frequencies (ω_{max}) were calculated to calculate the values of double layer capacitance (C_{dl}) from Equation (17) [6].

$$C_{dl} = (\omega_{max})^{1/n} \quad (17)$$

Table 5 shows that the amount of solution resistance and charge transfer resistance were higher in the inhibited medium than in the corrosive medium, suggesting that the metal surface was effectively covered by the GCU inhibitor. Therefore, the inhibitor formed a protective film on the metal electrode surface and formed an electric barrier for charge transfer; consequently, the corrosion products were diminished. It should be emphasized that the obtained n values show that the studied metal surface exhibits non-ideal capacitive behaviour because of the surface micro-district and unevenness of the electrode. The value of C_{dl} was $150.415 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ for the blank. In comparison, the value of C_{dl} was lower for the inhibitor. For example, the minimum value of C_{dl} was $6.231 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ at 100 mg/L. These results demonstrated that the dielectric constant (ϵ) was decreased and the thickness of the double layer (d) was increased by the presence of the inhibitor according to Equation (18). This is because compared to inorganic compounds, organic compounds have minimal dielectric effects.

$$C_{dl} = \frac{\epsilon \epsilon^0}{d} A \quad (18)$$

where ϵ^0 is the dielectric constant in vacuum and A is the diameter of the surface area [77–80].

The following stressed point from Table 5 highlights that the values of Y_0 decreased significantly in the presence of the inhibitor, suggesting that the inhibitor molecule was easily replaced with the preadsorbed water molecules on the metal surface.

The goodness of fit of the EIS data model is χ^2 (chi-squared), which is described by Equation (19).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(Z'_i(\omega_i, \vec{P}) - a_i)^2}{a_i^2 + b_i^2} + \frac{(Z''_i(\omega_i, \vec{P}) - b_i)^2}{a_i^2 + b_i^2} \right] \quad (19)$$

where a_i , b_i , and ω_i are the experimental data points, $\vec{P}$ is a factor linked with the proposed model, and Z'_i and Z''_i are measured data points. The value of χ^2 can identify the accuracy of the EIS data. The estimated amount data are given in Table 5. Notably, the values of χ^2 were low ($< 1 \times 10^{-3}$) in all cases, indicating that the EIS data have an excellent fit. The EIS data in Table 5 show that the maximum inhibition efficiency of the GCU inhibitor was 98.18% at 100 mg/L for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S.

3.5. Open circuit potential measurements

Fig. 7a indicates the variation in E_{OCP} of St3 steel in the inhibitor-free and inhibitor-contained in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S. As indicated in Fig. 7a, the E_{OCP} value was more stable in the inhibited medium than in the corrosive medium, confirming that the inhibited system is more thermodynamically stable than the corrosive system. This effect is because salt deposits on the metal surface are good sor-

bents for corrosive ions; as a result, these ions are attributed to increased corrosive processes. In contrast, the inhibitor was effectively adsorbed to form a protective film on the metal surface. The thermodynamic stability of the protective film on the metal surface was enhanced with increasing the concentration. Therefore, the protective film was a more stable insulator for the metal surface and was responsible for thermodynamic stability.

3.6. Potentiodynamic polarization (PDP) measurements

Tafel plots of St3 steel immersed in inhibitor-free and inhibitor-containing 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S are presented in Fig. 7b. The PDP parameters, including the corrosion potential (E_{corr}), corrosion current density (i_{corr}), and cathodic and anodic Tafel slopes (β_c , β_a), were estimated by the Tafel extra-polarization of the plots in Fig. 7b. These analyses can describe the kinetics of both cathodic and anodic electrochemical reactions. From Fig. 7b, the Tafel cathodic and anodic curves were shifted towards a more negative potential and lower corrosion current density in the presence of the inhibitor. Table 6 indicates that the potential difference between the inhibitor-free and inhibitor-containing medium was lower than 85 eV at all concentration cases. These results confirmed that GCU is an anodic-dominated mixed-type of inhibitor. At 25 mg/L, the adsorption orientation is parallel, so the Tafel plots are shifted to low corrosion density areas. When the concentration rise the adsorption position was changed to perpendicular-parallel position. This is responsible for the inhibition processes is mixed type. The observed data in Table 6 reveal that the amounts of β_c and β_a were substantially changed with the presence of the inhibitor, confirming that the GCU inhibitor effectively influenced both cathodic and anodic corrosive reactions. The higher differences in the amounts of β_a promote the anodic character of this inhibitor on the steel surface. The value of i_{corr} was $12.14 \text{ mA}/\text{cm}^2$ in the corrosive medium. The presence of the inhibitor sharply reduced the corrosion current density. The i_{corr} was $1.74 \text{ mA}/\text{cm}^2$ at 25 mg/L; consequently, the inhibition efficiency reached 85.66%. The rise in concentration is attributed to a decrease in the corrosion current density. The minimum i_{corr} was $0.44 \text{ mA}/\text{cm}^2$ at 100 mg/L, which corresponds to an inhibition efficiency of 96.38%. This is due to the excellent adsorption of the GCU inhibitor to form a stable thermodynamic obstacle for dissolution and a decrease in the corrosion attacks of chloride, carboxyl and sulphate ions on the metal surface.

3.7. Electrochemical frequency modulation measurements

The electrochemical kinetics of corrosion and inhibition processes on St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S with various concentrations of the GCU inhibitor were investigated by the electrochemical frequency modulation (EFM) method. The intermodulation spectra for the blank and selected inhibitor at various concentrations were found (Fig. 8), which can describe the relationship between the frequency and corrosion current. Studying the relationship between the corrosion current and frequency is a key aspect in the EFM method to investigate the electrochemical kinetics for anodic and cathodic cor-

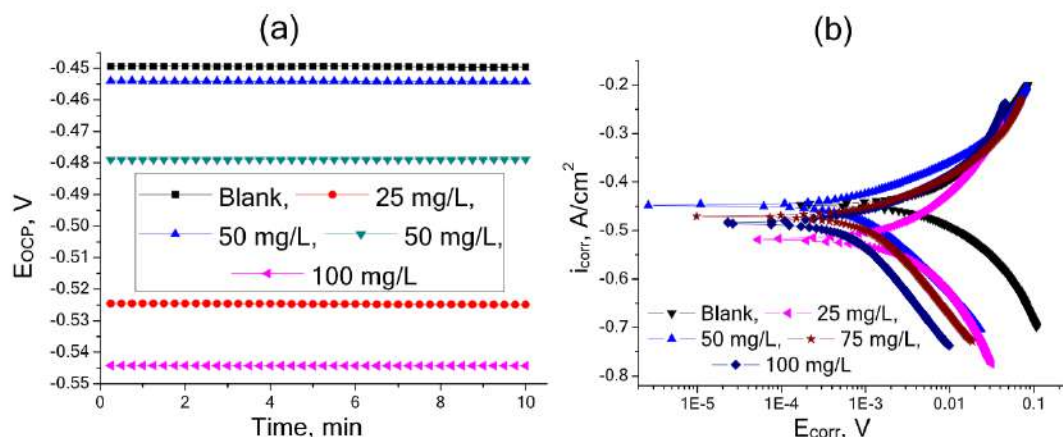


Fig. 7. (a) OCP and (b) Tafel curves of St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S in the absence and presence of various concentrations of GCU.

Table 6

Potentiodynamic polarization results for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S without and with various concentrations of GCU.

Parameters	C_{inh} , mg/L				
	Blank	25	50	75	100
i_{corr} , mA/cm ²	12.14	1.74	1.16	0.81	0.44
E_{corr} , mV	-451	-515	-449	-472	-481
β_a , mV/decade	291.6	205.4	238.2	133.1	108.5
$-\beta_c$, mV/decade	236.5	222.1	287.6	284.5	166.3
η_{PDP} , %		85.66	90.44	93.33	96.38

rosion or inhibition processes. The resulting EFM intermodulation spectra in Fig. 8 demonstrated that the spectra fluctuated in more positive regions for the system without the inhibitor than for the system with the inhibitor. This result indicates that the Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , HS^- and S^{2-} ions are responsible for a rise in the corrosion current flow between the anode and cathode sites on the St3 steel in the 1 M NaCl solution saturated with CO_2 and H_2S . In the inhibitor-free medium, these corrosive ions were more activated and thus corroded the metal electrode. However, with the addition of the GCU inhibitor to the corrosive solution, the corrosion acting on the metal surface was reduced. This reduction is due to the inhibitor neutralizing the negative regions on the metal surface and blocking corrosion by the formation of a protective thin film on the metal surface. In addition, the more protonated nitrogen atoms promote the inhibition processes on the metal surface. Importantly, the fluctuation in the corrosion current (Fig. 8 was cited at approximately $1\text{E}-7.8 \log \text{A}$ at 25 mg/L, $1\text{E}-8.1 \log \text{A}$ at 50 mg/L, $1\text{E}-8.7 \log \text{A}$ at 75 mg/L and $1\text{E}-8.8 \log \text{A}$ at 100 mg/L. These obtained data confirmed that an increase in concentration affects the corrosion current flow because the adsorption degree of the inhibitor on the metal surface increases with an increase in the number of inhibitors. Therefore, the obtained EFM data confirmed that the corrosion acting on St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S was substantially diminished in the presence of the GCU inhibitor.

In the following part of EFM measurements, the intermodulation peak currents in Fig. 8 were employed to estimate the values of the kinetic parameters for the inhibitor absence and presence of 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S . Causality factors (2) and (3) were estimated to recognize the accuracy of the found EFM data.

The found values of the corrosion current (i_{corr}), corrosion rate (CR_{EFM}), β_c , β_a , inhibition efficiency (IE_{EFM}), causality factor (2) and (3) for the blank and GCU inhibitor at various concentrations in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S are shown in Table 7. At first sign, clearly, the corrosion current and corrosion rate were higher in the medium without the inhibitor than the medium with the inhibitor. The presence of the GCU inhibitor considerably collapsed the corrosion rate and current on the metal surface. This trend depends on

the rise in the concentration. For instance, i_{corr} and CR_{EFM} were 101.62 μA and 164.2 mpy at 25 mg/L and 21.62 μA and 41.85 mpy at 100 mg/L, respectively. Remarkably, the values of β_c and β_a were shifted to more negative and positive regions with the addition of the inhibitor, respectively. This shift is because the more electron-rich atoms in the inhibitor molecule formed an electrochemical obstacle for anodic and cathodic corrosion. Additionally, the protective layer on the metal surface is an obstacle for anodic and cathodic corrosion because it can effectively insulate the metal surface from corrosive ions (Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , HS^- and S^{2-}). Therefore, the GCU inhibitor is an excellent insulator for St3 steel from 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S . The obtained EFM data confirmed that the IE_{EFM} for the GCU inhibitor was 88.67% at 25 mg/L, 90.46% at 50 mg/L, 93.78% at 75 mg/L and 97.59% at 100 mg/L. As a result, the protective ability of the selected inhibitor was excellent for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S . Last, the values of causality factors (2) and (3) are near their theoretical values, confirming that the accuracy of the obtained EFM data is high. Theoretically, causality factors (2) and (3) are equal to 2 and 3. Table 7 shows that the values of causality factors (2) and (3) are close to 2 and 3, respectively; this indicates that the accuracy of the experiment is high.

3.8. Linear polarization resistance measurements

A linear polarization resistance (LPR) investigation was employed to find the plot of the corrosion potential (E_{corr}) versus the corrosion current (i_{corr}) for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S without and with the GCU inhibitor at different concentrations. The obtained plots are represented in Fig. 9. In general, the LPR curve was cited at a more positive E_{corr} and higher i_{corr} in the corrosive medium than in the inhibited medium. This finding means that the corrosion rate is high on the metal surface in the corrosive solution. This high rate is because more corrosive Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} and HS^- ions are adsorbed on the metal surface, which increase the corrosion destruction of the metal. In comparison, the curves of the LPR were shifted to more negative E_{corr} and lower i_{corr} values with the presence

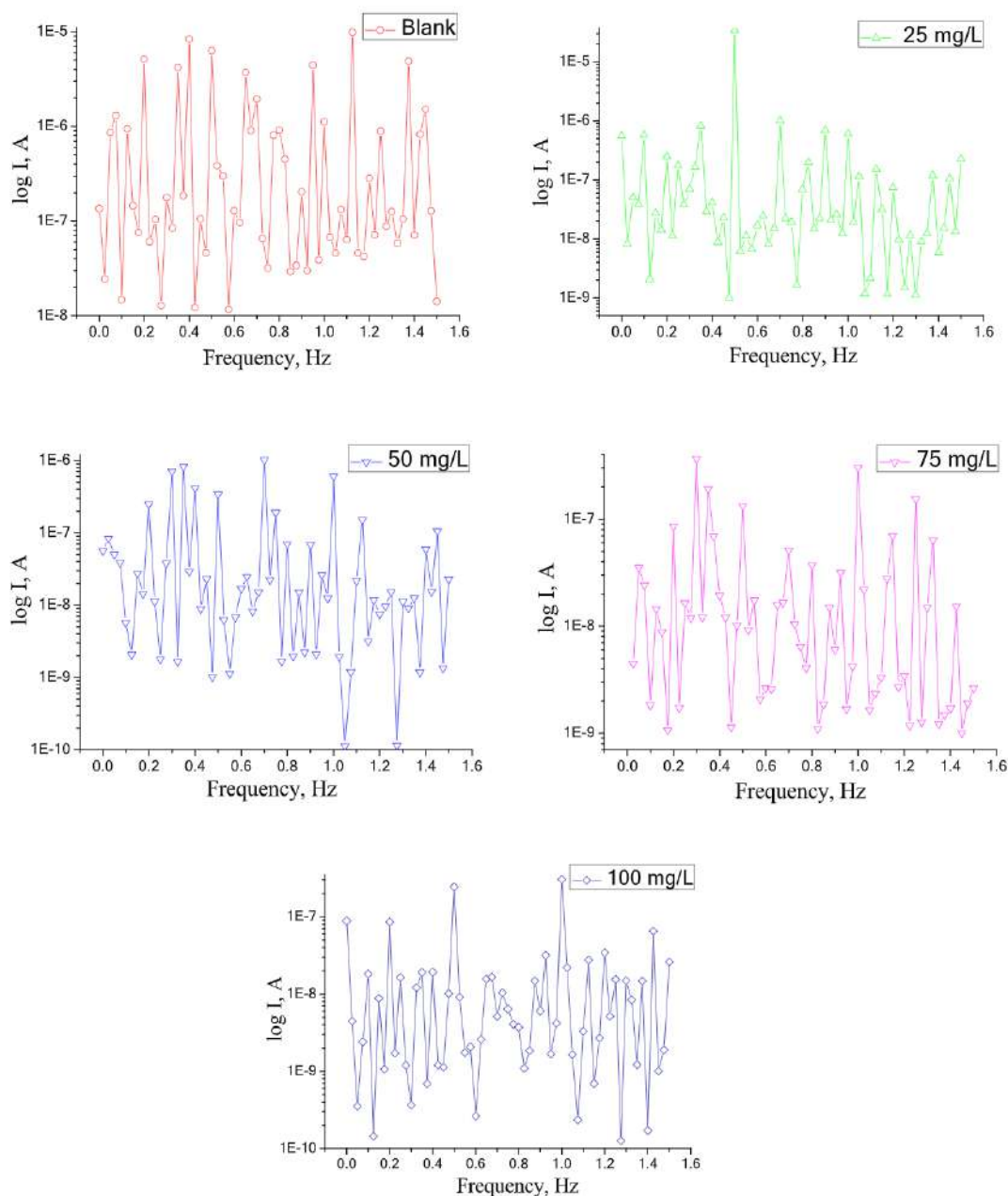


Fig. 8. EFM intermodulation spectra for the blank and GCU inhibitor in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S .

Table 7

EFM data for the blank and GCU inhibitor at various concentrations in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S .

$C_{\text{inh}}, \text{mg/L}$	$I_{\text{corr}}, \mu\text{A}$	$CR_{\text{EFM}}, \text{mpy}$	$\beta_A, \text{mV/decade}$	$-\beta_C, \text{mV/decade}$	$IE_{\text{EFM}}, \%$	Causality factor (2)	Causality factor (3)
Blank	897.38	455.61	245.3	385.62	–	1.99	2.99
25	101.62	164.2	175.18	265.31	88.67	1.98	2.97
50	85.61	110.71	165.31	251.43	90.46	2.02	3.02
75	55.74	67.32	106.51	232.15	93.78	2.01	3.01
100	21.62	41.85	95.64	165.94	97.59	1.99	2.99

of the inhibitor; this increase depends on the rise in the concentration. These LPRs suggested that the GCU inhibitor significantly diminished the corrosion acts of Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} and HS^- ions and formed an energetic obstacle for polarization on the metal surface by adsorption. As a consequence, the corrosion and polarization destruction of St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S was decisively decreased.

The value of polarization resistance (R_{LPR}) was higher in the inhibited medium than in the corrosive medium (Table 8; its value increased with increasing concentration. Therefore, the maximum protection degree of the GCU inhibitor was $96.57 \Omega/\text{cm}^2$ at 100 mg/L. This result confirmed that the inhibitor-formed protective film on the metal surface is not soluble and is more stable in 1 M NaCl satu-

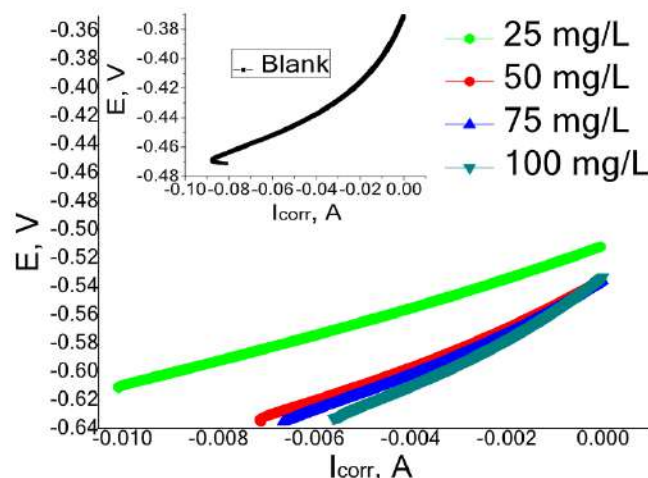


Fig. 9. LPR curves for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S at various concentrations of the GCU inhibitor.

rated with CO_2 and H_2S . This protective film is responsible for forming a diffusion barrier and limits the transport of reaction products of both charge and mass transfer processes.

3.9. SEM–EDX measurements

The St3 steel coupon was immersed in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S in the absence and presence of 100 mg/L GCU inhibitor to identify the surface morphology by SEM analysis. Fig. 10a shows the SEM micrographs of the metal specimen in the corresponding corrosion medium; the immersion time is 76 h. It is clearly noted in Fig. 10a that iron oxides, hydroxides and other corrosion deposits were formed and covered the metal surface. This corrosion layer on the metal surface is a good sorbent for CO_2 and H_2S gases, which easily corrode the metal surface. As a result, many regions of the metal surface were destroyed. In contrast, the presence of the inhibitor significantly improved the metal surface (Fig. 10b). This effect is due to the GCU inhibitor forming a protective thin film on the metal surface, which effectively blocked the formation of salt and oxide deposits on the metal surface. Consequently, the adsorption of CO_2 and H_2S gases was importantly diminished, and the corrosion destruction of the metal surface was maximally reduced.

The elementary composition of the surface St3 steel specimen in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S in the absence and presence of 100 mg/L GCU inhibitor after 76 h of immersion time was investigated by EDX analyses. Fig. 10c shows that the O signal was higher and the Fe signal was lower, confirming that the metal was oxidized from the oxide deposits on the metal surface, and the dissolution of Fe occurred. Fig. 10c also shows that the signals of Na, S and Cl atoms appeared, confirming that the NaCl, CO_2 and H_2S molecules adsorbed on the metal surface in the corrosive medium. Fig. 10d shows the EDX spectra of the St3 steel specimen in the corrosive medium with a 100 mg/L inhibitor. As shown in Fig. 10d, the Fe signal increased, indicating that metal destruction and dissolution were considerably reduced. Additionally, the signals of Na, S, and Cl were decreased; a N signal appeared. This result means that the GCU inhibitor was effectively adsorbed to form a protective film on the metal surface, which

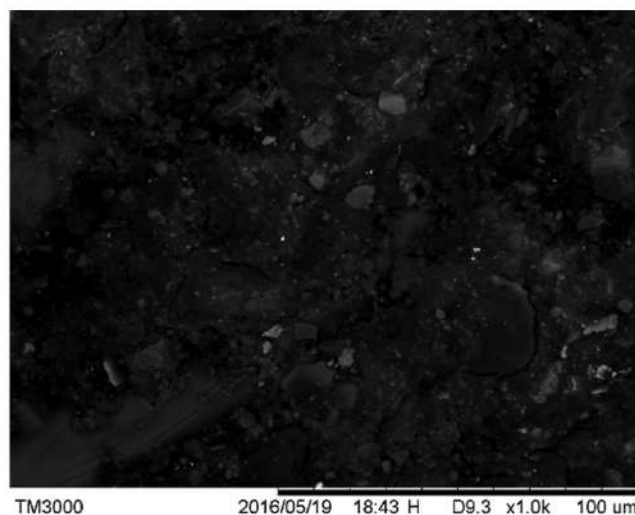


Fig. 10a. SEM images for the blank.

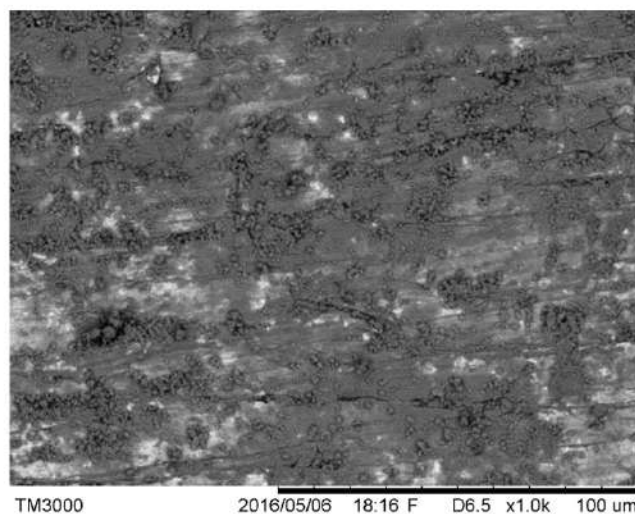


Fig. 10b. SEM images for the GCU inhibitor.

maximally blocked the corrosion attacks of NaCl, CO_2 and H_2S molecules.

3.10. Quantum chemical analysis

3.10.1. Optimization of GCU

The GCU molecules were optimized before performing the DFT experiment. The optimized structure of the GCU molecule (an arrow shows its dipole moment) is presented in Fig. 11. It can be seen from the observed results that the optimized GCU molecule was a large planar structure. Amino, nitrogen and phenyl rings make GCU a more planar structure. The GCU-optimized structure was also more polarized, which is related to the dipole moment. More electronegative nitrogen and active benzoyl rings in this planar GCU structure enhance the

Table 8

LPR data for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S at various concentrations of the GCU inhibitor.

LPR parameters	Blank	25 mg/L	50 mg/L	75 mg/L	100 mg/L
R_{LPR} , Ω/cm^2	1.894	15.864	21.654	36.541	55.245
η_{LPR} , %	–	88.06	91.25	94.82	96.57

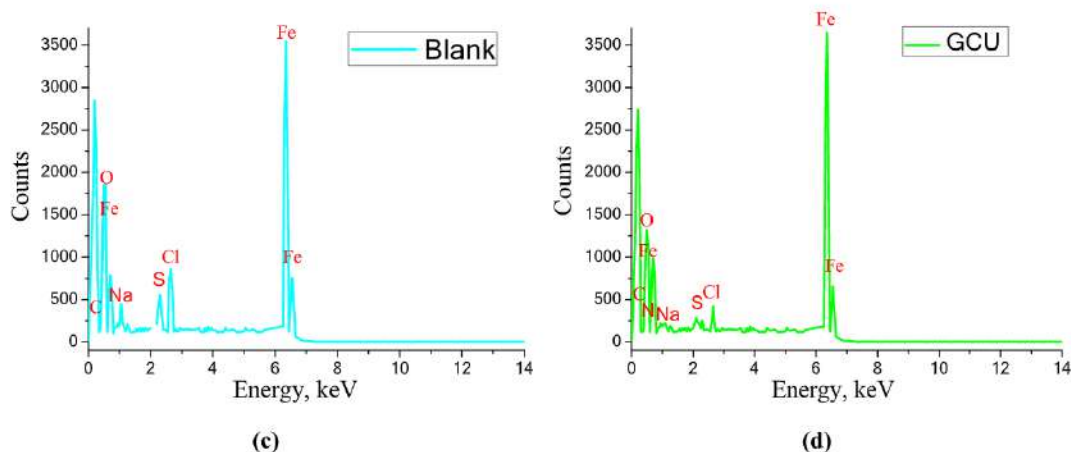


Fig. 10. EDX images for the (c) blank and (d) GCU inhibitor in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S .

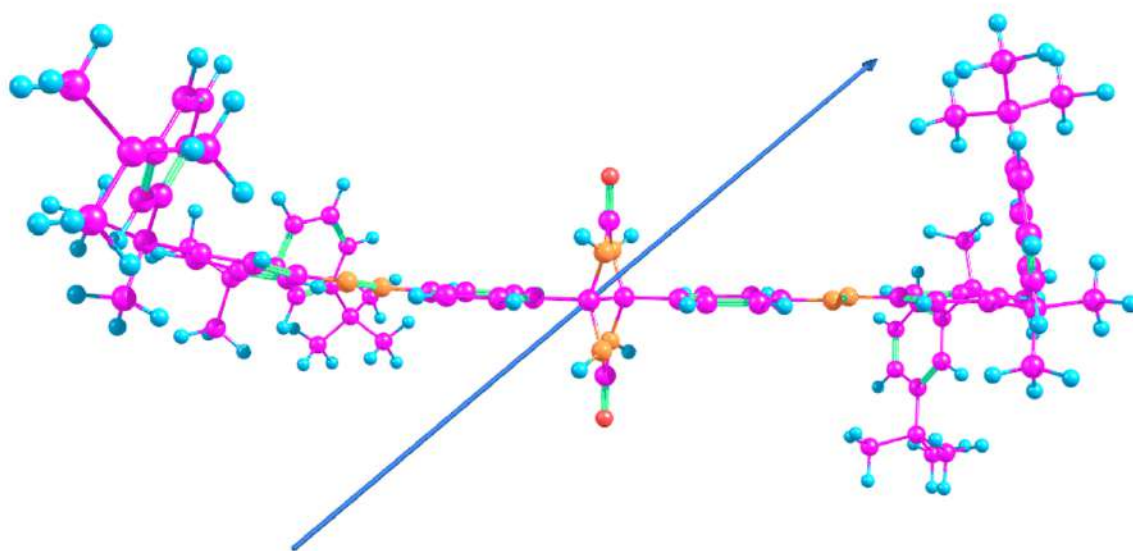


Fig. 11. Optimized structure of the GCU molecule. The arrow shows its dipole moment.

polarization. The well-polarized and planar structure impacted the change in the length and angles of chemical bonds in GCU. As a result, the length and angles of the chemical bonds in the large planar molecule were increased. This change is responsible for an increase in the adsorption properties of GCU on the metal surface. Additionally, the good polarized and planar structure promotes good intermolecular interactions between the metal surface and inhibitor molecule [80–83].

3.10.2. Frontier molecular orbital electron density distribution analysis

The energy distribution of the electron density in the HOMO and LUMO for GCU were calculated in the frontier molecular orbital (FMO) analysis of the DFT calculation. The light yellow, dark yellow, red violet and blue green indicate the nitrogen, oxygen, carbon and hydrogen atoms, respectively, in the observed HOMO and LUMO of GCU. Fig. 12 shows that the LUMO regions were positioned around the right side of GCU, indicating that the LUMO regions were positioned around the right side of the two benzoyl rings and the $-\text{N}=\text{N}-$ group. The LUMO regions support the electron-acceptor performance of the inhibitor. Some electron pairs in the d-orbitals of iron are transferred to antibonding LUMO orbitals. Additionally, the GCU molecule was protonated through the HOMO regions. Therefore, the LUMO regions are responsible for the re-donation and electrostatic interac-

tions. In comparison, the HOMO regions are positioned mostly around the left side of the GCU molecule, showing that the HOMO regions are mostly positioned around the left side of two benzoyl rings and the $-\text{N}=\text{N}-$ group. Additionally, some HOMO regions were also located around glycoluril and the right side of the two benzoyl rings and $-\text{N}=\text{N}-$. The HOMO regions are responsible for the electron-donor behaviour, meaning that the p- and π -electrons in the HOMO regions are transferred to vacant d-orbitals of iron to form covalent bonds between the inhibitor and metal surface [82,83].

3.10.3. Molecular electrostatic potential analysis

The molecular electrostatic potential (MEP) for the GCU inhibitor is indicated in Fig. 13. As shown in Fig. 3, the more reactive sites were around the nitrogen heteroatoms and benzoyl rings. The found reactive sites indicated electrophilic and nucleophilic attack positions in the optimized structure of GCU. These attacking positions are responsible for forming covalent and electrostatic bonds between the corrosion inhibitor and metal surface. As indicated, the red (negative) and blue (positive) sites show the nucleophilic and electrophilic reactivity positions in the optimized structure, respectively. It is also highlighted that GCU mainly has a nucleophilic reactivity structure, which means that the structure of GCU is a good adsorbent. In contrast, the thioglycol rings support the electrophilic reactivity positions.

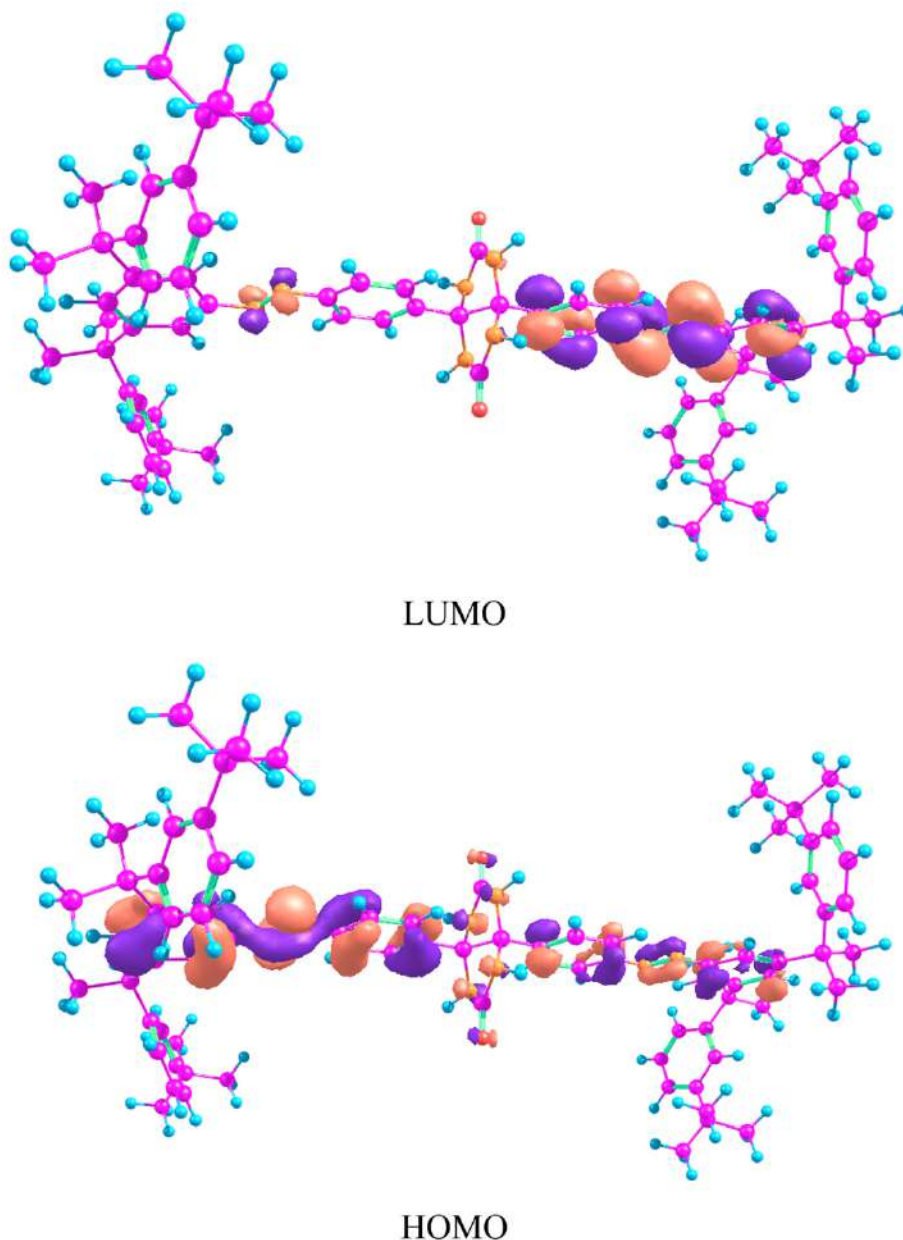


Fig. 12. LUMO and HOMO orbitals of the GCU molecule.

3.10.4. Global reactivity descriptor analysis

The energy gap between the HOMO ($E_{\text{HOMO(Inh)}}^{\text{DFT}}$) [56] and LUMO ($E_{\text{LUMO(Inh)}}^{\text{DFT}}$) [57] of BSTGCU is employed to calculate the global reactive descriptors such as the molecular ionization potential ($I_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$) [58], electron affinity ($A_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$) [59], electronic chemical potential ($\mu_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$) [60], electronic negativity ($\chi_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$) [61], chemical hardness ($\eta_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$) [62], chemical softness ($\sigma_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$) [63], electrophilicity index ($\omega_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$), electrodonating power ($\omega(+)^{\text{DFT}}$), electroaccepting power ($\omega(-)^{\text{DFT}}$), α -polarizability ($\alpha_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$), β -polarizability ($\beta_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$), γ -polarizability ($\gamma_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$), nucleophilicity ($\epsilon_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$) [64], and fraction of electron transfer from the inhibitor molecule to the metal surface ($\Delta N_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$) (related to Koopmans's theory) and metal-inhibitor interaction energy ($\Delta\psi_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$), according to Equations (20)–(34). The obtained values of these parameters are given in Table 9.

$$\Delta E_{\text{Inh}}^{\text{DFT}} = E_{\text{LUMO(Inh)}}^{\text{DFT}} - E_{\text{HOMO(Inh)}}^{\text{DFT}} \quad (20)$$

$$I_{\text{Inh}}^{\text{DFT}} = -E_{\text{HOMO(Inh)}}^{\text{DFT}} \quad (21)$$

$$A_{\text{Inh}}^{\text{DFT}} = -E_{\text{LUMO(Inh)}}^{\text{DFT}} \quad (22)$$

$$-\mu_{\text{Inh}}^{\text{DFT}} = \chi_{\text{Inh}}^{\text{DFT}} = \frac{1}{2}(I_{\text{Inh}}^{\text{DFT}} + A_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}) \quad (23)$$

$$\eta_{\text{Inh}}^{\text{DFT}} = \frac{1}{2}(I_{\text{Inh}}^{\text{DFT}} - A_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}) \quad (24)$$

$$\sigma_{\text{Inh}}^{\text{DFT}} = \frac{1}{\eta} \quad (25)$$

$$\omega_{\text{Inh}}^{\text{DFT}} = \frac{(\chi_{\text{Inh}}^{\text{DFT}})^2}{2\eta_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}} \quad (26)$$

$$\omega(+)^{\text{DFT}}_{\text{Inh}} = (I_{\text{Inh}}^{\text{DFT}} \times 3A_{\text{Inh}}^{\text{DFT}})^2 + (16(I_{\text{Inh}}^{\text{DFT}} - A_{\text{Inh}}^{\text{DFT}})) \quad (27)$$

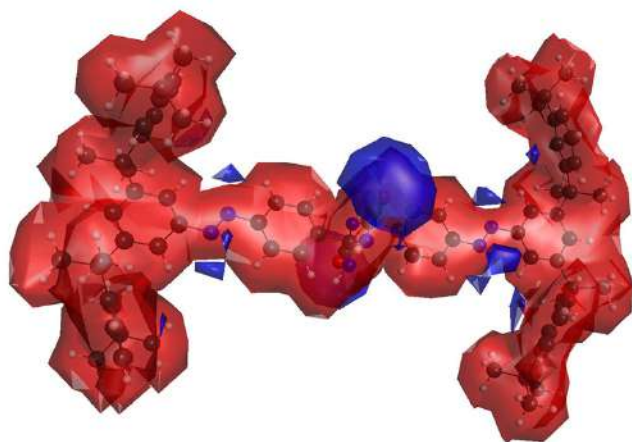


Fig. 13. MEP of the GCU molecule, visualized with *wxmacmolplt* software [55].

Table 9

Values of the theoretical parameters of the GCU inhibitor.

Parameter	Values of the parameters (eV)
$E_{HOMO}^{DFT}(inh)$	−6.19
$E_{LUMO}^{DFT}(inh)$	−2.35
ΔE_{inh}^{DFT}	3.84
I_{inh}^{DFT}	6.19
A_{inh}^{DFT}	2.35
μ_{inh}^{DFT}	−4.27
χ_{inh}^{DFT}	4.27
η_{inh}^{DFT}	1.92
σ_{inh}^{DFT}	0.52
ω_{inh}^{DFT}	4.74
$\omega(+)^{DFT}_{inh}$	1.96
$\omega(-)^{DFT}_{inh}$	−44.3
α_{inh}^{DFT}	1057.66
β_{inh}^{DFT}	−81
γ_{inh}^{DFT}	149.1×10^4
ϵ_{inh}^{DFT}	0.21
ΔN_{inh}^{DFT}	0.71
$\Delta \psi_{inh}^{DFT}$	0.35
Dipole moment, Debye	0.18

$$\omega(-)^{DFT}_{inh} = (3I_{inh}^{DFT} \times 3A_{inh}^{DFT})^2 + (16(I_{inh}^{DFT} - A_{inh}^{DFT})) \quad (28)$$

$$\langle \alpha_{inh}^{DFT} \rangle = 1/3[\alpha_{xx} + \alpha_{yy} + \alpha_{zz}] \quad (29)$$

$$\langle \beta_{inh}^{DFT} \rangle = 1/3[\beta_{xxx} + \beta_{yyy} + \beta_{zzz}] \quad (30)$$

$$\langle \gamma_{inh}^{DFT} \rangle = 1/3[\gamma_{xxx} + \gamma_{yyy} + \gamma_{zzz}] \quad (31)$$

$$\epsilon_{inh}^{DFT} = \frac{1}{\omega_{inh}^{DFT}} \quad (32)$$

$$\Delta N_{inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Fe} - \chi_{inh}^{DFT})}{2(\eta_{Fe} + \eta_{inh}^{DFT})} \quad (33)$$

$$\Delta \psi_{inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Fe} - \chi_{inh}^{DFT})}{4(\eta_{Fe} + \eta_{inh}^{DFT})} \quad (34)$$

where η_{Fe} is 0 eV/mol and χ_{Fe} is 7 eV/mol.

Table 9 indicates the values of the theoretical parameters of the GCU corrosion inhibitor. The interaction of the GCU molecule with the metal surface, its adsorption mechanism and its chemical beha-

viour were determined by applying quantum chemical calculations (DFTs) in both the aqueous and gas phases. DFT is a computationally based calculation from which different parameters can be determined [54]. These parameters show the adsorption property of the inhibitor molecule and the strong interaction between the inhibitor molecule and the metal surface. Fig. 12 indicates that in the GCU molecule, E_{HOMO} localized towards more electron-donating moieties, such as phenyl rings and lone pair-containing heteroatoms. Similarly, E_{LUMO} reveals the electron-accepting nature of the inhibitor molecules from the filled d-orbitals of a metal surface by retrodonation [55]. Fig. 12 represents the E_{LUMO} image of GCU molecules in which the electron-accepting density localized towards more electron-accepting groups, such as carbonyl and $-N=N-$ groups. Some previous studies suggested that the lower the E_{HOMO} value (Table 9 of the inhibitor molecule is, the higher the electron-donating property. Additionally, the lower value of the E_{LUMO} value (Table 9 suggests the electron-acceptor nature of the inhibitor molecule from the metal orbital, and in this way, a strong interaction takes place between organic molecules and the metal surface.

As seen from Table 9, the value of the energy gap between the LUMO and HOMO orbitals confirmed that GCU is more reactive and polar; this is due to an increase in polarity being responsible for the high adsorption rate of molecules on the metal surface. The lower value of η_{inh}^{DFT} and higher value σ_{inh}^{DFT} of GCU confirmed that the selected inhibitor had a lower chemical hardness and a higher softness. Electron transportation between the metal surface and inhibitor occurs at a high rate. The energetic barrier for electron transfer is very low for the GCU inhibitor. The next important aspects from Table 9 are that the obtained amounts of theoretical parameters show that the GCU inhibitor is a low electrophilic, good nucleophilic and low electronegativity molecule. These results confirmed that GCU is a good inhibitory behaviour molecule. The obtained amounts of ΔN_{inh}^{DFT} and $\Delta \psi_{inh}^{DFT}$ were lower than zero, indicating that (i) the inhibition performance of the GCU inhibitor was enhanced with the improved electron-donating ability on the metal surface and (ii) the GCU inhibitor was an excellent electron-donating nature inhibitor. The dipole moment and polarizability of the GCU inhibitor suggest that the GCU inhibitor is a highly polarized molecule and is soluble in polarized environments (corrosive acid medium). The global hardness and global softness represent the changes in the chemical potential and electron cloud polarization, respectively, and both are opposite to each other. Similarly, a lower energy gap (ΔE) indicates the highly polar character of the inhibitor molecule, and due to increased polarity, it favours the high adsorption rate of molecules on the metal surface [56]. Additionally, the electron fraction transfer indicates the rapid electron transfer of an electron from the inhibitor to the metal surface.

3.10.5. Local molecular reactivity analysis

The most favourable positions in the optimized structure of the GCU inhibitor for adsorption were found by the local molecular reactivity study. The most nucleophilic (f_k^- high), electrophilic (f_k^+ high) and neutral (f_k^0 high) attacking sites in the GCU molecule were measured by the Fukui function. Mulliken population analysis (NPA) was employed to compute the Fukui indices (f_k^+ , f_k^- , f_k^0) of the inhibitor by Fukui functions related to Equations (35)–(37). Fukui functions were calculated as $f_k^+ = D(\text{neutral molecule}) - D(\text{cation})$; $f_k^- = D(\text{anion}) - D(\text{neutral molecule})$; $f_k^0 = (D(\text{anion}) - D(\text{cation}))/2$, where D (a.u.) is the total electron density on each nucleus. The obtained results are represented in Table 10.

$$f_k^+ = P_k(N+1) - P_k(N) \quad (35)$$

$$f_k^- = P_k(N) - P_k(N-1) \quad (36)$$

$$f_k^0 = P_k(N+1) - P_k(N-1) \quad (37)$$

where $P_k(N+1)$, $P_k(N)$ and $P_k(N-1)$ are anionic, neutral and cationic molecules, respectively.

Fig. 14 displays the graphical representation of the Fukui indices showing that the higher positive value of Fukui functions f_k^+ reveals the nucleophilic attack of GCU molecules from which it can accept electrons and are located towards carbonyl and $-N=N-$ groups [57]. A similarly higher positive value of the Fukui indices f_k^- shows the electron-donating sites, which are located towards the electron-donating heteroatoms and electron-rich phenyl ring. The results also indicate that 3 N, 4 N, 7 N, 8 N, 64C and 76C atoms are responsible for the adsorption performance.

3.11. Molecular dynamics (MD) simulation

The interaction between the GCU inhibitor and the steel surface was studied by MD simulations. The whole investigated system reached equilibrium until both the temperature and energy were balanced. Fig. 15a displays the most stable adsorption configurations (top and side views) of GCU on the Fe(110) surface under static conditions. Clearly, the inhibitors tend to be adsorbed on the Fe(110) surface in parallel mode to obtain the maximum coverage. The adsorption density field slices for C, H, O, and N atoms of GCU on a metal substrate are presented in Fig. 15b. It is not a stretch to infer that there occurred a self-assembly process of GCU molecules on the iron surface, and the inhibitor is likely to adsorb on the substrate to form a dense and hydrophobic barrier and protect it from corrosion. Fig. 15c shows the three-dimensional relative concentration distributions of GCU during the MD process. Clearly, the C(001) direction (namely, the z-axis) exhibits the highest relative concentration value, which reconfirms the parallel adsorption configuration. As an illustrative example, the distance distribution for the neighbouring Fe-O atoms was monitored and depicted in Fig. 15d, and evidently the bond length of the Fe-O fluctuates approximately 2.4 Å, which manifests that chemisorption should exist in the investigated adsorption system.

The strength of the inhibitor absorbed on the metal surface can be evaluated by the adsorption energy (E_{ads}), which was calculated according to Equation (38):

$$E_{\text{ads}} = E_{\text{total}} - (E_{\text{surf} + \text{solu}} + E_{\text{inh} + \text{solu}}) + E_{\text{solu}} \quad (38)$$

where E_{total} is the energy of the entire system, $E_{\text{surf} + \text{solu}}$ represents the total energy of the Fe(110) surface and solution without the inhibitor, $E_{\text{inh} + \text{solu}}$ stands for the total energy of the inhibitor and solution, and E_{solu} is the potential energy of the solvent molecules. Generally, a more negative value of E_{ads} suggests a stronger adsorption strength between an inhibitor molecule and a metal surface. The obtained E_{ads} value of the GCU inhibitor was -390.1 kcal/mol. This negative value indicates the stability of the adsorptive system, and spontaneous adsorption can be expected. Overall, our theoretical results satisfactorily account for the experimental findings.

4. Inhibition and adsorption mechanism

The inhibition and adsorption mechanism (Fig. 16 of the GCU inhibitor depends on several factors, such as the electronic structure, adsorption centres, molecular size, metal nature, corrosive solution, electrolyte type, concentration, and temperature. The obtained experimental and theoretical results suggested that three types of inhibition and adsorption mechanisms occur on the metal surface: (i) π electron pairs of phenyl rings and unshared electron pairs of nitrogen heteroatoms are transferred to vacant d-orbitals of iron (chemisorption); (ii) protonated nitrogen atoms electrostatically interact with negatively charged metal surfaces (physisorption); and (iii) electron pairs in the d-orbitals of iron are redonated to unoccupied orbitals of the GCU molecules (antibonding). First, the steel surface was negatively charged by the adsorption of Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} and HS^- ions. When the GCU molecules were added to the corrosive medium, some nitrogen atoms were protonated under the acidic solution. The 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S solution was a more acidic medium, revealing that the inhibitor was easily protonated. Next, the proto-

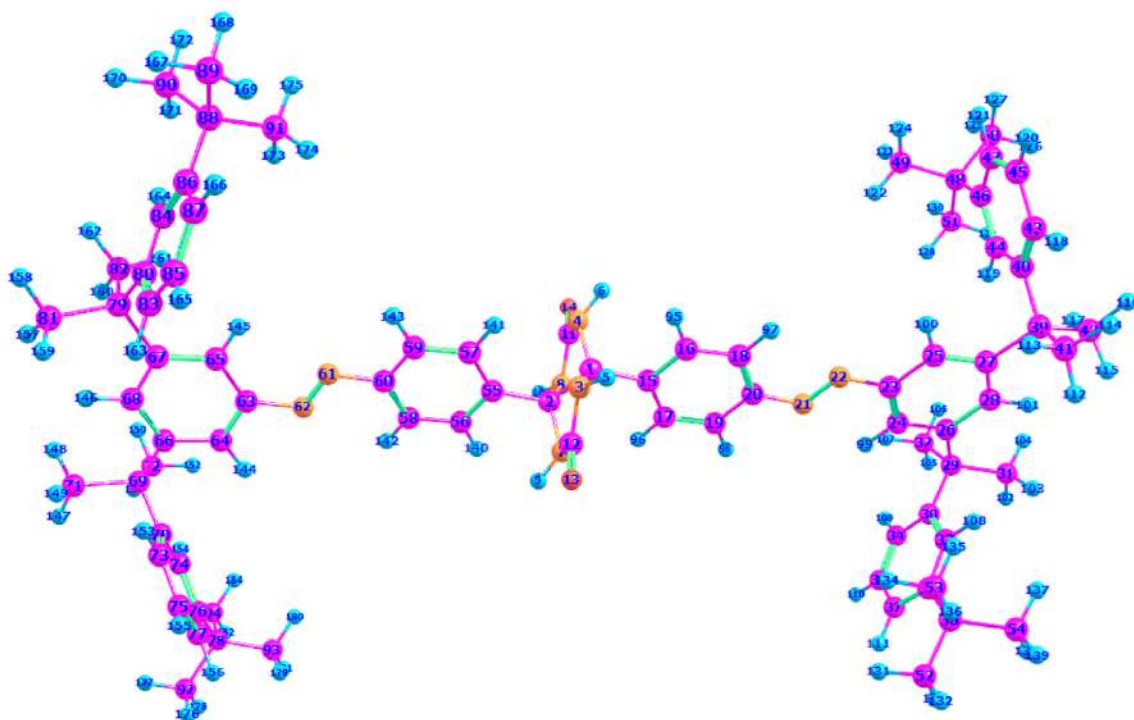


Fig. 14. Numbering of atoms in the GCU molecule (see Table below).

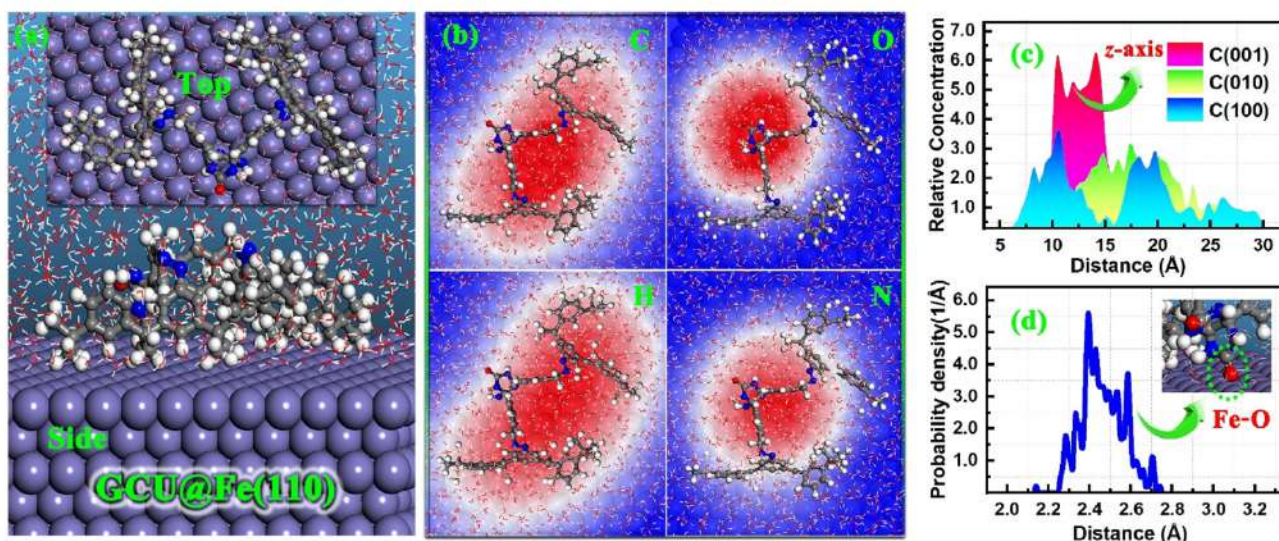


Fig. 15. (a) Equilibrium configuration, (b) atomic density field slices, (c) relative concentration, and (d) typical Fe – O distance distribution for the GCU@Fe (110) system.

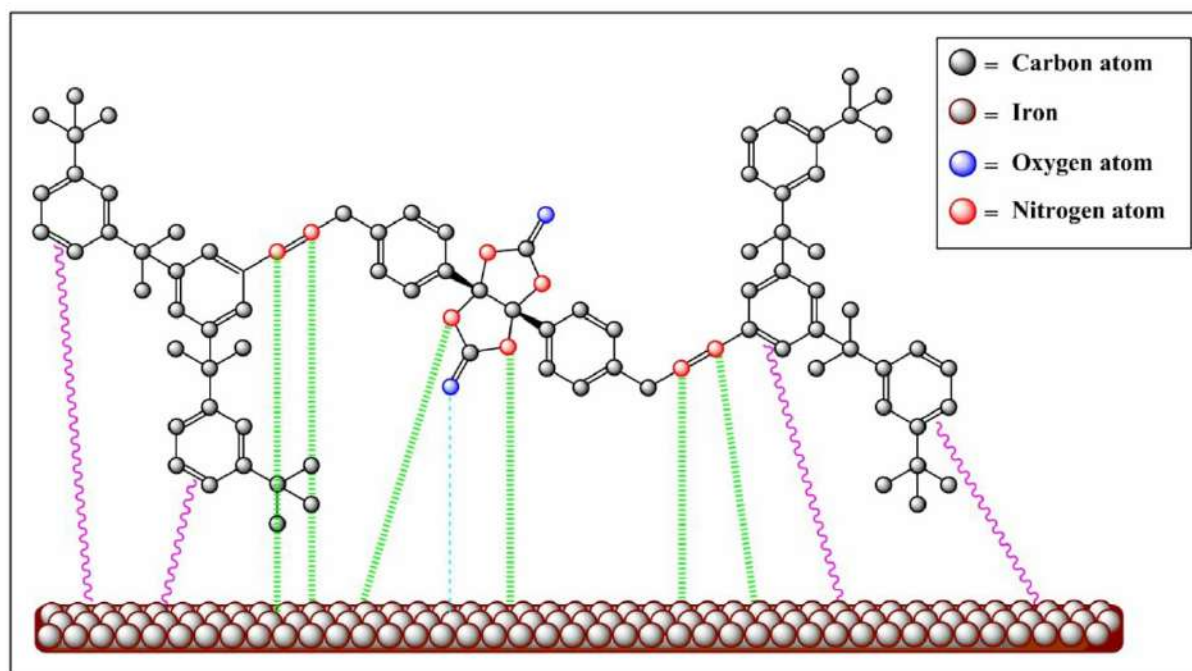


Fig. 16. Inhibition and adsorption mechanism of GCU.

nated form of GCU electrostatically interacted with the metal surface to form electrostatic bonds. The obtained values of the Gibbs free energy also confirmed physical adsorption. The following step is that the GCU chemically interacts with the metal surface to form covalent bonds. The PDP results also suggested that the GCU is a mixed-type, which means that it can effectively influence both the cathodic and anodic electrochemical reactions.

It is also clear from the theoretical and experimental findings that the GCU molecule adsorbs on the metal surface *via* the charged heteroatoms. The GCU molecule contains eight phenyl rings, two –N=N– and four amino groups, which are electron-rich moieties that contain extended multiple bonds and nonbonded electrons. This property makes GCU a prominent inhibitor of metal corrosion, which can cover a large surface area of the metal surface due to its bulky and electron-

rich centres. DFT and MD simulation results clearly indicate the electron density and the flat orientation of the GCU molecule on the metal surface. Additionally, the adsorption mechanism follows the Lewis acid-base reaction mechanism in which the GCU molecule acts as a Lewis base due to the presence of phenyl rings and lone pair electrons containing heteroatoms and iron surfaces behave like Lewis acids due to vacant d-orbitals. A similar finding has also been suggested in some previous studies [65–67].

5. Conclusions

In the present work, a novel GCU pharmaceutically active compound was first introduced as a green corrosion inhibitor for St3 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S, and its inhibition perfor-

mance was fully recognized by thermodynamic, gravimetric, EFM, LPR, PDP, EIS, DFT, MD simulation, and SEM-EDX methods. The obtained conclusions are listed as follows: (i) the experimental results confirmed that GCU is an efficient corrosive inhibitor; (ii) the maximum inhibition performance of GCU was 95.62% at 100 mg/L/0.08 mM; (iii) the adsorption thermodynamics of GCU inhibition were characterized following Langmuir isotherm analysis; (iv) the electrochemical results suggested that GCU is a mixed-type inhibitor with anodic dominance; (v) the electrochemical resistance on the anodic and cathodic actions dramatically rose in the presence of the inhibitor; (vi) the OCP results showed that the GCU-formed protective film on the metal surface was thermodynamically stable in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S; (vii) the dielectric constant of the corrosion environment was importantly reduced with the addition of GCU; (viii) the theoretical calculations correlated with the experimental results; (ix) from MD simulation analyses, the obtained E_{ads} value of the GCU inhibitor is − 390.1 kcal/mol for the Fe(101) surface.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

The authors wish to acknowledge Karshi State University, Karshi, Uzbekistan, the Ministry of Higher and Secondary Specialized Education of the Republic of Uzbekistan and the Ministry of Innovative Development of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, Tianjin University, China. This work was partly sponsored by the National Natural Science Foundation of China (21706195, 22062022).

References

- [1] H. Wei, B. Heidarshenas, L. Zhou, G. Hussain, Q. Li, K. Ostrikov, Kostya (Ken) Ostrikov Green inhibitors for steel corrosion in acidic environment: state of art, *Materials Today Sustainability* 10 (2020) 100044, <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2020.100044>.
- [2] C. Verma, E.E. Ebenso, M.A. Quraishi, Ionic liquids as green and sustainable corrosion inhibitors for metals and alloys: An overview, *J. Mol. Liq.* 233 (2017) 403–414.
- [3] J. Tan, L. Guo, H. Yang, F. Zhang, Y. El Bakri, Synergistic effect of potassium iodide and sodium dodecyl sulfonate on the corrosion inhibition of carbon steel in HCl medium: a combined experimental and theoretical investigation, *RSC Adv.* 10 (26) (2020) 15163–15170.
- [4] M. Rbaa, A. Hichar, O. Bazdi, Y. Lakhrissi, K. Ounine, B. Lakhrissi, Synthesis, characterization, and in vitro antimicrobial investigation of novel pyran derivatives based on 8-hydroxyquinoline, *Beni-Suef Univ J Basic Appl Sci.* 12 (2019) 1–7.
- [5] E. Berdimurodov, K. Akbarov, A. Kholikov, Electrochemical frequency modulation and reactivation investigation of thioglycolurils in strong acid medium, *Adv. Mater. Res.* 1154 (2019) 122–128.
- [6] Lei Guo, Ruilai Zhang, Bochuan Tan, Wenpo Li, Hongyan Liu, Sizhan Wu, Locust Bean Gum as a green and novel corrosion inhibitor for Q235 steel in 0.5 M H₂SO₄ medium, *Journal of Molecular Liquids* 310 (2020) 113239.
- [7] Omar Dagdag, Ahmed El Harfi, Mustapha El Gouri, Zaki Safi, Ramzi T. T. Jalgham, Nuha Wazzan, Chandrabhan Verma, E. E. Ebenso, U. Pramod Kumar, Anticorrosive properties of Hexa (3-methoxy propan-1,2-diol) cyclotri-phosphazene compound for carbon steel in 3% NaCl medium: gravimetric, electrochemical, DFT and Monte Carlo simulation studies, *Heliyon* 5 (2019) e01340.
- [8] M. Rbaa, O. Bazdi, A. Hichar, Y. Lakhrissi, K. Ounine, B. Lakhrissi, Synthesis, Characterization and Biological Activity of new Pyran Derivatives of 8-Hydroxyquinoline, *Eurasian J. Anal. Chem.* 13 (2018) 19–30.
- [9] E. Berdimurodov, J. Wang, A. Kholikov, K. Akbarov, B. Burikhonov, N. Umirov, Investigation of a new corrosion inhibitor cucurbiturils for mild steel in 10% acidic medium, *Adv. Eng. Forum, Trans Tech Publ.* 18 (2016) 21–38.
- [10] L. Guo, B. Tan, X. Zuo, W. Li, S. Leng, X. Zheng, Eco-friendly food spice 2-Furfurylthio-3-methylpyrazine as an excellent inhibitor for copper corrosion in sulfuric acid medium, *J. Mol. Liq.* 317 (2020) 113915.
- [11] M. Rbaa, P. Dohare, A. Berisha, O. Dagdag, L. Lakhrissi, M. Galai, A. Zarrouk, New Epoxy sugar based glucose derivatives as ecofriendly corrosion inhibitors for the carbon steel in 1.0 M HCl: Experimental and theoretical investigations, *J. Alloy. Compd.* 833 (2020) 154949.
- [12] M. Rbaa, A. Hichar, P. Dohare, E.H. Anouar, Y. Lakhrissi, B. Lakhrissi, M. Berredjem, F. Almalki, V. Rastija, M. Rajabi, T.B. Hadda, A. Zarrouk, Synthesis, Characterization, Biocomputational Modeling and Antibacterial Study of Novel Pyran Based on 8-Hydroxyquinoline, *Arab. J. Sci. Eng.* 46 (6) (2021) 5533–5542.
- [13] Berdimurodov, Elyor, Kholikov, Abduvali, Akbarov, Khamdam, Nakhatov, Innat, Kh Jurakulova, Nigora, Umirov, Nurbek, 2017. Adsorption isotherm and SEM investigating of cucurbit [n]urils based corrosion inhibitors with gossypol for mild steel in alkaline media containing chloride ions. *Adv. Eng. Forum, Trans Tech Publ.* 23, 13.
- [14] Lei Guo, Youness El Bakri, Rongrong Yu, Jianhong Tan, El Mokhtar Essassi, El Mokhtar Essassi, Newly synthesized triazolopyrimidine derivative as an inhibitor for mild steel corrosion in HCl medium: an experimental and in silico study, *J. MATER RES TECHNOL.* 9 (3) (2020) 6568–6578.
- [15] M. Rbaa, F. Benhiba, M. Galai, Ashraf S. Abousalem, M. Ouakki, Chin-Hung Lai, B. Lakhrissi, C. Jama, I. Warad, M. Ebn Touhami, A. Zarrouk, Synthesis and characterization of novel Cu (II) and Zn (II) complexes of 5-[(2-Hydroxyethyl) sulfanyl] methyl-8-hydroxyquinoline as effective acid corrosion inhibitor by Experimental and Computational testings, *Chem. Phys. Lett.* 754 (2020) 137771, <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2020.137771>.
- [16] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, D. Nuriddinova, Polarization resistance parameters of anti-corrosion inhibitor of cucurbit [N] urils and thioglycolurils in aggressive mediums, *Adv. Eng. Forum, Trans Tech Publ.* 26 (2018) 74–86.
- [17] Lei Guo, Ime Bassey Obot, Xingwen Zheng, Xun Shen, Yujie Qiang, Savaş Kaya, Cemal Kaya, Ime Bassey Obot, Xingwen Zheng, Xun Shen, Yujie Qiang, Savaş Kaya, Cemal Kaya, Theoretical insight into an empirical rule about organic corrosion inhibitors containing nitrogen, oxygen, and sulfur atoms, *Appl. Surf. Sci.* 406 (2017) 301–306.
- [18] M. Rbaa, B. Lakhrissi, Novel oxazole and imidazole based on 8-Hydroxyquinoline as a Corrosion Inhibition of mild steel in HCl Solution: Insights from Experimental and Computational Studies, *Surf. Interfaces* 15 (2019) 43–59.
- [19] M. Rbaa, M. Galai, Ashraf S. Abousalem, B. Lakhrissi, M. Ebn Touhami, I. Warad, Abdelkader Zarrouk, Synthetic, spectroscopic characterization, empirical and theoretical investigations on the corrosion inhibition characteristics of mild steel in molar hydrochloric acid by three novel 8-hydroxyquinoline derivatives, *Ionics (Kiel)* 13(8) 26 (1) (2020) 503–522.
- [20] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Xu. Guobao, Aboubakr M. Abdullah, Morteza Hosseini, New anti-corrosion inhibitor (3ar,6ar)-3a,6a-di-ptolytetrahydroimidazo[4,5-d]imidazole-2,5(1 h,3h)-dithione for carbon steel in 1 M HCl medium: gravimetric, electrochemical, surface and quantum chemical analyses, *Arabian J. Chem.* 13 (2020) 7504–7523.
- [21] Rachid Hissou, Omar Dagdag, Mohamed Berradi, Mehdi El Bouchti, Mohammed Assouag, Ahmed Elharfi, Development rheological and anti-corrosion property of epoxy polymer and its composite, *Heliyon* 5 (11) (2019) e02789, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02789>.
- [22] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Lei Guo, Inhibition properties of 4,5-dihydroxy-4,5-di-p-tolylimidazolidine-2-thione for use on carbon steel in an aggressive alkaline medium with chloride ions: Thermodynamic, electrochemical, surface and theoretical analyses, *J. Mol. Liq.* 327 (2021) 114813.
- [23] Rachid Hissou, Omar Dagdag, Said Abbout, Fouad Benhiba, Mohamed Berradi, Mehdi El Bouchti, Avni Berisha, Najat Hajjaji, Ahmed Elharfi, Novel derivative epoxy resin TGETET as a corrosion inhibition of E24 carbon steel in 1.0 M HCl solution. Experimental and computational (DFT and MD simulations) methods, *Journal of Molecular Liquids* 284 (2019) 182–192.
- [24] M. Rbaa, M. Fardoui, Chandrabhan Verma, Ashraf S. Abousalem, M. Galai, E.E. Ebenso, T. Guedira, B. Lakhrissi, I. Warad, A. Zarrouk, 8-Hydroxyquinoline based chitosan derived carbohydrate polymer as biodegradable and sustainable acid corrosion inhibitor for mild steel: Experimental and computational analyses, *Int. J. Biol. Macromol.* 155 (2020) 645–655.
- [25] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Lei Guo, Aboubakr M. Abdullah, Mustafa Elik, A gossypol derivative as an efficient corrosion inhibitor for St2 steel in 1 M HCl + 1 M KCl: An experimental and theoretical investigation, *J. Mol. Liq.* 328 (2021) 115475.
- [26] Rachid Hissou, Fouad Benhiba, Omar Dagdag, Mehdi El Bouchti, Khalid Nouneh, Mohammed Assouag, Samir Briche, Abdelkader Zarrouk, Ahmed Elharfi, Development and potential performance of prepolymer in corrosion inhibition for carbon steel in 1.0 M HCl: Outlooks from experimental and computational investigations, *Journal of Colloid and Interface Science* 574 (2020) 43–60.
- [27] M. Rbaa, F. Benhiba, R. Hissou, Y. Lakhrissi, B. Lakhrissi, M. Ebn Touhami, I. Warad, A. Zarrouk, Green synthesis of novel carbohydrate polymer chitosan oligosaccharide grafted on d-glucose derivative as bio-based corrosion inhibitor, *J. Mol. Liq.* 322 (2021) 114549, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114549>.
- [28] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, I.B. Khamdam Akbarov, Lei Guo Obot, Thioglycoluril derivative as a new and effective corrosion inhibitor for low carbon steel in a 1 M HCl medium: Experimental and theoretical investigation, *J. Mol. Struct.* 1234 (2021) 130165.
- [29] Rajesh Haldhar, Dwarika Prasad, Indra Bahadur, Omar Dagdag, Avni Berisha, Evaluation of Gloriosa superba seeds extract as corrosion inhibition for low carbon steel in sulfuric acid medium: A combined experimental and computational studies, *J. Mol. Liq.* 323 (2021) 114958.
- [30] Konrad Tiefenbacher, Henry Dube, Dariush Ajami and Julius Rebek, Jr., A transparent photo-responsive organogel based on a glycoluril supragelator, *Chem. Commun.*, 2011, 47, 7341–7343.
- [31] R. Ganapathi Sundaram, G. Vengatesh, M. Sundaravadivelu, Surface morphological and quantum chemical studies of some expired drug molecules as potential corrosion inhibitors for mild steel in chloride medium, *Surf. Interfaces* 22 (2021) 100841, <https://doi.org/10.1016/j.surfint.2020.100841>.

- [32] N. Palaniappan, J. Alphonsa, I.S. Cole, K. Balasubramanian, I.G. Bosco, Rapid investigation expiry drug green corrosion inhibitor on mild steel in NaCl medium, *Mater. Sci. Eng., B* 249 (2019) 114423.
- [33] M. Javidi, R. Omidvar, Synergistic inhibition behavior of sodium tungstate and penicillin G as an eco-friendly inhibitor on pitting corrosion of 304 stainless steel in NaCl solution using Design of Experiment, *J. Mol. Liq.* 291 (2019) 111330.
- [34] Žaklina Z. Tasić, Marija B. Petrović Mihajlović, Milan B. Radovanović, Milan M. Antonijević, Electrochemical investigations of copper corrosion inhibition by azithromycin in 0.9% NaCl, *J. Mol. Liq.* 265 (2018) 687–692.
- [35] M.M. El-Naggar, Corrosion inhibition of mild steel in acidic medium by some sulfadiazole compounds, *Corros. Sci.* 49 (5) (2007) 2226–2236.
- [36] Maryam Dehdab, Zahra Yavari, Mahdieh Darjani, Afshar Bargahi, The inhibition of carbon-steel corrosion in seawater by streptomycin and tetracycline antibiotics: an experimental and theoretical study, *Desalination* 400 (2016) 7–17.
- [37] D. Millan-Ocampo, J. Hernandez-Perez, J. Porcayo-Calderon, J. Flores-De, L. Landeros-Martinez los Rios, V. Salinas-bravo, J. Gonzalez-Rodriguez, L. Martinez, Experimental and theoretical study of ketoconazole as corrosion inhibitor for bronze in NaCl + Na₂SO₄ solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 12 (2017) 11428–11445.
- [38] A.M. Farimani, H. Hassannejad, A. Nouri, A. Barati, Using oral penicillin as a novel environmentally friendly corrosion inhibitor for low carbon steel in an environment containing hydrogen sulfide corrosive gas, *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 77 (2020) 103262.
- [39] Ojo Sunday Isaac Fayomi, I.Godwin Akande, Abimbola Popoola Idowu Popoola, Hlatswayo Mollifi, Potentiodynamic polarization studies of Cefadroxil and Dicloxacillin drugs on the corrosion susceptibility of aluminium AA6063 in 0.5 M nitric acid, *J. Mater. Res. Technol.* 8 (3) (2019) 3088–3096.
- [40] J.S.N.G.T. Yao, A. Trokourey, Thermodynamic and DFT studies on the behavior of cefadroxil drug as effective corrosion inhibitor of copper in one molar nitric acid medium, *J. Mater. Environ. Sci.* 10 (2019) 926–938.
- [41] S. Ouattara, P. Niamien, E.A. Bilé, A. Trokourey, Ciprofloxacin hydrochloride as a potential inhibitor of copper corrosion in 1M HNO₃, *Chem. Sin.* 8 (2017) 398–412.
- [42] I. Adardour, H. Igaz, R. Salghi, M. Larouj, S. Jodeh, M. Zougagh, I. Warad, H. Oudda, Corrosion inhibition performance of sulfamethazine for mild steel in phosphoric acid solution: gravimetric, electrochemical and DFT studies, *Pharm. Lett.* 8 (2016) 126–137.
- [43] S. Razieh Farahati, Morteza Mousavi-Khoshdel, Ali Ghaffarinejad, Hadi Behzadi, Experimental and computational study of penicillamine drug and cysteine as water-soluble green corrosion inhibitors of mild steel, *Progress in Organic Coatings* 142 (2020) 105567.
- [44] K. Haruna, T.A. Saleh, M.A. Quraishi, Expired metformin drug as green corrosion inhibitor for simulated oil/gas well acidizing environment, *J. Mol. Liq.* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113716>.
- [45] D.S. Priyanka Singh, S.S. Chauhan, G. Chauhan, M.A. Quraishi Singh, Chemically modified expired Dapsone drug as environmentally benign corrosion inhibitor for mild steel in sulphuric acid useful for industrial pickling process, *J. Mol. Liq.* 286 (2019) 110903.
- [46] Hari Kumar S., Karthikeyan S., Vivekanand P.A., Rajakumari S., Pioglitazone (PGZ) drug as potential inhibitor for the corrosion of mild steel in hydrochloric acid medium, *Materials Today: Proceedings xxx (xxxx) xxx*
- [47] Valentine Chikaodili Anadebea, Okechukwu Dominic Onukwulib, Fidelis Ebunta Abenge, Nkechinyere Amaka Okafora, Joseph Okechukwu Ezeogod, Chukwunonso Chukwuzuloke Okoye, Electrochemical-kinetics, MD-simulation and multi-input single-output (MISO) modeling using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) prediction for dexamethasone drug as eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 2 M HCl electrolyte, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 115 (2020) 251–265.
- [48] M.R. Gholamhosseinzadeh, H. Aghaie, M. Shahidi Zandi, M. Giah, Rosuvastatin drug as a green and effective inhibitor for corrosion of mild steel in HCl and H₂SO₄ solutions, *J. Mater. Res. Technol.* 8 (6) (2019) 5314–5324.
- [49] M. Abdallah, E.A.M. Gad, M. Sobhi, Jabir H. Al-Fahemi, M.M. Alfakeer, Performance of tramadol drug as a safe inhibitor for aluminum corrosion in 1.0 M HCl solution and understanding mechanism of inhibition using DFT, *Egypt. J. Pet.* 28 (2019) 173–181.
- [50] A N Kravchenko, V V Baranov, G A Gazieva, Synthesis of glycolurils and their analogues, *Russ. Chem. Rev.* 87 (1) (2018) 89–108.
- [51] Chengteh Lee, Weitao Yang, Robert G. Parr, Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density, *Phys. Rev. B* 37 (2) (1988) 785–789.
- [52] Axel D. Becke, Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange, *J. Chem. Phys.* 98 (7) (1993) 5648–5652.
- [53] R. Krishnan, J.S. Binkley, R. Seeger and J.A. Pople, “Self-consistent molecular orbital methods. XX. A basis set for correlated wave functions,” *J. Chem. Phys.*, vol. 72, p. 650, 1980
- [54] M.W. Schmidt, K.K. Baldridge, J.A. Boatz, et al, General atomic and molecular electronic structure system, *J. Comput. Chem.* 14 (11) (1993) 1347–1363.
- [55] Brett M. Bode, Mark S. Gordon, Macmolplt: a graphical user interface for GAMESS, *J. Mol. Graphics Mod.* 16 (3) (1998) 133–138.
- [56] A. Singh, K.R. Ansari, A. Kumar, W. Liu, C. Songsong, Y. Lin, Electrochemical, surface and quantum chemical studies of novel imidazole derivatives as corrosion inhibitors for J55 steel in sweet corrosive environment, *J. Alloy. Compd.* 712 (2017) 121–133, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.04.072>.
- [57] Mai M. Khalaf, Ahmed H. Tantawy, Kamal A. Soliman, Hany M. Abd El-Lateef, Cationic gemini-surfactants based on waste cooking oil as new ‘green’ inhibitors for N80-steel corrosion in sulphuric acid: A combined empirical and theoretical approaches, *Journal of Molecular Structure* 1203 (2020) 127442, <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.127442>.
- [58] G.L.F. Mendonça, S.N. Costa, V.N. Freire, P.N.S. Casciano, A.N. Correia, P. de Lima-Neto, Understanding the corrosion inhibition of carbon steel and copper in sulphuric acid medium by amino acids using electrochemical techniques allied to molecular modelling methods, *Corros. Sci.* 115 (2017) 41–55, <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2016.11.012>.
- [59] Hany M. Abd El-Lateef, Ahmed O. Alnajjar, Enhanced the protection capacity of poly(o-toluidine) by synergism with zinc or lanthanum additives at C-steel/HCl interface: A combined DFT, molecular dynamic simulations and experimental methods, *J. Mol. Liq.* 303 (2020) 112641, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112641>.
- [60] M.A. Deyab, A.S. Fouda, M.M. Osman, S. Abdel-Fattah, Mitigation of acid corrosion on carbon steel by novel pyrazolone derivatives, *RSC Adv.* 7 (71) (2017) 45232–45240, <https://doi.org/10.1039/c7ra08761f>.
- [61] W.N. Ahmaeed, A.N. Abd, A.A. Khadom, Corrosion inhibition effect of sodium iodide for mild steel in 1 M hydrochloric acid: Gravimetric and electrochemical studies, *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition* 8 (4) (2019) 1097–1111, <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2019-8-4-17>.
- [62] A. Singh, K.R. Ansari, M.A. Quraishi, S. Kaya, P. Banerjee, The effect of an N-heterocyclic compound on corrosion inhibition of J55 steel in sweet corrosive medium, *New J. Chem.* 43 (2019) 6303–6313.
- [63] Sourav Kr. Saha, Alok Dutta, Pritam Ghosh, Dipankar Sukul, Priyabrata Banerjee, Novel Schiff-base molecules as efficient corrosion inhibitors for mild steel surface in 1 M HCl medium: experimental and theoretical approach, *PCCP* 18 (27) (2016) 17898–17911.
- [64] D.S. Chauhan, M.A. Quraishi, A.A. Sorour, S.Kr Saha, P. Banerjee, Triazolemodified chitosan: a biomacromolecule as a new environmentally benign corrosion inhibitor for carbon steel in a hydrochloric acid solution, *RSC Adv.* 9 (2019) 14990e15003
- [65] Dakeshwar Kumar Verma, Savaş Kaya, Elhachmia Ech-chihbi, Fadoua El-Hajjaji, Mayur Mausoom Phukan, Hassien M. Alnashiri, Investigations on some coumarin based corrosion inhibitors for mild steel in aqueous acidic medium: Electrochemical, surface morphological, density functional theory and Monte Carlo simulation approach, *J. Mol. Liq.* 329 (2021) 115531, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115531>.
- [66] Dakeshwar Kumar Verma, Akram Al Fantazi, Chandrabhan Verma, Fahmida Khan, Ashish Asatkar, Chaudhery Mustansar Hussain, Eno E. Ebenso, Experimental and computational studies on hydroxamic acids as environmental friendly chelating corrosion inhibitors for mild steel in aqueous acidic medium, *J. Mol. Liq.* 314 (2020) 113651, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113651>.
- [67] D.K. Verma, E.E. Ebenso, M.A. Quraishi, C. Verma, Gravimetric, electrochemical surface and density functional theory study of acetohydroxamic and benzohydroxamic acids as corrosion inhibitors for copper in 1 M HCl, *Results Phys.* 13 (2019) 102194.
- [68] M. Rbaa, A. Oubih, H. Hajji, B. Tüzün, A. Hichar, E.H. Anouar, E. Berdimurodov, M.A. Ajana, A. Zarrouk, B. Lakhri, Synthesis, bioinformatics and biological evaluation of novel pyridine based on 8-hydroxyquinoline derivatives as antibacterial agents: DFT, molecular docking and ADME/T studies, *J. Mol. Struct.* 1244 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130934>.
- [69] Dilyfza Nuriddinova, Adsorption Equilibrium, Kinetics, Thermodynamics and Dynamic Separation of Magnesium and Calcium Ions from Industrial Wastewater by New Strong Acid Cation Resin of SPVC, *Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry*, 22 (1) (2021) 127–138.
- [70] O. Dagdag, R. Hissou, Z. Safi, R. Haldhar, E. Berdimurodov, M. el Bouchti, N. Wazzan, O. Hamed, S. Jodeh, M. el Gouri, Rheological and simulation for macromolecular matrix epoxy bi-functional aromatic amines, *Polym. Bull.* (2021), <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03862-z>.
- [71] E. Berdimurodov, A. Kholikov, K. Akbarov, L. Guo, Experimental and theoretical assessment of new and eco-friendly thioglycoluril derivative as an effective corrosion inhibitor of St2 steel in the aggressive hydrochloric acid with sulfate ions, *J. Mol. Liq.* 335 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116168>.
- [72] A. Yarkulov, B. Umarov, F. Rakhmatkarieva, N. Kattaev, K. Akbarov, E. Berdimurodov, Diacetate cellulose-silicon bionanocomposite adsorbent for recovery of heavy metal ions and benzene vapours: An experimental and theoretical investigation, *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12 (2022) 2862–2880, <https://doi.org/10.33263/BRIAC123.28622880>.
- [73] A.R. Shahmoradi, M. Ranjbarghane, A.A. Javidparvar, L. Guo, E. Berdimurodov, Bahram Ramezanzadeh, Theoretical and surface/electrochemical investigations of walnut fruit green husk extract as effective inhibitor for mild-steel corrosion in 1M HCl electrolyte, *J. Mol. Liq.* 338 (2021) 116550, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116550>.
- [74] R. Haldhar, S.-C. Kim, E. Berdimurodov, D.K. Verma, C.M. Hussain, Corrosion Inhibitors: Industrial Applications and Commercialization, in: Sustainable Corrosion Inhibitors II: Synthesis, Design, and Practical Applications, American Chemical Society, 2021: pp. 10–219. <https://doi.org/doi:10.1021/bk-2021-1404.ch010>.
- [75] O. Dagdag, Avni Berisha, Valbonë Mehmeti, Rajesh Haldhar, Elyor Berdimurodov, O. Hamed, S. Jodeh, Hassane Igaz, El-Sayed M. Sherif, Eno E. Ebenso, Epoxy coating as effective anti-corrosive polymeric material for aluminum alloys: Formulation, electrochemical and computational approaches, *J. Mol. Liq.* 346 (2021) 117886, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117886>.
- [76] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Lei Guo, Savaş Kaya, Konstantin P. Katin, Dakeshwar Kumar Verma, Mohamed Rbaa, Omar Dagdag, Novel cucurbit[6]uril-based [3]rotaxane supramolecular ionic liquid as a green

- and excellent corrosion inhibitor for the chemical industry, *Colloids Surf., A* 633 (2022) 127837, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127837>.
- [77] E. Berdimurodov, A. Kholikov, K. Akbarov, L. Guo, S. Kaya, D.K. Verma, M. Rbaa, O. Dagdag, New and Green Corrosion Inhibitor Based on New Imidazole Derivate for Carbon Steel in 1 M HCl Medium: Experimental and Theoretical Analyses, *Int. J. Eng. Res. Afr.* 58 (2022) 11–44. <https://www.scientific.net/JERA.58.11>.
- [78] E. Berdimurodov, L. Guo, A. Kholikov, K. Akbarov, M. Zhu, MOFs-Based Corrosion Inhibitors, in: *Supramolecular Chemistry in Corrosion and Biofouling Protection*, CRC Press, 2021: pp. 287–305.
- [79] A. Bahgat Radwan, C.A. Mannah, M.H. Sliem, N.H.S. Al-Qahtani, P.C. Okonkwo, E. Berdimurodov, A.M. Mohamed, A.M. Abdullah, Electrospun highly corrosion-resistant polystyrene-nickel oxide superhydrophobic nanocomposite coating, *Journal of Applied Electrochemistry*. 51 (2021) 1605–1618. <https://doi.org/10.1007/s10800-021-01603-8>.
- [80] M. Zhu, L. Guo, Z. He, R. Marzouki, R. Zhang, E. Berdimurodov, Insights into the newly synthesized N-doped carbon dots for Q235 steel corrosion retardation in acidizing media: A detailed multidimensional study, *Journal of Colloid and Interface Science*. 608 (2022) 2039–2049. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.10.160>.
- [81] E. Berdimurodov, A. Kholikov, K. Akbarov, L. Guo, S. Kaya, K.P. Katin, D. Kumar Verma, M. Rbaa, O. Dagdag, R. Haldhar, Novel bromide-cucurbit[7]uril supramolecular ionic liquid as a green corrosion inhibitor for the oil and gas industry, *J. Electroanal. Chem.* 901 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2021.115794> 115794.
- [82] E. Berdimurodov, D.K. Verma, A. Kholikov, K. Akbarov, L. Guo, The recent development of carbon dots as powerful green corrosion inhibitors: A prospective review, *Journal of Molecular Liquids*. (2021) 118124. [10.1016/j.molliq.2021.118124](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.118124).
- [83] D.K. Verma, M. Kazi, M.S. Alqahtani, R. Syed, E. Berdimurodov, S. Kaya, R. Salim, A. Asatkar, R. Haldhar, N-hydroxybenzothioamide derivatives as green and efficient corrosion inhibitors for mild steel: Experimental, DFT and MC simulation approach, *J. Mol. Struct.* 1241 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130648> 130648.



Novel cucurbit[6]uril-based [3]rotaxane supramolecular ionic liquid as a green and excellent corrosion inhibitor for the chemical industry

Elyor Berdimurodov^{a,*}, Abduvali Kholikov^b, Khamdam Akbarov^b, Lei Guo^{c,d,**}, Savaş Kaya^e, Konstantin P. Katin^f, Dakeshwar Kumar Verma^g, Mohamed Rbaa^h, Omar Dagdagⁱ

^a Faculty of Natural Sciences, Karshi State University, Karshi 180100, Uzbekistan

^b Faculty of Chemistry, National University of Uzbekistan, Tashkent 100034, Uzbekistan

^c School of Materials and Chemical Engineering, Tongren University, Tongren 554300, China

^d School of Oil and Natural Gas Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China

^e Cumhuriyet University Health Services Vocational School, Department of Pharmacy, 58140 Sivas, Turkey

^f National Research Nuclear University "MEPhI", Kashirskoe Shosse 31, Moscow 115409, Russian Federation

^g Department of Chemistry, Government Digvijay Autonomous Postgraduate College, Rajnandgaon, Chhattisgarh 491441, India

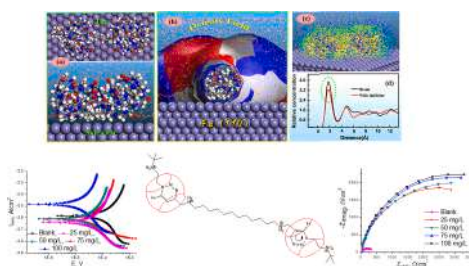
^h Laboratory of Organic Chemistry, Catalysis and Environment, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, PO Box 133, 14000 Kenitra, Morocco

ⁱ Laboratory of Industrial Technologies and Services (LITS), Department of Process Engineering, Height School of Technology, Sidi Mohammed Ben Abdallah University, P.O. Box 2427, 30000 Fez, Morocco

HIGHLIGHTS

- A novel cucurbit[6]uril-based [3]rotaxane (CU6R) was introduced for the first as a green and efficient corrosion inhibitor for the chemical industry.
- Carbon steel inhibition in an aggressive alkaline-saline solution was studied with a CU6R for the first time.
- The inhibition characteristics of CU6R in 1 M OH⁻ + 1 M Cl⁻ solution were fully studied.
- The MD simulation findings that CU6R interacts well with the Fe(101) surface.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Keywords:

Corrosion inhibitor
Ionic liquids
Alkaline-saline solution
Cucurbit[6]uril
Rotaxane

ABSTRACT

The corrosion of steel materials in alkaline-saline media is the largest problem in industry. Economical and environmentally friendly corrosion inhibitors are crucial for corrosion protection. The present work is the first to introduce a novel cucurbit[6]uril-based [3]rotaxane supramolecular ionic liquid (CB6-based [3]rotaxane) as a green and efficient corrosion inhibitor for the chemical industry. The correlation between the supramolecular ionic liquid system and inhibition behavior was studied first. The inhibition characteristics of CB6-based [3]rotaxane in 1 M OH⁻ + 1 M Cl⁻ solution were first investigated by thermodynamic, gravimetric, electrochemical impedance spectroscopy (EIS), potentiodynamic polarization (PDP), electrochemical noise (EN), cyclic voltammetry (CV), density functional theory (DFT), molecular dynamics (MD) simulation, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectrometry (EDX) methods. The experimental results confirmed that CB6-based [3]rotaxane exhibited excellent corrosion resistance, and its inhibition efficiency was 97.97% at 100 mg/L and 0.032 mM. The electrochemical results suggested that (i) CB6-based [3]rotaxane was a mixed-type

* Corresponding author.

** Corresponding author at: School of Materials and Chemical Engineering, Tongren University, Tongren 554300, China.

E-mail addresses: elyor170690@gmail.com (E. Berdimurodov), cqglei@163.com (L. Guo).

corrosion inhibitor with anodic dominance; (ii) the supramolecular part of selected ionic liquid is responsible for notably blocks the charge transfer process on the metal surface. The theoretical findings correlated well with the experimental results and revealed that the protonated form of this supramolecular structure exhibited better performance than its neutral form. MD simulations results suggested that the bond length of the Fe(surface)-inhibitor (3.127 Å) is less than 3.5 Å, which indicates that chemisorption is dominant in the investigated adsorption system. Molecular electrostatic potential analysis confirmed that the studied ionic liquid-supramolecular system contained most favorable nucleophilic centers, which are responsible for excellent inhibition performance.

1. Introduction

Carbon steel materials are dominant in the chemical industry because they are easy to manipulate and cost effective. The corrosion of steel materials in aggressive alkaline-saline media is the greatest economic and environmental problem [1–4]. The loss of mechanical properties in metallic materials causes several problems in production processes. Therefore, protecting steel materials from destructive corrosion in alkaline-saline media is an important task in the chemical industry. Approximately 3–4 billion US dollars have been expended to protect metallic materials from corrosion [5,6]. Corrosive solutions contain more oxygen, chloride, and hydroxyl ions. For example, underground and marine environments are aggressive alkaline-saline media. Carbon steel is highly reactive in oxygen-, chloride- and hydroxyl-rich environments; as a result, it can easily react with these corrosive ions to form corrosive deposits on metallic surfaces [7–10].

Currently, several methods for corrosion protection are being used in the chemical industry. Among them, corrosion inhibitors are efficient, cost-effective, and environmentally friendly methods for providing corrosion protection [11–14]. Corrosion inhibitors are organic compounds that adsorb on metal surfaces; as a result, the metal surface is protected from destructive corrosion. The contact sites of the metal surface with the corrosive solution decreases with the addition of an inhibitor [15,16]. The adsorption of corrosive inhibitors on metal surfaces depends on several factors, such as the temperature, nature of the corrosive solution, concentration, metal type, molecular structure, and inhibitor size. Additionally, the number of heteroatoms, aromatic rings, and active functional groups in the structure of the inhibitor molecule contribute to better adsorption [17]. This is due to the π -electrons of aromatic rings and p-electrons of heteroatoms or functional groups supporting better chemical and physical interactions between the inhibitor and metal surface [18].

Currently, environmentally friendly and cost-effective corrosion inhibitors such as ionic liquids are very important for protecting steel from corrosion in the chemical industry. Ionic liquids have some good properties, such as their extremely high stability during thermal and chemical treatments, good water solubility, high polarity, environmental friendliness, low vapor pressure, low melting point and good adsorption ability [34]. Therefore, ionic liquids are widely used to protect steel surfaces from various corrosion media. At present, there are few studies related to the corrosion protection of steel in alkaline-saline solutions by ionic liquids [19,20]. Chong et al. investigated the inhibitory properties of protic imidazolium cation and 4-hydroxycinnamate anion ionic liquids for mild steel in 0.01 M NaCl alkaline solution. It was found that the inhibition efficiency of these ionic liquids was 72%, and they exhibited anodic-type inhibition [21]. Deyab introduced antimicrobial quaternary ammonium ionic liquids, which can protect carbon steel from microbial corrosion in oilfield saline water. The obtained results confirmed that the degree of protection of this inhibitor reached 93.7% at 1.3×10^{-3} M [22]. Dermani et al. modified a 1-butyl-3-methylimidazolium chloride ionic liquid with graphene oxide nanosheets as a good corrosion inhibitor in a 5 wt% NaCl solution [23]. It is clear from the obtained results that this inhibitor effectively improved the surface morphology of steel. A 1-butyl-1-methylpyrrolidinium trifluoromethylsulfonate ionic liquid was introduced as a good corrosion

inhibitor and antibacterial agent for mild steel in a 3.5% NaCl solution; their inhibition efficiency was 80% at 100 ppm [24]. Barakat et al. studied the inhibitory properties of new imidazole-based ionic liquids for steel in cement pore solution. Their adsorption behaviors followed the Langmuir isotherm. The obtained Gibbs free energies confirmed the chemisorption of these ionic liquids on the steel surface, and the polarization results suggested that these ionic liquids were mixed-type inhibitors [25].

Ye [42,43] synthesized new N-doped citric acid-based carbon dots and investigated their anti-corrosion activities for mild steel in hydrochloric acid environment. It was found that the carbon dots is new and environmental anti-corrosion agents for metallic materials. Their inhibition protection degree was over 90% in the aggressive corrosive medium. Luo [44] studied the inhibition effectiveness of carbon dots in 180 °C, resulting that the carbon dots are more effective with over 98% at the high temperature.

The novelty of the present work is as follows: (i) a novel cucurbit[6]uril-based [3]rotaxane supramolecular ionic liquid (CB6-based [3]rotaxane) was introduced for the first as a green and efficient corrosion inhibitor for the chemical industry; (ii) the impact of the supramolecular system on inhibition behavior was researched for the first time; (iii) an ionic liquid-based supramolecular system was introduced for the first time; (iv) carbon steel inhibition in an aggressive alkaline-saline solution was studied with a supramolecular system for the first time; (v) the inhibition characteristics of CB6-based [3]rotaxane in 1 M OH[−] + 1 M Cl[−] solution were fully studied for the first time by thermodynamic, gravimetric, electrochemical impedance spectroscopy (EIS), potentiodynamic polarization (PDP), electrochemical noise (EN), cyclic voltammetric (CV), density functional theory (DFT), molecular dynamics (MD) simulation, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectrometry (EDX) methods. The cucurbit[6]uril was easily synthesized from the low cost urea and glyoxal by the low cost and easily synthesis methodology. This made selected inhibitor become low cost. CB6-based [3]rotaxane was selected according to its following properties: (i) it is an antibacterial, anti-inflammatory, anticonvulsant, antimicrobial, antitumour, and analgesic agent [26], (ii) it is green and environmentally friendly; (iii) it is a molecule with a large planar structure that contains a large number of electron-rich heteroatoms; (iv) it is an ionic liquid and supramolecular system; and (v) it is large and more water soluble than other ionic liquids. These properties allow CB6-based [3]rotaxane to become an excellent inhibitor.

2. Experimental section

2.1. Metal samples and research solutions

In this research work, carbon steel (St2) was selected for all experiments. The selected metal samples were composited as follows: ~98% Fe, 0.15–0.15% Si, 0.25–0.5% Mn, 0.09–0.15% C, 0.3% Ni, 0.3% Cu, 0.3% Cr, 0.04% P, 0.05% S, 0.08% As, and 0.008% N [5,7]. A 1 M OH[−] + 1 M Cl[−] solution was chosen as the corrosive solution. It was prepared from 1 M NaOH and 1 M NaCl solutions. Some steel pipes and other metallic constructions of chemical industry were located underground. The underground water is more saline and alkaline solution, so the corrosion of steel based metallic materials in the aggressive saline and

alkaline solution is seriously problem. The OH^- and Cl^- ions are mainly compound in the underground water, therefore, they are mainly responsible for the metallic corrosion. In this research work, the simulated more saline and alkaline solution was used with 1 M OH^- + 1 M Cl^- solution. It was prepared from the from 1 M NaOH and 1 M NaCl solutions.

2.2. Corrosion inhibitor

The cucurbit[6]uril-based [3]rotaxane supramolecular ionic liquid (CB6-based [3]rotaxane) was used in the present work as a corrosion inhibitor. The molecular structure and chemical properties were fully characterized in the previous research work [26]. CB6-based [3]rotaxane contained two parts: the supramolecular ionic liquid part and the tail part (Fig. 1). The first part is responsible for adsorption and chemical interactions on the metal surface. The second part is hydrophobic and can effectively insulate the metal surface from a polar electrolyte. CB6-based [3]rotaxane inhibitor is more water soluble. This is due to four nitrogen atoms of inhibitor structure (Fig. 1) are protonated. This make corrosion inhibitor become more water soluble. Additionally, the supramolecular part of ionic liquids are also attributed to rise the

solubility of inhibitor.

2.3. Thermodynamic and gravimetric analyses

Thermodynamic and gravimetric analyses were carried out with carbon steel samples (dimensions of 3 cm × 3 cm × 0.1 cm) in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution without and with various concentrations of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor at different temperatures. Emery papers with grades ranging from 800 to 1200 were used to clean and polish the metal surface. Next, the mass of the polished metal sample (W_0) was calculated and immersed in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution without and with various concentrations of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor at different temperatures for 76 h [15]. After immersion, the metal coupon was removed from the solution and then washed with distilled water, ethanol and acetone. Finally, the washed metal sample was dried at room temperature, and its mass (W_{inh}) was calculated again. The corrosion rate ($CR_{Grav.atmg/cm^2h}$), degree of surface coverage ($\theta_{Grav.}$) and inhibition performance ($\eta_{Grav.at\%}$) were obtained based on Eqs. (1–3) [5,7], respectively:

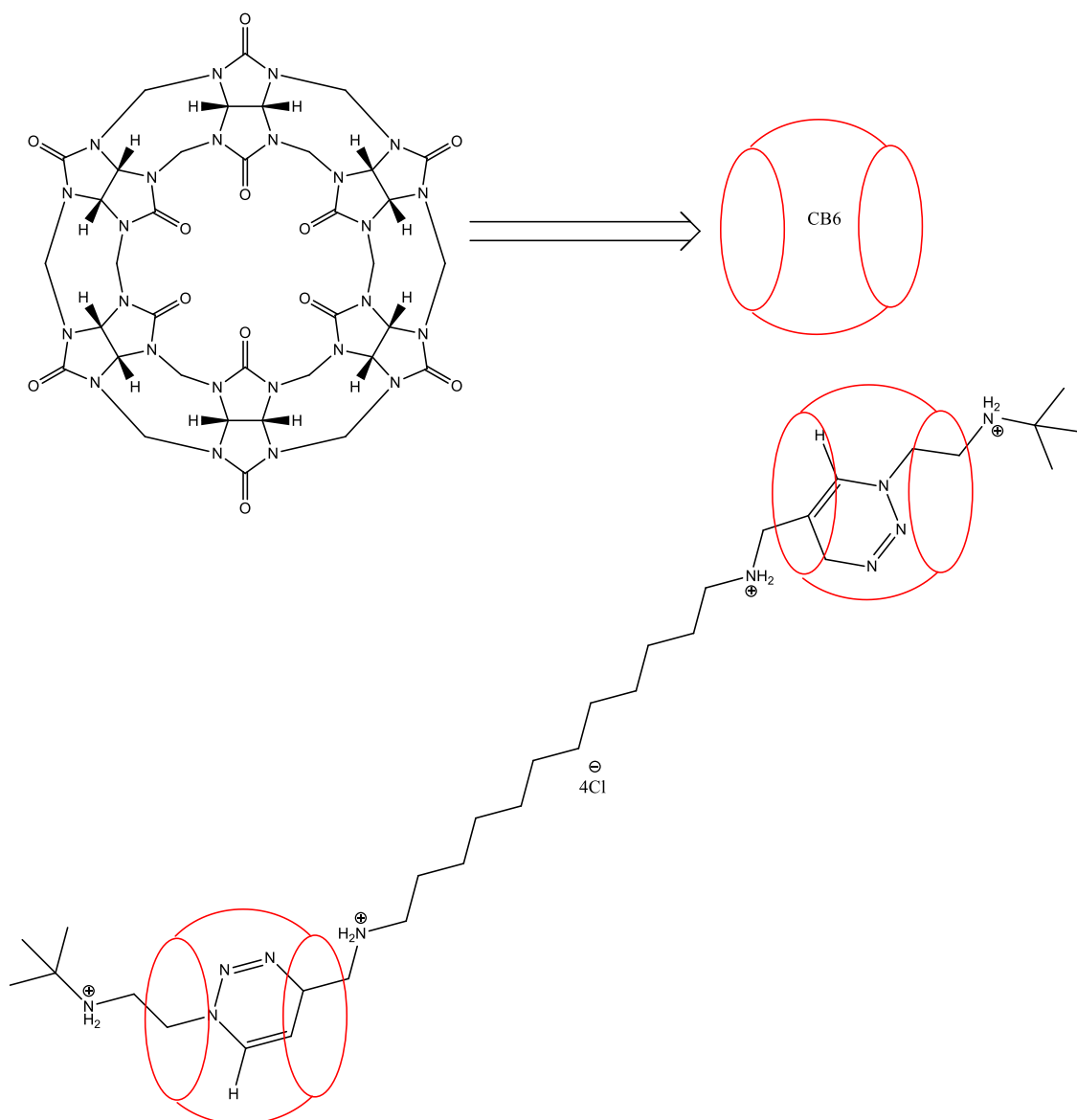


Fig. 1. Molecular structure of CB6-based [3]rotaxane.

$$CR_{Grav.} = \frac{W_{inh} \text{ or } W_0}{At} \quad (1)$$

$$\theta_{Grav.} = 1 - \frac{W_{inh}}{W_0} \quad (2)$$

$$\eta_{Grav.} \% = \left(1 - \frac{W_{inh}}{W_0}\right) \times 100 \quad (3)$$

2.4. Electrochemical analysis

A Gamry PC5 galvanostat/IFC1000-06177 potentiostat (USA) was employed to characterize the electrochemical behavior of the corrosive and inhibited processes; thus, EIS, PDP, CV and EN electrochemical investigations were performed [35,36]. A three-electrode cell assembly, which contained a reference electrode (saturated calomel), counter electrode (platinum) and working electrode (carbon steel), was used in all electrochemical experiments. Gamry Echem Analyst 6.22 software was applied to estimate the electrochemical data. The working electrode was abraded with wet SiC paper (grades 380–800) and polished with emery paper. Then, the polished metal sample was washed three times with distilled water, degreased with acetone, and dried. The next step was to dip and immerse the dried working electrode in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution without and with various concentrations of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor for 76 h. The observed electrode potential became more stable after immersion.

EIS was performed from 100 kHz and 0.01 Hz at an AC voltage amplitude of 10 mV_{rms} at different CB6-based [3]rotaxane concentrations in the selected solution. The inhibition performance ($\eta_{EISat\%}$) was estimated with Eq. (4) [37]:

$$\eta_{EIS, \%} = \frac{R_{ct}^i - R_{ct}^o}{R_{ct}^i} \times 100\% \quad (4)$$

where R_{ct}^i and R_{ct}^o are the charge transfer resistances in the corrosion solutions with and without inhibitor, respectively.

The PDP study was conducted in the potential range from −0.250 to 0.250 V with a 2 s sample period and a 1 mV/s scan rate. The open-circuit potential (OCP) was forecast before the PDP analysis. The inhibition efficiency ($\eta_{PDPat\%}$) was estimated according to Eq. (5):

$$\eta_{PDP, \%} = \frac{i_{PDP}^o - i_{PDP}^i}{i_{PDP}^o} \times 100\% \quad (5)$$

where i_{PDP}^o and i_{PDP}^i are the corrosion current densities in 1 M NaOH + 1 M NaCl without and with inhibitor, respectively [38].

Cyclic voltammetry (CV) investigations were carried out in the potential range of −1.2 to 1.2 V at a scan rate of 1 mV/s.

EN investigations were performed in the ZRA control mode. The inhibition efficiency ($IE_{ENat\%}$) of the inhibitor was derived from Eq. (6):

$$IE_{EN, \%} = \frac{\bar{R}_{rms}^{inh} - \bar{R}_{rms}^o}{\bar{R}_{rms}^{inh}} \times 100 \quad (6)$$

where $\bar{R}_{rms}^o$ and $\bar{R}_{rms}^{inh}$ are the average noise resistances in the corrosive and inhibited 1 M NaOH + 1 M NaCl solutions, respectively [39].

2.5. Surface analysis

SEM and EDX analyses were carried out on a HITACHI TM3000 instrument (Hitachi Company, Tokyo, Japan). SEM can characterize the surface morphology of metal samples after immersion in the corrosive and inhibited solutions [40]. In SEM analysis, the 15 kV accelerating voltage was used to emphasized the surface details. EDX can identify the elemental composition of the metal surface in the uninhibited and inhibited corrosion solutions. Before surface analysis, the metal surface

was dipped and immersed for 74 h. After immersion, the surface of the metal sample was first abraded using SiC emery paper and finally polished to a mirror-like finish [41]. Finally, the metal samples were rinsed with deionized water and air dried before surface analysis. Both surface analyses are very important for the details surface analysis in the inhibition investigation.

2.6. DFT analysis

The inhibition performance of CB6-based [3]rotaxane was theoretically analyzed by density functional theory (DFT) with the B3LYP (three-parameter Lee-Yang-Parr correlation function by Becke) exchange-corrected functional [27,28], 6-311G** basis sets [29] and + D3 Grimme's dispersion corrections [30] in GAMESS-US [31] software (the molecular charge is +2). DFT analysis of CB6-based [3]rotaxane was performed in aqueous phases with the polarizable continuum model employing the integral equation formalism variant (IEFPCM) and a water solvent. The CB6-based [3]rotaxane molecule was optimized before the quantum chemical calculations. Visualization of the optimized structure of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor was performed with ChemCraft [32] and Macmolplt [33] software. The geometric optimization, hyperpolarizability and polarizability results (dipole moment in Debye; electric field in Hartree/e*bohr) were also obtained [30].

2.7. Molecular dynamics simulation

The molecular dynamics (MD) simulation was performed in Materials Studio software employing the Forcite module. MD simulations were carried out in a simulation box ($27.3 \times 27.3 \times 33.1 \text{ \AA}^3$) with periodic boundary conditions, which contained a solvent layer (1000 H₂O + 1 CB6-based [3]rotaxane molecule) and an Fe(110) substrate. The OH[−] and Cl[−] ions were not considered in the MD simulations. This is due to the CB6-based [3]rotaxane molecule rigid chemically linked with the metal surface by the formation chemical bonds. The CB6-based [3]rotaxane molecule is excellent corrosion inhibitor for steel surface. The OH[−] and Cl[−] ions can not influenced the adsorption effectiveness of studied corrosion inhibitor. The adsorption of CB6-based [3]rotaxane on the Fe(110) surface without chloride and hydroxyl ions was theoretically investigated by MD simulation analysis. Additionally, CB6-based [3]rotaxane molecule is supramolecular system, so using above ions in MD simulation is very difficult and time consuming. There are not simulation packed with these ions. The Fe(110) surface was a packed structure and highly stable; the full details of the Fe(110) surface are described in Ref. [35]. The Fe(110) surface was designed as a five-layer slab model with each layer representing an (11 × 11) unit cell. The NVT ensemble and Andersen thermostat with a simulation time of 1000 ps and a time step of 1.0 fs were selected in this simulated system. The simulated temperature was 303 K, and it was controlled by an Andersen thermostat; additionally, a COMPASS II force field was adopted.

3. Results and discussion

3.1. Gravimetric analysis

3.1.1. Effect of the CB6-based [3]rotaxane concentration

The corrosion rate ($CR_{Grav.}$) for carbon steel, inhibition protection ($\eta_{Grav.}$) and degree of surface coverage ($\theta_{Grav.}$) for the CB6-based [3]rotaxane inhibitor in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution are presented in Table 1. It is obvious that an increase in concentration impacts $CR_{Grav.}$, $\eta_{Grav.}$ and $\theta_{Grav.}$. For example, $CR_{Grav.}$ decreases and $\eta_{Grav.}$ and $\theta_{Grav.}$ increase with increasing inhibitor concentration. This is because an increase in the inhibitor concentration is responsible for a large amount of the metal surface being covered with a protective thin film. It was also demonstrated that the $\eta_{Grav.}$ is 97.97% at 100 mg/L/0.032 mM and

Table 1
Gravimetric parameters of CB6-based [3]rotaxane.

C_{inh} , mg/L/mM	Temperature, K	CR_{Grav} , mg/cm ² h	η_{Grav} , %	θ_{Grav}
Blank	303	1.53	–	–
25/0.008		0.246	83.92	0.8392
50/0.016		0.185	87.91	0.8791
75/0.024		0.113	92.61	0.9261
100/0.032		0.031	97.97	0.9797
Blank	313	1.69	–	–
25/0.008		0.304	82.01	0.8201
50/0.016		0.252	85.08	0.8508
75/0.024		0.189	88.82	0.8882
100/0.032		0.118	93.02	0.9302
Blank	323	1.85	–	–
25/0.008		0.369	80.05	0.8005
50/0.016		0.327	82.32	0.8232
75/0.024		0.276	85.08	0.8508
100/0.032		0.215	88.38	0.8838
Blank	333	2.02	–	–
25/0.008		0.477	76.38	0.7638
50/0.016		0.446	77.92	0.7792
75/0.024		0.403	80.05	0.8005
100/0.032		0.351	82.62	0.8262

92.61% at 75 mg/L/0.024 mM for carbon steel at 303 K, confirming that the CB6-based [3]rotaxane inhibitor is an excellent corrosion inhibitor at low concentrations for carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl. The molecular size of CB6-based [3]rotaxane inhibitor is large, the inhibition efficiency depends on the molecular size of inhibitor. Because, the large size of inhibitor cover large part of metal surface at low concentration. The experimental results show that the selected inhibitor is more effective at the low concentrations. This is due to the CB6-based [3]rotaxane inhibitor adsorbed by the parallel adsorption position. As a result, it cover large part of metal surface. The rise of concentration depends on the change adsorption position (parallel to perpendicular). Additionally, the CB6-based [3]rotaxane contained two parts: the supramolecular ionic liquid part and the tail part (Fig. 1). The first part is responsible for adsorption and chemical interactions on the metal surface. The second part is hydrophobic and can effectively insulate the metal surface from a polar electrolyte. Therefore, two supramolecular part promote inhibitor become more efficient at low concentrations. In contrast to the 313–333 K temperature range, η_{Grav} is 93.02% at 313 K and 82.62% at 333 K at 100 mg/L/0.032 mM. Therefore, this supramolecular-based organic molecule is a good corrosion inhibitor at high temperatures. Thus, the CB6-based [3]rotaxane inhibitor effectively forms a protective thin film on the carbon steel surface, and this film effectively insulates the carbon steel coupons from aggressive OH^- and Cl^- ion attacks.

3.1.2. Influence of temperature

The influence of temperature was analyzed in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution with various concentrations of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor. The observed data in Table 1 demonstrate that the corrosion rate increases with increasing temperature. This means that carbon steel has a low corrosion resistance at high temperatures. The inhibition efficiency decreases from 97.97% at 303 K to 82.62% at 333 K. This confirms that the CB6-based [3]rotaxane inhibitor perfectly protects the carbon steel surface from aggressive alkaline solutions with chloride ions from 303 to 333 K. Notably, the corrosion protection is lower at high temperatures because the increase in kinetic energy causes desorption of the inhibitor from the metal surface, which influences its inhibition performance. Solution agitation is increased by the higher rates of H_2 evolution and transfer processes of corrosive ions between the cathode and anode at high temperatures. Furthermore, the electrostatic interaction between the inhibitor and metal surface is destroyed at high temperatures. These factors also influence the decrease in the inhibition performance at high temperatures. The electrostatic interaction between the inhibitor and metal surface depends on the rise of

temperature. The CB6-based [3]rotaxane adsorbed on the metal surface by the chemical and physical adsorption mechanisms. The physical adsorption was carried out by the electrostatic interaction between the inhibitor and metal surface. The positively charged nitrogen atoms of corrosion inhibitor electrostatically interacted with the negatively charged metal surface. The chloride and hydroxyl corrosive ions adsorbed on the metal surface, as a results, the metal surface was negatively charged. The corrosion inhibitor neutralized metal surface by the electrostatically interaction. When the temperature increase, the chloride and hydroxyl corrosive ions are activated, consequently, the strength of electrostatic interaction was reduced slowly.

3.2. Thermodynamics of activation

The Arrhenius equation (Eq. 7) describes the correlation between the temperature and corrosion rate for both the corrosive and inhibited media. This correlation is employed to estimate the values of the thermodynamic parameters.

$$CR_{Grav} = A \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (7)$$

In the above equation, E_a is the activation energy in kJ/mol, R is the universal gas constant (8.314 J/mol $\times$ K), T is the temperature in K, and A is the Arrhenius pre-exponential factor [15,18].

Fig. 2a shows Arrhenius plots of $\log CR_{Grav}$ against $1000/T$ for carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution in the absence and presence of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor at various concentrations. These plots give slopes (slope = $(-E_a/2.303R)$), which are utilized to estimate the activation energy values. The values of R^2 in Fig. 2a confirm that the Arrhenius plots are the best fit for estimating the activation energy values. As observed in Table 2, the E_a is 16.5 kJ/mol for the uninhibited aggressive alkaline solution with chloride ions. On the other hand, the E_a is 41.74 kJ/mol at 25 mg/L/0.008 mM, 43.41 kJ/mol at 50 mg/L/0.016 mM, 50.5 kJ/mol at 75 mg/L/0.024 mM and 57.77 kJ/mol at 100 mg/L/0.032 mM in 1 M NaOH + 1 M NaCl. Thus, the activation energy in the corrosive medium is higher than that in the inhibited medium. This is because the inhibitor forms energetic blocks for the corrosion processes due to chemical adsorption on the metal surface. Additionally, the high activation energy in the inhibited medium confirms that the selected inhibitor simultaneously replaces the pre-adsorbed water molecules on the metal surface, and this action requires additional energy.

The values of the change in enthalpy (ΔH_a) and entropy (ΔS_a) for the blank sample and samples with the CB6-based [3]rotaxane inhibitor at various concentrations in 1 M NaOH + 1 M NaCl were derived by performing transition-state calculations (Eq. 8) and the plots ($\log CR_{Grav}/T$ vs. $1000/T$) in Fig. 2b. These plots give slopes (slope = $-\Delta H_a/2.303R$) and intercepts (intercept = $\left[\log \frac{R}{Nh} + \left(\frac{\Delta S_a}{2.303R}\right)\right]$), which allow the values of ΔH_a and ΔS_a to be estimated for both the blank sample and samples with the inhibitor at different concentrations. The values of the correlation coefficients (R^2) in Fig. 2b are close to 1, which means that these transition-state plots are excellent fits for estimating the thermodynamic parameters.

$$CR_{Grav} = \frac{RT}{Nh} \exp\left(\frac{\Delta S_a}{R}\right) \exp\left(-\frac{\Delta H_a}{RT}\right) \quad (8)$$

In the above equation h is the Planck constant (6.626×10^{-34} m²kg/s) and N is the Avogadro number (6.12×10^{23}) [24,26].

The value of ΔH_a in the blank sample is 19.19 kJ/mol (Table 2). In contrast, the ΔH_a values are 39.04 kJ/mol at 25 mg/L/0.008 mM, 46.12 kJ/mol at 50 mg/L/0.016 mM, 53.2 kJ/mol at 75 mg/L/0.024 mM and 60.47 kJ/mol at 100 mg/L/0.032 mM in the inhibited 1 M NaOH + 1 M NaCl solutions (Table 2). These results confirm that the corrosion and inhibition processes are endothermic, but the

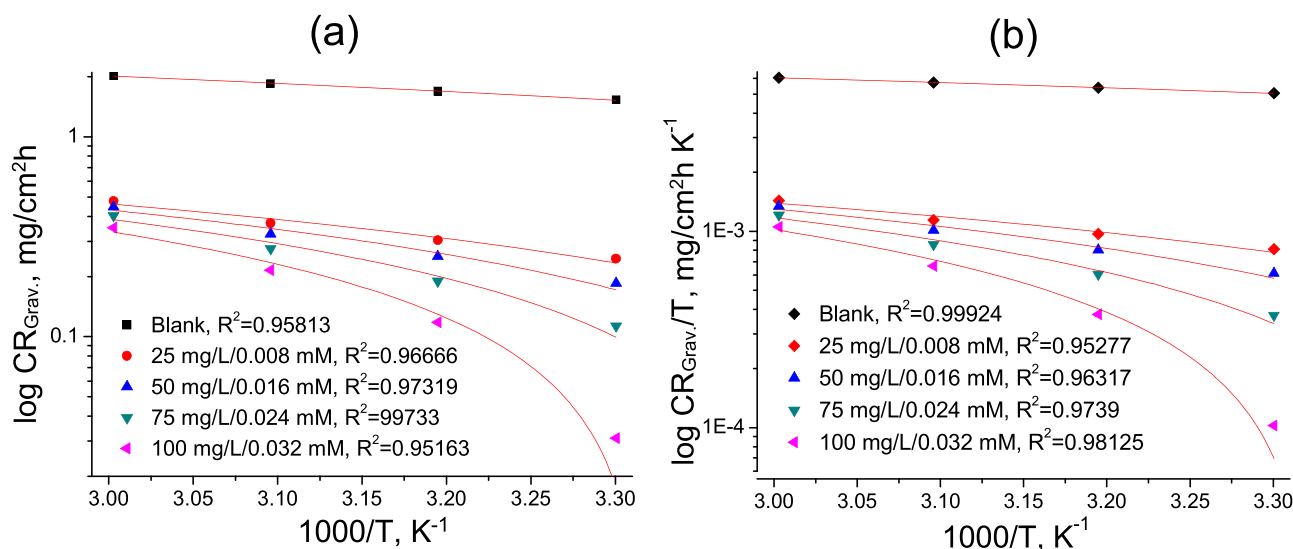


Fig. 2. (a) Arrhenius and (b) transition-state plots of CB6-based [3]rotaxane.

Table 2

Activation parameters of CB6-based [3]rotaxane.

Parameters	Blank	25 mg/L/ 0.008 mM	50 mg/L/ 0.016 mM	75 mg/L/ 0.024 mM	100 mg/L/ 0.032 mM
E_a , kJ/mol	16.5	41.74	43.41	50.5	57.77
ΔH_a , kJ/mol	19.19	39.04	46.12	53.2	60.47
ΔS_a , kJ/mol T	114.41	-53.42	-34.28	-15.34	-3.8
$E_a - \Delta H_a$	2.69	2.7	2.71	2.7	2.7

inhibition process requires more energy than the corrosion process.

On the other hand, the value of ΔS_a is positive (114.41 kJ/mol T) for the blank sample and negative (-53.42 kJ/mol T at 50 mg/L/0.016 mM) for the inhibitor in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution (Table 2). This is due to the disorder taken to move from the reactant to the inhibitor-iron complex. The values of ΔS_a depend on the increase in concentration. The reason is that an increase in the concentration of inhibitor increases the disorder of the system. Thus, the values of ΔS_a confirm that the activated inhibitor-metal complex is more stable, and its association is greater than that of its dissociation.

The average energy difference between the activation energy and enthalpy is approximately 2.7 kJ/mol for the blank sample and samples with inhibitor at various concentrations (Table 2), confirming that during the dissolution of carbon steel, the inhibition process and adsorption rate of CB6-based [3]rotaxane in 1 M alkaline solution with chloride ions are unimolecular in nature according to previous research [7–11].

3.3. Adsorption isotherms and thermodynamics

The adsorption performance of CB6-based [3]rotaxane on the carbon steel surface in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution was elucidated by thermodynamic isotherms. The adsorption of inhibitor depends on several factors: the electrostatic interaction between the inhibitor and metal surface, the nature of the metal surface, the studied temperatures and the structural properties. In the present research, the Langmuir, Frumkin and Temkin isotherms were employed to identify the adsorption behavior of the inhibitor. These isotherms are illustrated in Eqs. (9–11) and are presented in Fig. 3(a–c). The values of the regressive coefficients (R^2) in these isotherms indicate that the Langmuir isotherm shows the most suitable fit for estimating the thermodynamic adsorption

parameters. The R^2 and slope in Fig. 3a approach unity, which identifies good fitting of the observed data. The equilibrium constants of the adsorption-desorption processes (K_{ads}) were estimated from the intercepts of the Langmuir plots.

$$\text{Langmuir: } \frac{C_{inh}}{\theta_{Grav.}} = \frac{1}{K_{ads}} + C_{inh} \quad (9)$$

$$\text{Frumkin: } \frac{\theta_{Grav.}}{1 - \theta_{Grav.}} \exp(-2f\theta_{Grav.}) = K_{ads} C_{inh} \quad (10)$$

$$\text{Temkin: } \exp(f\theta_{Grav.}) = K_{ads} C_{inh} \quad (11)$$

As listed in Table 3, the K_{ads} is 434.78 M⁻¹ at 303 K, 510.2 M⁻¹ at 313 K, 621.12 M⁻¹ at 323 K and 724.64 M⁻¹ at 333 K. These high values of K_{ads} confirm that the CB6-based [3]rotaxane inhibitor has a high adsorption rate on the carbon steel surface in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution.

Next, the obtained K_{ads} values were used to estimate the values of the change in the standard Gibbs energy of adsorption (ΔG_{ads}^0), which is shown in Eq. (12):

$$\Delta G_{ads}^0 = -2.303RT \log(55.55 K_{ads}) \quad (12)$$

where 55.55 is the water concentration in mol/L [35,37].

It is clearly evident in Table 3 that the lower values of ΔG_{ads}^0 confirm that the CB6-based [3]rotaxane inhibitor easily adsorbs on the carbon steel surface and effectively protects the metal surface from aggressive OH⁻ and Cl⁻ ion attacks. According to Refs. [6–9], when $\Delta G_{ads}^0 \leq -20$ kJ/mol, it indicates chemisorption, and when $\Delta G_{ads}^0 \geq -40$ kJ/mol, it indicates physisorption. In the present research work, the values of ΔG_{ads}^0 vary between -20 and -40 kJ/mol, confirming that the adsorption of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor on the carbon steel surface is mixed. This means that the inhibitor adsorbs on the metal surface by both chemisorption and physisorption mechanisms. The heteroatoms in the inhibitor molecule support chemisorption by sharing p-electron pairs with the vacant d-orbitals of iron on the metal surface. The positively charged regions in the inhibitor molecule interact with the negatively charged sites on the metal surface, and this process is named physisorption. Additionally, the negative values of ΔG_{ads}^0 in Table 4 confirm that the adsorption of CB6-based [3]rotaxane on the metal surface occurs spontaneously in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution.

The change in the standard enthalpy (ΔH_{ads}^0) and standard entropy (ΔS_{ads}^0) of adsorption were calculated from the correlation between ΔG_{ads}^0 and temperature (Fig. 3d), which gives the intercept = ΔH_{ads}^0 and

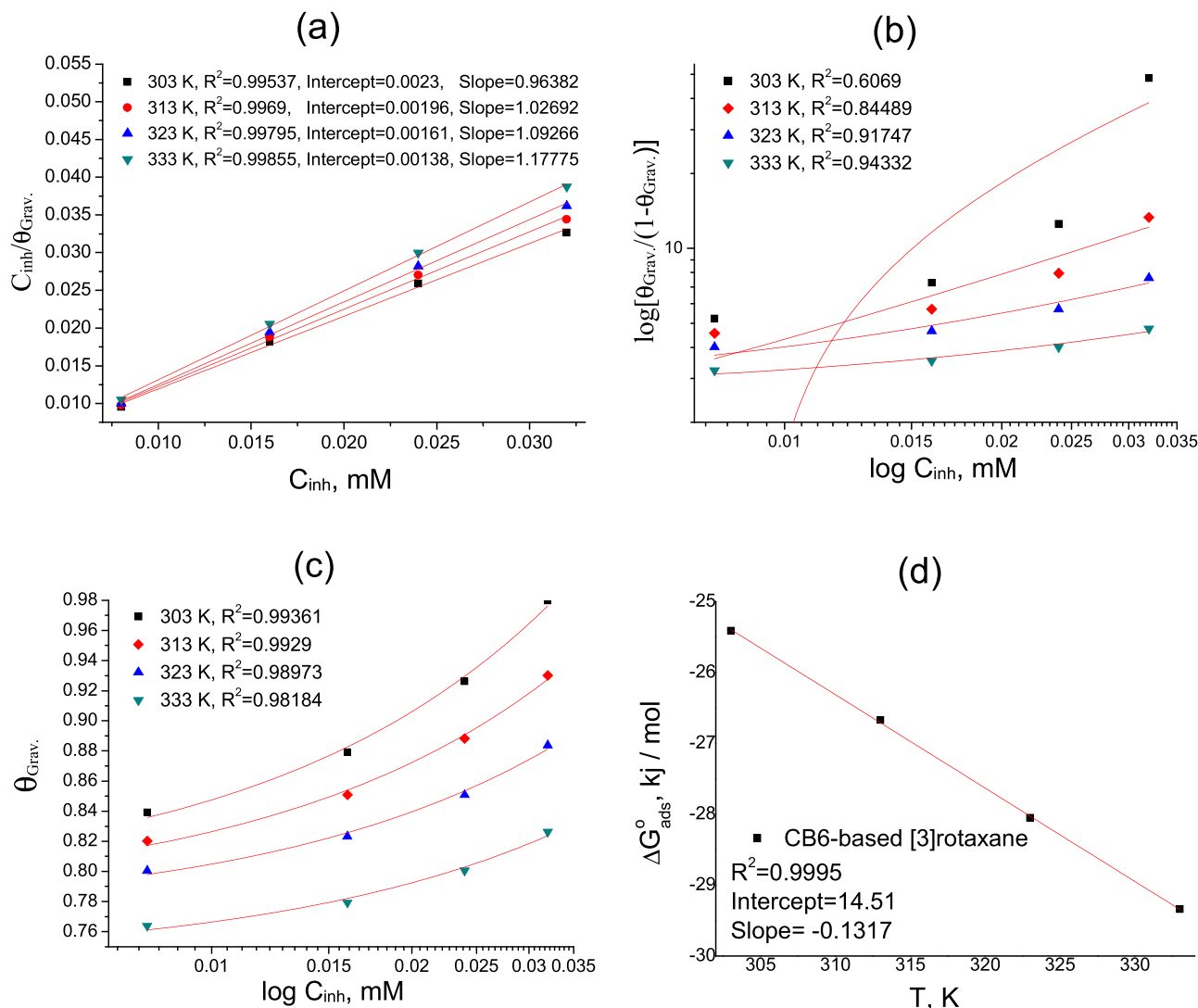


Fig. 3. (a) Langmuir, (b) Frumkin, and (c) Temkin isotherm plots and (d) ΔG_{ads}° versus temperature for CB6-based [3]rotaxane.

Table 3

Thermodynamic adsorption parameters of CB6-based [3]rotaxane.

Temperature, K	K_{ads} , M ⁻¹	ΔG_{ads}° , kJ/mol	ΔH_{ads}° , kJ/mol	ΔS_{ads}° , J/mol K
303	434.78	-25.41	14.51	131.7
313	510.2	-26.67		
323	621.12	-28.05		
333	724.64	-29.34		

Table 4

EN data for carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution in the absence and presence of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor.

C_{inh} , mg/L	$\bar{E}_{rms}$, V	$\bar{I}_{rms}$, A	$\bar{R}_{rms}$, Ω	IE_{EN} , %	q , C
Blank	2.14E-03	1.57E-05	136.3	–	4.786×10^{-2}
25	1.42E-04	1.18E-07	1203.4	88.67	2.314×10^{-5}
50	3.09E-04	1.47E-07	2102	93.51	8.652×10^{-5}
75	5.61E-04	1.78E-07	3151.7	95.67	25.324×10^{-5}
100	9.61E-04	1.88E-07	5111.7	97.33	33.664×10^{-5}

slope = $-\Delta S_{ads}^{\circ}$, as described in Eq. (13) [39].

$$\Delta G_{ads}^{\circ} = \Delta H_{ads}^{\circ} - T\Delta S_{ads}^{\circ} \quad (13)$$

Table 3 clearly shows that the value of ΔH_{ads}° is positive (14.51 kJ/mol), confirming that the adsorption of CB6-based [3]rotaxane on the carbon steel in the 1 M NaOH + 1 M NaCl is exothermic. It also indicates that the value of ΔS_{ads}° is positive (131.7 J/mol K), indicating that the adsorption film is more stable in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. This stable adsorption film is formed by the inhibitor replacing the pre-adsorbed water molecules on the metal surface.

3.4. Cyclic voltammetry (CV) measurements

The inhibition and adsorption behavior of carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution in the absence and presence of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor at various concentrations were researched by CV analysis, which can identify the electrochemical oxidation and reduction characteristics of the metal electrode in the corrosive and inhibited solutions. Fig. 2 shows the cyclic voltammograms of carbon steel in the corrosive and inhibited 1 M NaOH + 1 M NaCl solutions. The obtained cyclic voltammograms confirm that the presence of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor improves the corrosion mitigation kinetics of the metal electrode. A sharp oxidation wave can be observed before -0.3 V in the inhibitor-free solution. It was the reduction peak.

This trend is linked with the high rate of oxidation and destructive corrosion on the metal surface. In comparison, the oxidation wave is increased to lower corrosive current density areas in the cyclic voltammograms in the presence of the inhibitor. The decrease in the oxidation wave depends on the increase in inhibitor concentration. For example, the oxidation wave decreases from 1 mA/cm² to 0.7 mA/cm² at 25 mg/L, to 0.55 mA/cm² at 50 mg/L, to 0.06 mA/cm² at 75 mg/L and to 0.02 mA/cm² at 100 mg/L. These results confirm that the CB6-based [3]rotaxane inhibitor maximally decreases the oxidation and destructive corrosion of carbon steel in aggressive alkaline solutions with chloride ions. On the other hand, the reduction processes on the carbon steel electrode surface occur before 0.3 V in the inhibitor-free solution. In comparison, the presence of an inhibitor decreases the reduction processes (hydrogen gas evolution) on the metal surface (Fig. 4).

3.5. Electrochemical noise (EN) measurements

EN analyses were employed to identify the change in the electrochemical noise of carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl in the absence and presence of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor at various concentrations after immersion. Fig. 5 reveals the correlation between time and electrochemical noise for the blank and inhibitor at four (25, 50, 75 and 100 mg/L) concentrations. Overall, it is clearly noted that the fluctuation in potential and current noise is in more positive potential and current regions (Fig. 5) in the inhibitor-free 1 M NaOH + 1 M NaCl solution than in the inhibitor-containing 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. For instance, the potential and current noise stabilized at approximately 2.14E-03 V and 1.57E-05 A for the blank sample. This is responsible for the OH⁻ and Cl⁻ ions increases the values of potential and current noise on the metal surface; these ions are low-noise-resistant ions. They can corrode the metal surface, and hydrogen gas is observed on the metal surface during the EN experiments. The EN test time was 900 min, and the working electrode was seriously corroded during this period because steel is a metal with low noise resistance. Thus, steel easily corroded from the corrosive attacks.

In contrast, the electrochemical noise fluctuation shifts to more negative regions in Fig. 5 with the addition of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor to the corrosive medium. This means that the presence of the inhibitor notably decreases the corrosion current and potential. The obtained EN confirms that the CB6-based [3]rotaxane inhibitor is an excellent noise-resistant surfactant for steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. The flow in the EN signals between the anode and cathode regions on the metal surface is very high; in contrast, the presence of the

inhibitor significantly decreases the flow in the EN signals. This change in electrochemical noise depends on the increase in concentration. For instance, the potential noise stabilizes at approximately 1.42 × E-04 V at 25 mg/L, 3.09E-04 V at 50 mg/L, 5.61E-04 V at 75 mg/L and 9.61E-04 V at 100 mg/L. It is also estimated that the current noise fluctuates at approximately 1.18E-07 A at 25 mg/L, 1.47E-07 A at 50 mg/L, 1.78E-07 A at 75 mg/L and 1.88E-07 A at 100 mg/L. These obtained data confirm that the CB6-based [3]rotaxane inhibitor is the best corrosion inhibitor for carbon steel in aggressive alkaline solutions containing low concentrations of chloride ions.

In the following part of the EN test, the average value of the electrochemical noise resistance ($\bar{R}_{rms}$) was estimated based on Eq. (14). The average values of potential ($\bar{E}_{rms}$) and current ($\bar{I}_{rms}$) noise were estimated from Fig. 5 with Gamry Echem software [16].

$$\bar{R}_{rms} = \frac{\bar{E}_{rms}}{\bar{I}_{rms}} \quad (14)$$

In EN experiment, the $\bar{R}_{rms}$ is important factor and its value indicate the degree of inhibition efficiency. What stands out from Table 4 is that the $\bar{R}_{rms}$ is 136.3 Ω in the inhibitor-free solution, indicating a high rate of corrosion; the selected metal has a low resistance in the corrosive solution, and the aggressive hydroxyl and chloride ions can easily corrode the metal surface. In contrast, after the addition of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor to the corrosive solution containing 1 M NaOH + 1 M NaCl, the electrochemical resistance increases dramatically. This result shows that the CB6-based [3]rotaxane inhibitor is an excellent electrochemical noise agent for carbon steel in the aggressive alkaline solution with chloride ions. The noise resistance performance depends on the increase in inhibitor concentration. For instance, the values of electrochemical noise resistance are 1203.4 Ω at 25 mg/L, 2102 at 50 mg/L, 3151.7 Ω at 75 mg/L and 5111.7 Ω at 100 mg/L (Table 4). EN analysis confirms that the degree of inhibition efficiency (IE_{EN}) is 88.67% at 25 mg/L, 93.51% at 50 mg/L, 95.67% at 75 mg/L and 97.33% at 100 mg/L (Table 4). Therefore, the EN tests suggest that the protection efficiency of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor for steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution is excellent at low concentrations.

Table 4 lists the estimated values of the total charge value (q) for the blank sample and samples with the CB6-based [3]rotaxane inhibitor at various concentrations in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. The total charge value is equal to the amount of charge transferred from the anode to the cathode on the metal surface. Notably, the observed data shows that the value of q is high in the corrosive medium, indicating that a considerable amount of charge is transferred from the anode to the cathode on the metal surface; as a result, the metal surface is rapidly corroded. In contrast, the value of q is very low in the inhibited medium, confirming that the inhibitor notably blocks the charge transfer process on the metal surface; as a consequence, the destructive corrosion of the metal surface significantly decreases.

3.6. Open-circuit potential (OCP) measurements

Fig. 6a demonstrates the relationship between E_{OCP} and time in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution with the absence and presence of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor at various concentrations. the E_{OCP} slowly decreases in the corrosive medium, confirming that the salt deposition layer on the metal surface is unstable and is a good sorbent for the corrosive ions in the corresponding medium. As a result, the adsorbed corrosive ions in the salt layer on the metal surface are responsible for the high rate of metal dissolution. In contrast, the E_{OCP} remains steady in the inhibited medium, confirming that the inhibitor forms a protective film on the metal surface that is more stable and not soluble in the aggressive alkaline solution with chloride ions. The protective performance of the inhibitor increases with increasing concentration.

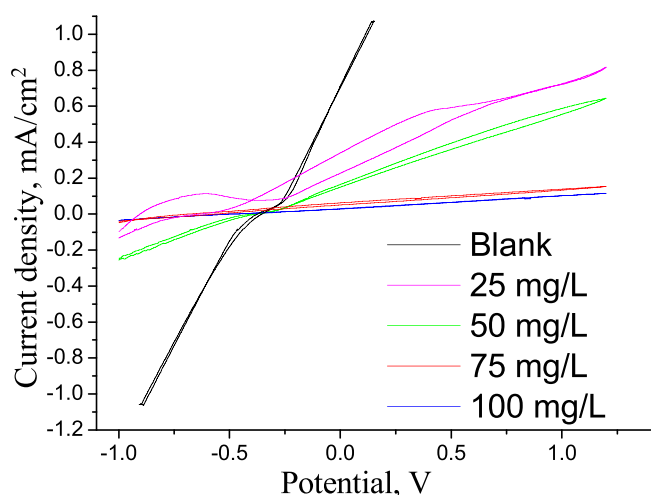


Fig. 4. Cyclic voltammograms of carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution with various concentrations of CB6-based [3]rotaxane.

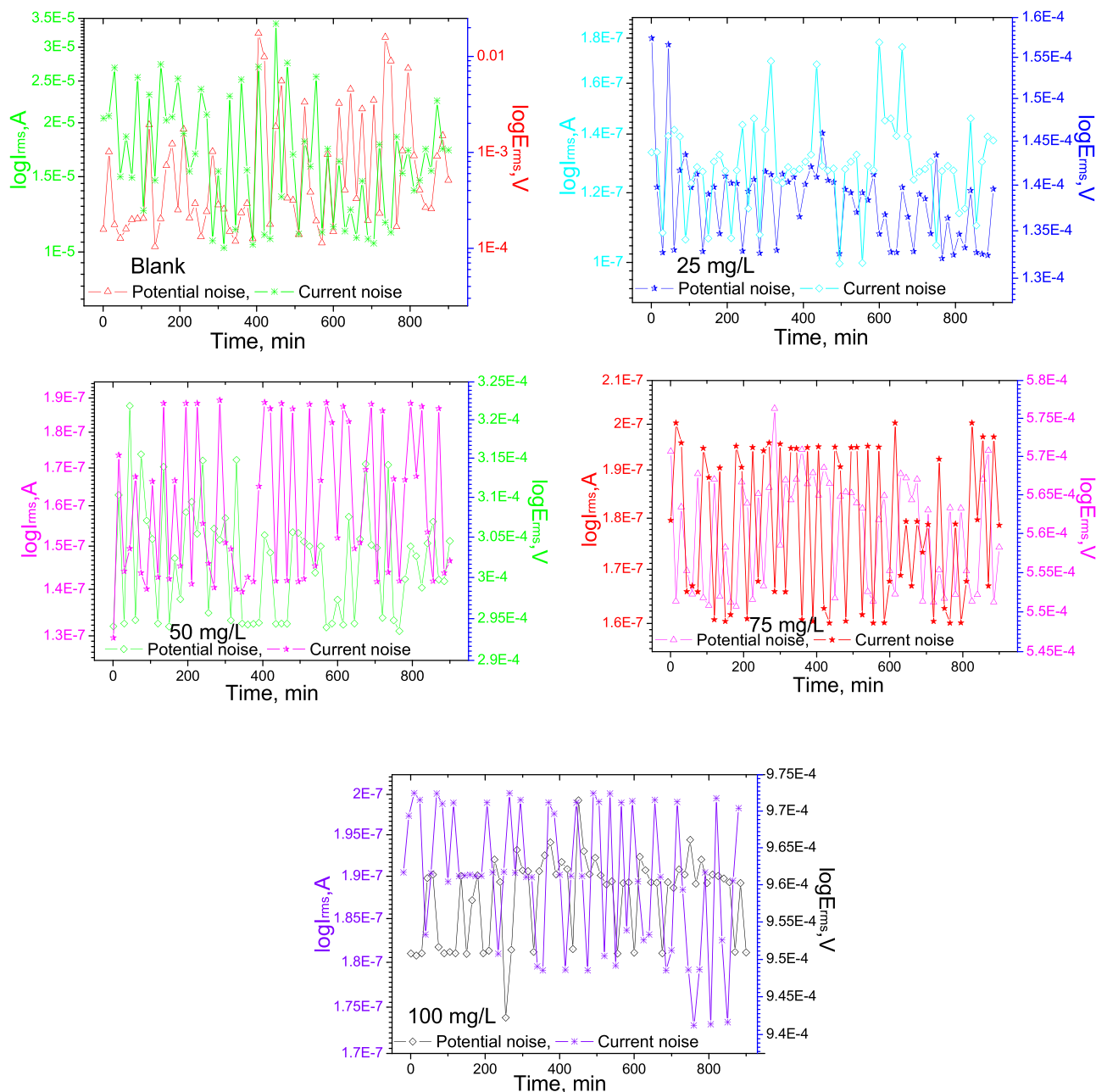


Fig. 5. EN of carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution in the absence and presence of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor.

3.7. Potentiodynamic polarization (PDP) measurements

The cathodic and anodic PDP curves of carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl without and with the CB6-based [3]rotaxane inhibitor at different concentrations are represented in Fig. 6b. The different PDP parameters, including the corrosion potential (E_{corr}), corrosion current density (i_{corr}), Tafel anodic (β_a) and cathodic (β_c) slopes, and inhibition efficiency (η_{PDP}), were estimated from the PDP curves (Fig. 6b) using Echem analyst software; the obtained data are listed in Table 5. As shown in Fig. 6b, the cathodic and anodic PDP curves shift to lower corrosion current density regions in the presence of the inhibitor. This change depends on the increase in inhibitor concentration. For example, a higher inhibitor concentration is responsible for a lower corrosion current density. These facts confirm that the inhibitor demonstrates a remarkable anticorrosion effect on the metal surface in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution for the cathodic and anodic electrochemical reactions. An increase in inhibitor concentration increases the

anticorrosion performance of the inhibitor.

Table 5 clearly shows that the i_{corr} is lower in the inhibited medium than in the corrosive medium. The value of i_{corr} decreases slowly with increasing concentration. These results suggest that the CB6-based [3] rotaxane inhibitor effectively adsorbs on the metal surface through its electron-rich centers; consequently, the number of more active corrosion regions decreases. The obtained data in Table 5 also indicate that the E_{corr} is not seriously changed in the presence of the inhibitor; the potential difference between the inhibitor-free and inhibitor-containing solutions is lower than 80 mV. These results suggest that the CB6-based [3]rotaxane inhibitor is mixed-type inhibitor. Next, from the observed data, the Tafel β_a and β_c slopes are significantly changed because the inhibitor notably influences both anodic and cathodic corrosion. The CB6-based [3]rotaxane inhibitor can decrease the electron density of both the anodic and cathodic sites on the metal surface due to being a mixed-type inhibitor. The maximum protection due to the selected inhibitor is 96.53% at 100 mg/L; this value is confirmed by gravimetric

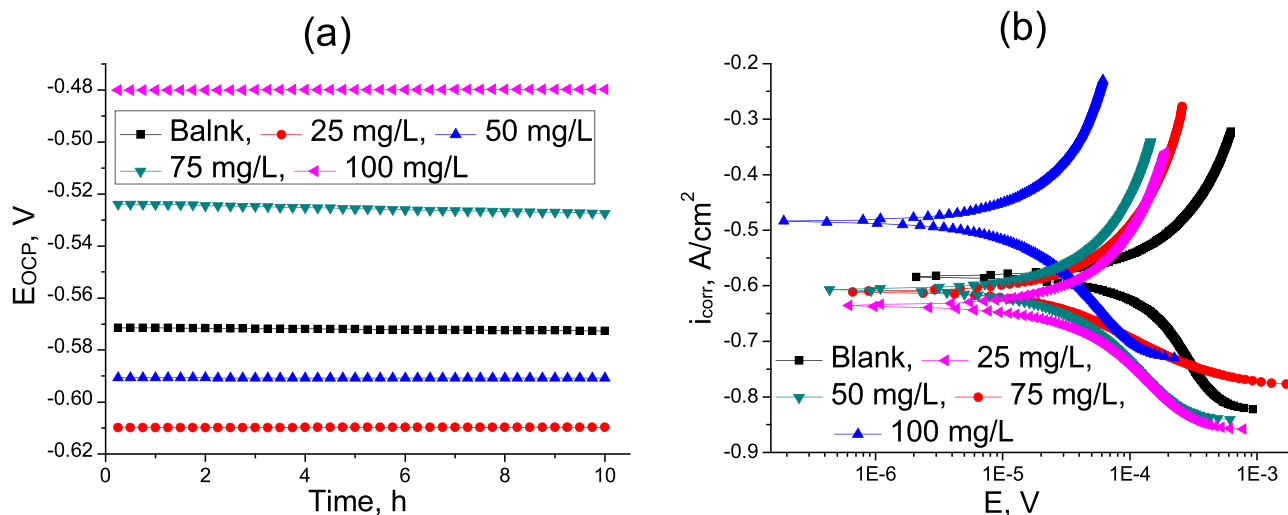


Fig. 6. (a) OCP and (b) PDP curves for the blank sample and samples with the CB6-based [3]rotaxane inhibitor at various concentrations in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution.

Table 5

PDP properties of the blank sample and samples with the CB6-based [3]rotaxane inhibitor at various concentrations in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution.

Parameters	C_{inh} , mg/L				
	Blank	25	50	75	100
i_{corr} , mA/cm ²	248.65	25.13	17.65	12.54	4.52
E_{corr} , mV	-593	-611	-651	-634	-512
β_a , mV/decade	454	741	385	654	716
$-\beta_c$, mV/decade	718	512	175	278	376
η_{PDP} , %	–	89.83	92.9	94.96	98.18

analysis. It is also confirmed that the CB6-based [3]rotaxane inhibitor was mixed-type inhibitor at 100 mg/L. This is due to the rise of concentration changed the adsorption orientation. Then, the inhibitor type was changed.

3.8. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) measurements

EIS analysis provides important electrochemical details about the

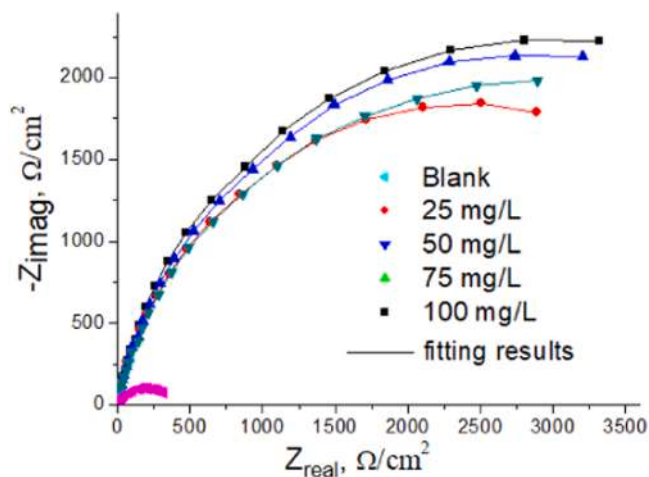


Fig. 7. Nyquist plots for carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution without and with the CB6-based [3]rotaxane inhibitor at various concentrations.

surface properties and kinetics of the electrode. Fig. 7 shows the Nyquist plots for carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution without and with the CB6-based [3]rotaxane inhibitor at various concentrations. As observed, all the impedance spectra are single-depressed capacitance loops and have similar shapes with centers below the real X-axis. These results demonstrate that the corrosion processes are controlled without a change in the corrosion mechanism and that metal dissolution is decreased by the decreased charge transfer. The results also indicate that the size of the Nyquist semi-circles increase with increasing inhibitor concentration, confirming that the charge transfer resistance increases with increasing inhibitor concentration. The depressed Nyquist plots indicate the frequency dispersion because of the surface roughness and inhomogeneity of the electrode surface. Furthermore, the impedance plots are displayed at low frequency in the corrosive medium and at high frequency in the inhibited medium, confirming that the mass transfer between the cathode and anode are notably blocked [39].

Fig. 8a and b shows the Bode and phase angle plots for carbon steel in the inhibitor-free and inhibitor-containing 1 M NaOH + 1 M NaCl solutions. Fig. 8a shows that the Bode plots have only one time constant with a single maximum at the intermediate frequency, indicating that only relaxation processes occur in the charge transfer processes. The size of the Bode plots expand with increasing concentration. This result occurs because the adsorption capacitance of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor increases with increasing inhibitor concentration. The Bode plots are not equal to -1 because of the frequency dispersion of interfacial impedance. Fig. 8b shows that the values of the phase angle are higher in the inhibited medium than in the corrosive medium. The values of the phase angle increase with increasing concentration. These findings suggest that the maximum phase angle is -79° at 100 mg/L; as a result, the surface of the electrode becomes smoother in the presence of the inhibitor, which is due to the good adsorption capacitance of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor on the metal surface.

The EIS parameters were measured by the equivalent circuit model in the absence of inhibitor (Fig. 9a) and presence of inhibitor (Fig. 9b). The equivalent circuit contains the charge transfer resistance (R_{ct}), solution resistance (R_s), resistance of micropores in the surface film (R_{pore}), polarization resistance ($R_p = R_{ct} + R_{pore}$) and constant phase element (CPE), which can describe surface inhomogeneity. The CPE increases because of the surface roughness, distribution of active sites, fractality of grain boundaries, impurities and dislocations. There are two types of CPEs: CPE1 and CPE2. The capacitance of the film formed on the metal surface is described with CPE1, and the double layer capacitance at the interface between the metal surface and solution electrolyte in the film

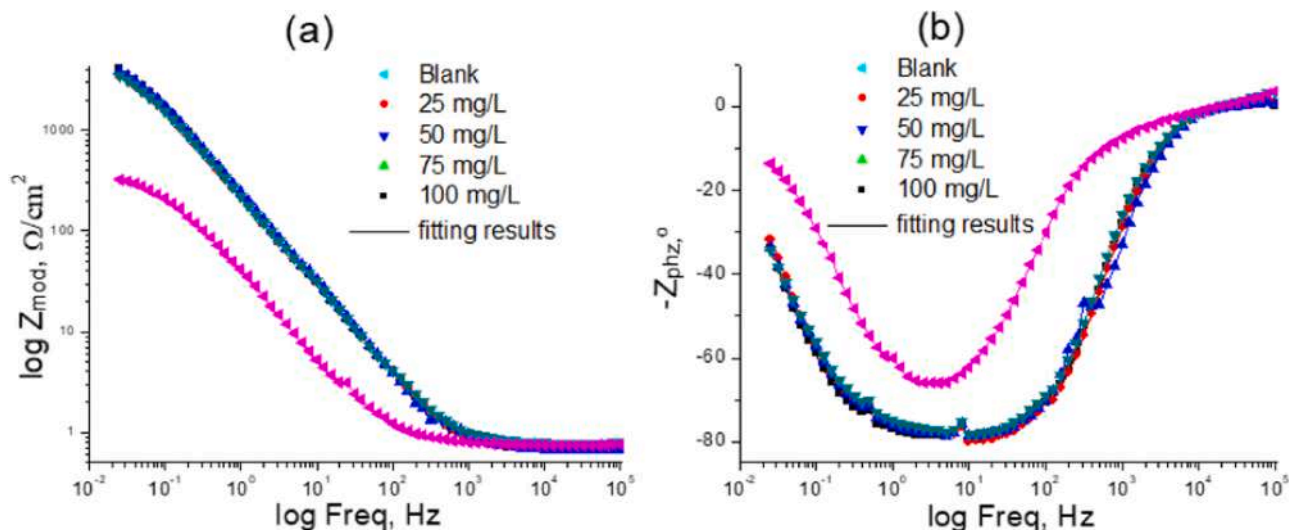


Fig. 8. (a) Bode and (b) phase angle plots for carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution in the absence and presence of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor at various concentrations.

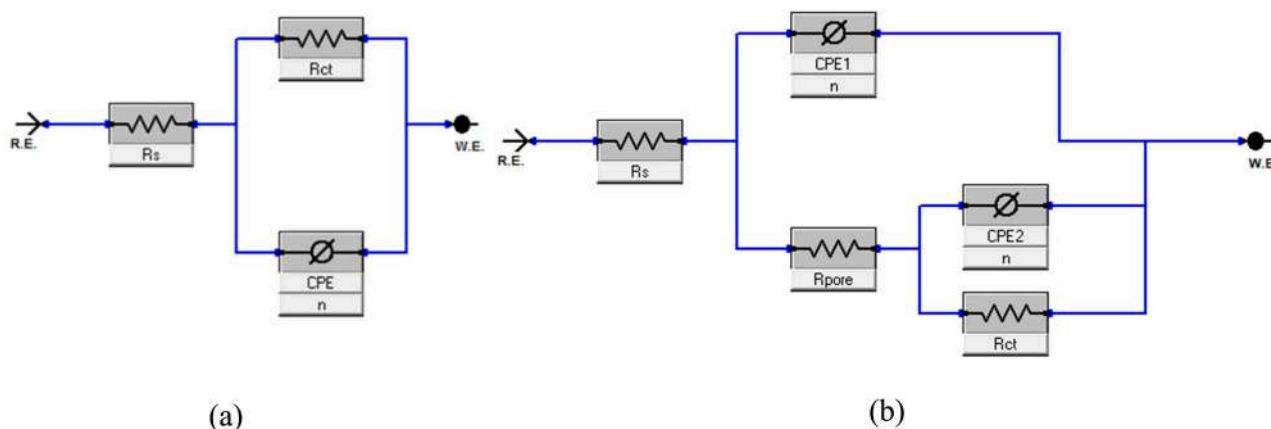


Fig. 9. Equivalent circuit model in the (a) inhibitor-free solution and (b) inhibitor-containing solution.

pores is indicated with CPE2. The impedance of the CPE (Z_{CPE}) is obtained with Eq. (15):

$$Z_{CPE} = Y_0^{-1} (i\omega)^{-n} \quad (15)$$

where i signifies the imaginary number and is equal to the square root of -1 ($i^2 = -1$ is regarded as the imaginary axis); n is the phase shift, which is equal to 1, 0, -1 and $1/2$ and indicate the pure capacitive, resistance, and inductive and Warburg impedances, respectively; $\omega = 2\pi f$ (ω is the angular frequency in Rads^{-1} and f is the AC frequency); and Y_0 is the constant of the CPE.

The maximum frequency is used to estimate the values of the double-layer capacitance (C_{dl}) with Eq. (16) [38]:

$$C_{dl} = (\omega_{max})^{1/n} \quad (16)$$

where ω_{max} indicates the frequency at which the imaginary part of the impedance is maximized (Rads^{-1}).

The values of χ^2 (chi-square) were obtained to identify the quality of the EIS fitting results as shown in Eq. (17). The estimated amounts of the χ^2 data are listed in Table 6.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(Z'_i(\omega_i, \vec{P}) - a_i)^2}{a_i^2 + b_i^2} + \frac{(Z''_i(\omega_i, \vec{P}) - b_i)^2}{a_i^2 + b_i^2} \right] \quad (17)$$

where a_i, b_i, ω_i are the experimental data points, $\vec{P}$ is a factor linked with the proposed model, and Z'_i and Z''_i are the measured data points. Thus, the values of χ^2 can identify the degree of accuracy of the EIS data [41].

From Table 6, it is clearly noted that the values of R_s, R_{pore} and R_{ct} are higher in the inhibitor-containing solution than in the inhibitor-free solution. These results indicate that the solution conductivity decreases and the resistance to charge transfer increases in the presence of the inhibitor; as a result, the active sites are effectively blocked, and metal dissolution decreases. As indicated, the values of C_{dl} increase with the presence of inhibitor, showing that the dielectric constant (ϵ) decreases and the thickness of the double layer (d) increases by the presence of inhibitor according to Eq. (18). This is because organic compounds have a minimal dielectric effect compared to inorganic compounds.

$$C_{dl} = \frac{\epsilon \epsilon^0}{d} A \quad (18)$$

In the above equation, ϵ^0 is the dielectric constant in vacuum and A is the diameter of the surface area.

From Table 6, the value of Y_0 decreases with the addition of inhibitor, confirming that the inhibitor molecule easily substitutes the pre-adsorbed water molecules on the metal surface. The resulting n values

Table 6
EIS parameters for carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution without and with different concentrations of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor.

C_{inh} , mg/L	$R_s, \Omega/cm^2$	CPE_1		n	$R_{pore}, \Omega/cm^2$	CPE_2		n	$R_{ct}, \Omega/cm^2$	$C_{dl}, \mu F/cm^2$	η_{BS} , %	χ^2
		$Y_{01}, S^{-n}/cm^2$				$Y_{02}, S^{-n}/cm^2$						
Blank	$0.471 \pm 3.75 \times 10^{-3}$	$5.32 \times 10^{-3} \pm 35.13 \times 10^{-6}$	$0.862 \pm 2.15 \times 10^{-3}$	–	–	–	–	–	275.31 ± 3.41	1497.42	–	1.12×10^{-3}
25	$0.694 \pm 4.25 \times 10^{-3}$	$0.861 \times 10^{-3} \pm 5.92 \times 10^{-6}$	$0.891 \pm 1.46 \times 10^{-3}$	$0.854 \times 10^{-3} \pm 6.34 \times 10^{-6}$	532.61 ± 9.61	$0.887 \pm 1.14 \times 10^{-3}$	$0.887 \pm 1.14 \times 10^{-3}$	$0.887 \pm 1.14 \times 10^{-3}$	2185 ± 3.41	318.16	87.4	1.82×10^{-3}
50	$0.789 \pm 4.79 \times 10^{-3}$	$0.856 \times 10^{-3} \pm 5.92 \times 10^{-6}$	$0.886 \pm 1.48 \times 10^{-3}$	$0.841 \times 10^{-3} \pm 5.87 \times 10^{-6}$	889.31 ± 11.21	$0.894 \pm 1.31 \times 10^{-3}$	$0.894 \pm 1.31 \times 10^{-3}$	$0.894 \pm 1.31 \times 10^{-3}$	4331 ± 82.32	201.51	93.64	1.85×10^{-3}
75	$0.885 \pm 4.79 \times 10^{-3}$	$0.782 \times 10^{-3} \pm 5.39 \times 10^{-6}$	$0.903 \pm 1.44 \times 10^{-3}$	$0.781 \times 10^{-3} \pm 4.65 \times 10^{-6}$	1345.21 ± 26.51	$0.904 \pm 1.09 \times 10^{-3}$	$0.904 \pm 1.09 \times 10^{-3}$	$0.904 \pm 1.09 \times 10^{-3}$	7672 ± 85.47	117.64	96.41	4.37×10^{-3}
100	$0.891 \pm 4.12 \times 10^{-3}$	$0.681 \times 10^{-3} \pm 5.56 \times 10^{-6}$	$0.889 \pm 1.45 \times 10^{-3}$	$0.675 \times 10^{-3} \pm 4.51 \times 10^{-6}$	2143.61 ± 30.15	$0.907 \pm 1.32 \times 10^{-3}$	$0.907 \pm 1.32 \times 10^{-3}$	$0.907 \pm 1.32 \times 10^{-3}$	13015 ± 100.7	83.61	97.88	2.15×10^{-3}

indicate that the studied metal surface has a non-ideal capacitive nature because of the surface micro-district and the unevenness of the electrode. Furthermore, the observed data show that the values of χ^2 are very low ($< 1 \times 10^{-3}$) in all cases, signifying the high validity of the perfect equivalent circuit model. Therefore, the maximum degree of protection of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor is 97.88% at 100 mg/L for carbon steel in the aggressive alkaline solution with chloride ions.

3.9. Surface morphology measurements

Surface morphological research on carbon steel coupons was carried out after 76 h of immersion in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution without and with 100 mg/L CB6-based [3]rotaxane inhibitor. Fig. 10a presents SEM micrographs of the corroded metal coupon. These results indicate that there are many regions of destructive corrosion on the metal surface. Corrosion deposits and salts cover the metal surface in the corresponding environment because this corrosive environment is very aggressive and easily corrodes carbon steel. In comparison, the surface of the metal is improved in the presence of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution (Fig. 10b) because the metal surface was protected by the adsorption of the inhibitor.

EDX analysis was performed to identify the surface morphology of carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution without and with 100 mg/L CB6-based [3]rotaxane inhibitor. The EDX analysis shows the elemental compositions of the metal surface. Fig. 10c shows that the Fe spectra are lower because the metal surface is corroded and the Fe values decrease. The next pattern in Fig. 10c is that O signals appear because hydroxyl ions link with the metal surface to form metal oxides or hydroxides on the metal surface. The spectra of the Cl atoms also appear in Fig. 10c because chloride ions adsorb on the metal surface and are responsible for metal corrosion. In contrast, the presence of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor changes the elementary composition of the carbon steel surface, as shown in Fig. 10d. For example, the spectra of the Fe and Cl atoms increase and decrease, respectively, and N and C signals appear. This is because the CB6-based [3]rotaxane inhibitor is notably adsorbed on the metal surface to form a protective film. Metal oxidation decreases in the presence of this protective film; as a result, the spectra of Fe, Cl and O decrease, and N and C signals are observed. Therefore, the SEM-EDX results confirm that the CB6-based [3]rotaxane inhibitor forms an excellent protective film on the metal surface in the aggressive alkaline solution with chloride ions. Thus, this film is a good insulator for metals from corrosive attacks.

3.10. Theoretical calculations

3.10.1. Optimized structure of CB6-based [3]rotaxane

CB6-based [3]rotaxane was optimized by the DFT method, and the resulting optimized structure of CB6-based [3]rotaxane is represented in Fig. 11. The gray, gray-white, blue and balls represent carbon, hydrogen and nitrogen, respectively. The arrow shows the molecular dipole moment. CB6-based [3]rotaxane had a large planar structure. The reason for this is that the $-N_2^+$ groups make the CB6-based [3]rotaxane more polar. Additionally, the cucurbit[6]uril rings increase the polarity. Polar molecules are very water soluble in polar aqueous media. This polar structure also influenced the increase in the length and angles of the chemical bonds. Therefore, the optimized structure of CB6-based [3]rotaxane suggests that the selected supramolecular system is a more effective corrosion inhibitor.

3.10.2. Frontier molecular orbital analysis

The electron distribution in the LUMO and HOMO of CB6-based [3]rotaxane was described by frontier molecular orbital analysis (Fig. 12). At first sign, it can be clearly seen that the HOMO is observed around the hetero-rings and the $-N_2^+$ groups, showing that these regions are mainly responsible for the chemical adsorption centers of the selected

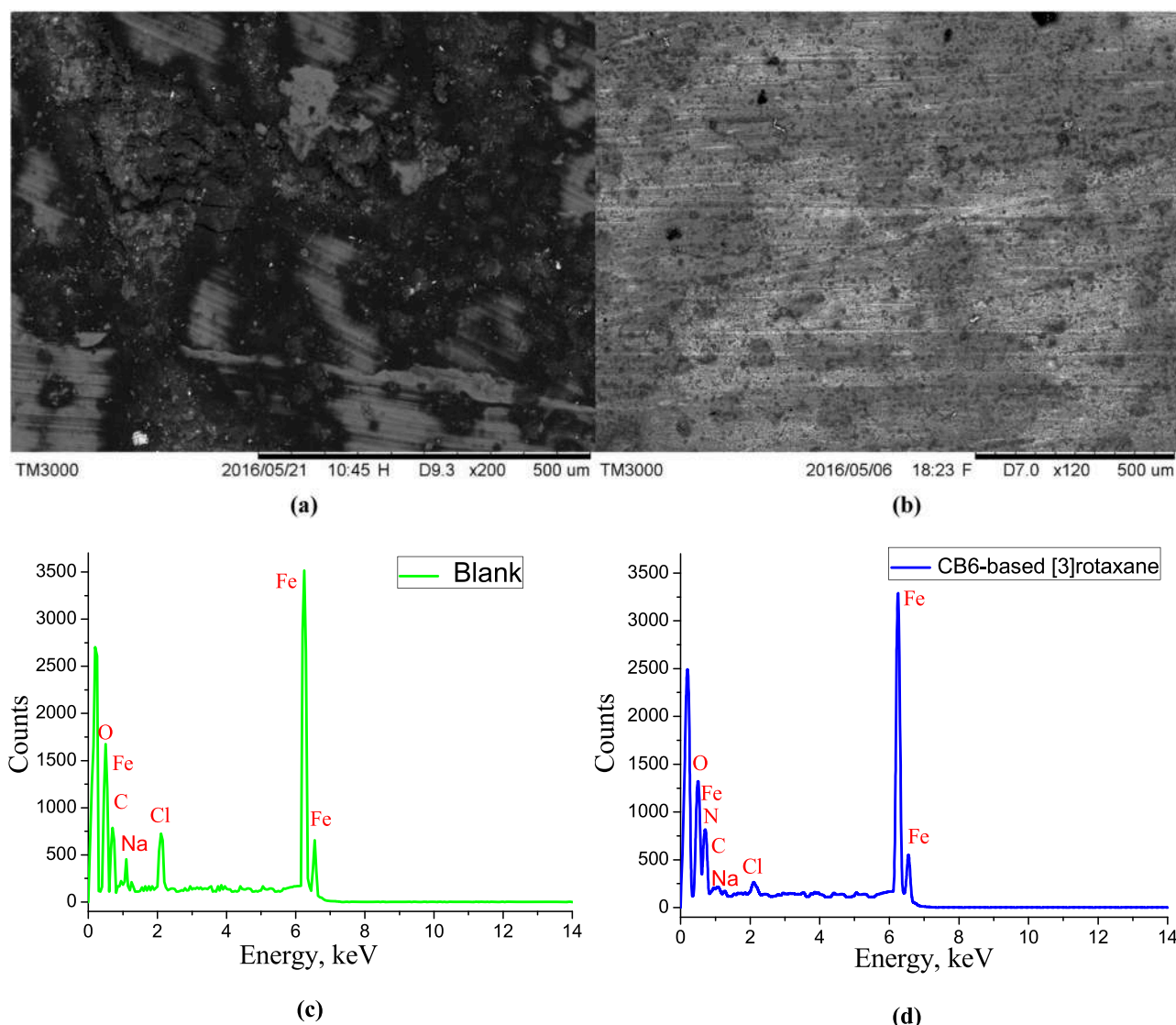


Fig. 10. SEM micrographs of the carbon steel coupon after a 76 h immersion period: (a) 1 M NaOH + 1 M NaCl, (b) CB6-based [3]rotaxane, EDX spectra for (c) 1 M NaOH + 1 M NaCl and (d) CB6-based [3]rotaxane.

inhibitors. This is because the HOMO regions have more electrons, which are shared with the metal surface to form chemical bonds between the inhibitor and metal surface. In addition, CB6-based [3]rotaxane is protonated through the HOMO regions. The results of electrochemical experiments suggest that CB6-based [3]rotaxane can adsorb on a metal surface by physical and chemical adsorption mechanisms. It is also noted from the results of the frontier molecular orbital analysis of CB6-based [3]rotaxane that the HOMO regions are responsible for being the physical and chemical adsorption centers. In comparison, the LUMO regions are observed around the alkaline chain. The LUMO positions are responsible for the electroacceptor performance of the inhibitor. Some d-electrons are re-transferred from the iron d-orbitals to the LUMO regions; this action also supports the adsorption of CB6-based [3]rotaxane on the metal surface.

3.10.3. Molecular electrostatic potential analysis

The most favorable electrophilic and nucleophilic centers in the optimized CB6-based [3]rotaxane were found by molecular electrostatic potential (MEP) analysis. The resulting MEP of CB6-based [3]rotaxane is shown in Fig. 13. The nucleophilic and electrophilic reactivity regions in the obtained MEP of CB6-based [3]rotaxane are described in red and light red, respectively. From the obtained results, it is clear that the

selected inhibitor is a more nucleophilic molecule. The inhibition performance is enhanced with the presence of more nucleophilic centers and are mainly responsible for the better electrostatic interactions.

3.10.4. Reactivity indicators of CB6-based [3]rotaxane

The energy difference between the HOMO ($E_{HOMO}^{DFT}(\text{Inh})$) and LUMO ($E_{LUMO}^{DFT}(\text{Inh})$) of the optimized CB6-based [3]rotaxane structure was determined to estimate the values of the reactivity indicators, such as the electrodonating power ($\omega(+)^{DFT}_{\text{Inh}}$), electroaccepting power ($\omega(-)^{DFT}_{\text{Inh}}$), α – polarizability ($\alpha_{\text{Inh}}^{DFT}$), electronic chemical potential (μ_{Inh}^{DFT}), electron affinity (A_{Inh}^{DFT}), chemical hardness (η_{Inh}^{DFT}), chemical softness ($\sigma_{\text{Inh}}^{DFT}$), molecular ionization potential (I_{Inh}^{DFT}), electrophilicity index ($\omega_{\text{Inh}}^{DFT}$), nucleophilicity ($\epsilon_{\text{Inh}}^{DFT}$), electronic negativity (χ_{Inh}^{DFT}), β – polarizability (β_{Inh}^{DFT}), γ – polarizability ($\gamma_{\text{Inh}}^{DFT}$), fraction of electrons transferred from the inhibitor molecule to the metal surface ($\Delta N_{\text{Inh}}^{DFT}$) (related to Koopmans's theory) and metal-inhibitor interaction energy ($\Delta\psi_{\text{Inh}}^{DFT}$) using Eqs. (19–33) [4–6,8,11]. The computed values of the above reactive indicators are shown in Table 7.

$$\Delta E_{\text{Inh}}^{DFT} = E_{LUMO}^{DFT}(\text{Inh}) - E_{HOMO}^{DFT}(\text{Inh}) \quad (19)$$

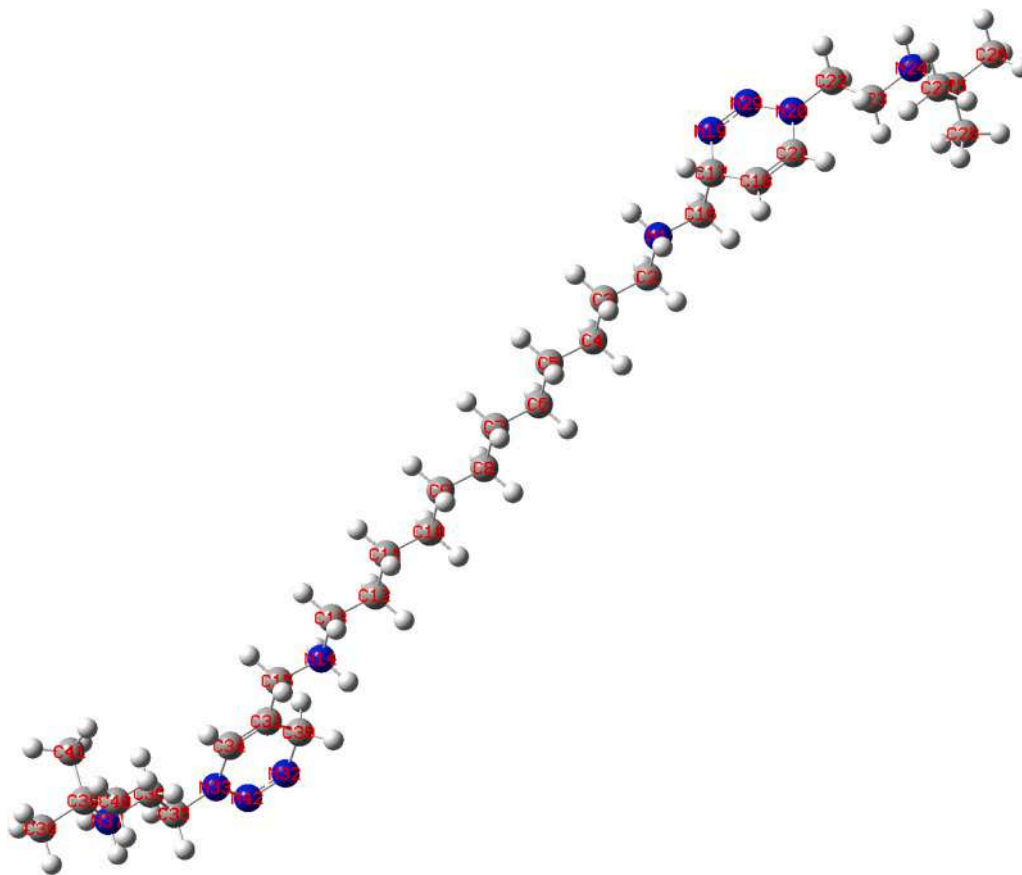


Fig. 11. Atomistic model of the CB6-based [3]rotaxane structure. The gray, gray-white, blue and balls represent carbon, hydrogen and nitrogen, respectively. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

$$I_{Inh}^{DFT} = -E_{HOMO(Inh)}^{DFT} \quad (20)$$

$$A_{Inh}^{DFT} = -E_{LUMO(Inh)}^{DFT} \quad (21)$$

$$\omega(+)^{DFT}_{Inh} = (I_{Inh}^{DFT} \times 3A_{Inh}^{DFT})^2 + (16(I_{Inh}^{DFT} - A_{Inh}^{DFT})) \quad (22)$$

$$\omega(-)^{DFT}_{Inh} = (3I_{Inh}^{DFT} \times 3A_{Inh}^{DFT})^2 + (16(I_{Inh}^{DFT} - A_{Inh}^{DFT})) \quad (23)$$

$$<a_{Inh}^{DFT}> = 1/3[a_{xx} + a_{yy} + a_{zz}] \quad (24)$$

$$<\beta_{Inh}^{DFT}> = 1/3[\beta_{xxx} + \beta_{yyy} + \beta_{zzz}] \quad (25)$$

$$<\gamma_{Inh}^{DFT}> = 1/3[\gamma_{xxx} + \gamma_{yyy} + \gamma_{zzz}] \quad (26)$$

$$\omega_{Inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Inh}^{DFT})^2}{2\eta_{Inh}^{DFT}} \quad (27)$$

$$\sigma_{Inh}^{DFT} = \frac{1}{\eta} \quad (28)$$

$$\chi_{Inh}^{DFT} = -\mu_{Inh}^{DFT} = \frac{1}{2}(I_{Inh}^{DFT} + A_{Inh}^{DFT}) \quad (29)$$

$$\epsilon_{Inh}^{DFT} = \frac{1}{\omega_{Inh}^{DFT}} \quad (30)$$

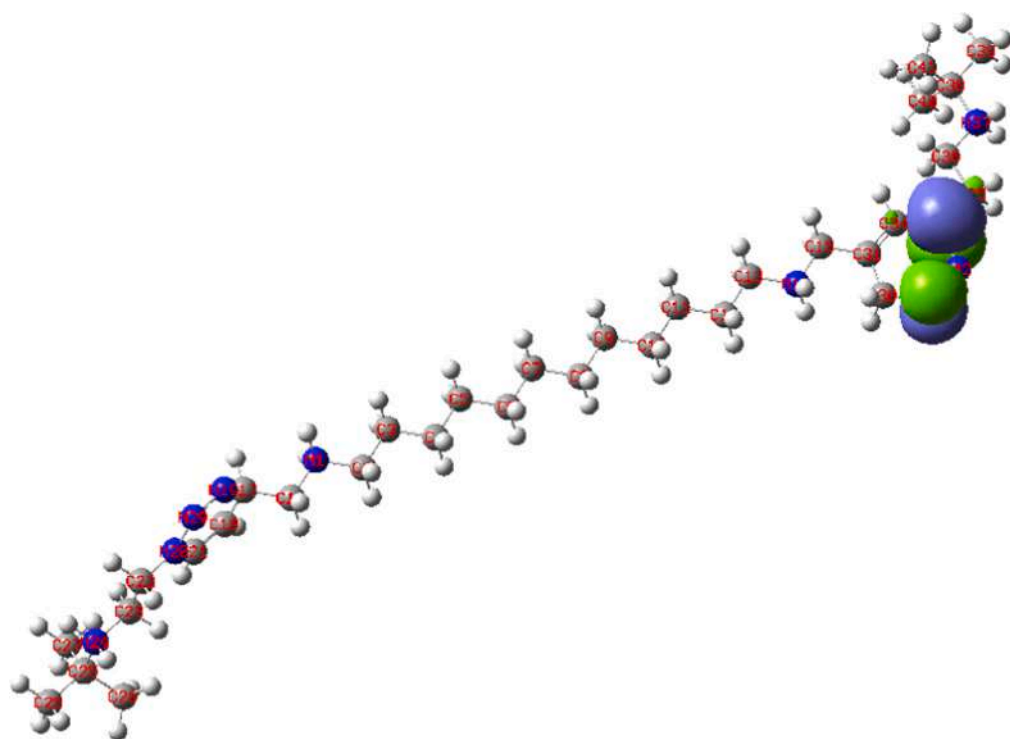
$$\eta_{Inh}^{DFT} = \frac{1}{2}(I_{Inh}^{DFT} - A_{Inh}^{DFT}) \quad (31)$$

$$\Delta N_{Inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Fe} - \chi_{Inh}^{DFT})}{2(\eta_{Fe} + \eta_{Inh}^{DFT})} \quad (32)$$

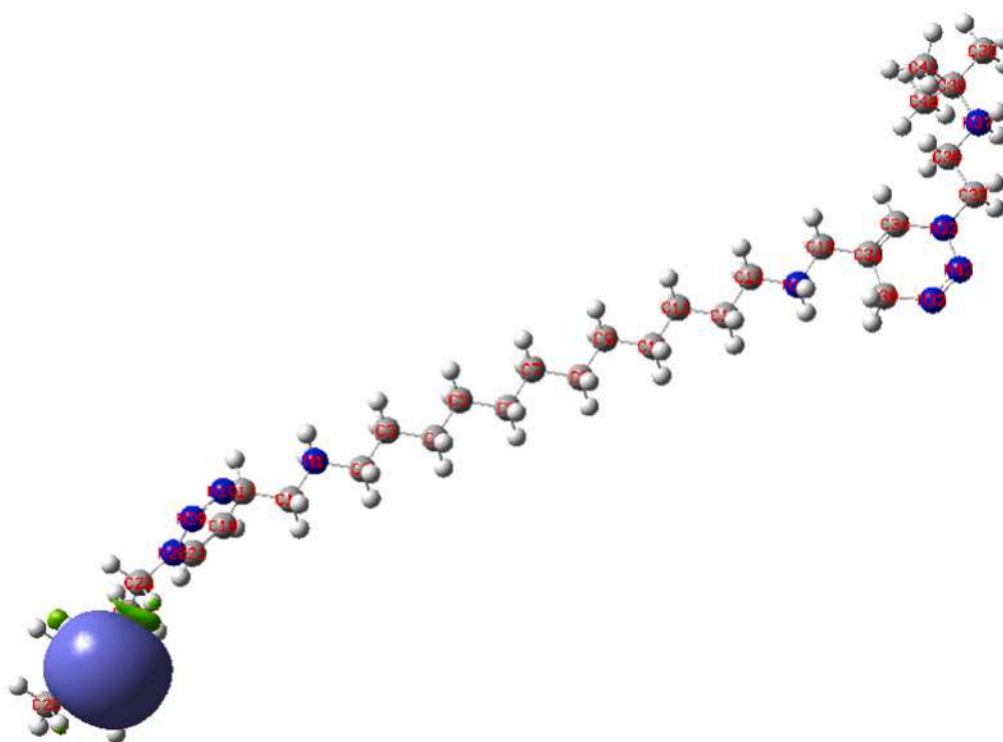
$$\Delta \psi_{Inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Fe} - \chi_{Inh}^{DFT})}{4(\eta_{Fe} + \eta_{Inh}^{DFT})} \quad (33)$$

where η_{Fe} is 0 eV/mol and χ_{Fe} is 7 eV/mol [18,21].

The ΔE_{Inh}^{DFT} is 0.30 eV; this amount is very low, indicating that CB6-based [3]rotaxane is a more polar and reactive molecule. Therefore, the studied inhibitor easily reacts with iron ions to form an active complex, which is rigidly adsorbed on the metal surface. It should be stressed that the obtained values of the electrodonating power, electroaccepting power, α – polarizability, electronic chemical potential, electron affinity, chemical hardness, chemical softness, molecular ionization potential, electrophilicity index, nucleophilicity, electronic negativity, β – polarizability and γ – polarizability recommended that (i) CB6-based [3]rotaxane is a better corrosion inhibitor; (ii) its inhibition efficiency depends on the molecular structure; (iii) the theoretical results confirm the experimental data; and (iv) the reactive indicators are important features for identifying the inhibition performance. It is also interesting to note in Table 1 that the resulting amounts of ΔN_{Inh}^{DFT} and $\Delta \psi_{Inh}^{DFT}$ confirm that (i) the metal-inhibitor interaction energy is high, revealing that the CB6-based [3]rotaxane inhibitor effectively interacts electrostatically with the metal surface, and (ii) the fraction of electrons transferred from the inhibitor molecule to the metal surface is large, demonstrating that the CB6-based [3]rotaxane inhibitor rapidly interacts chemically with the metal surface to form a protective adsorption film. These reactive parameters also enhance the inhibition performance of CB6-based [3]rotaxane for steel metallic materials.



LUMO = -5.37 eV



HOMO = -8.31 eV

Fig. 12. Frontier orbitals of the CB6-based [3]rotaxane molecule: HOMO (bottom) and LUMO (top).

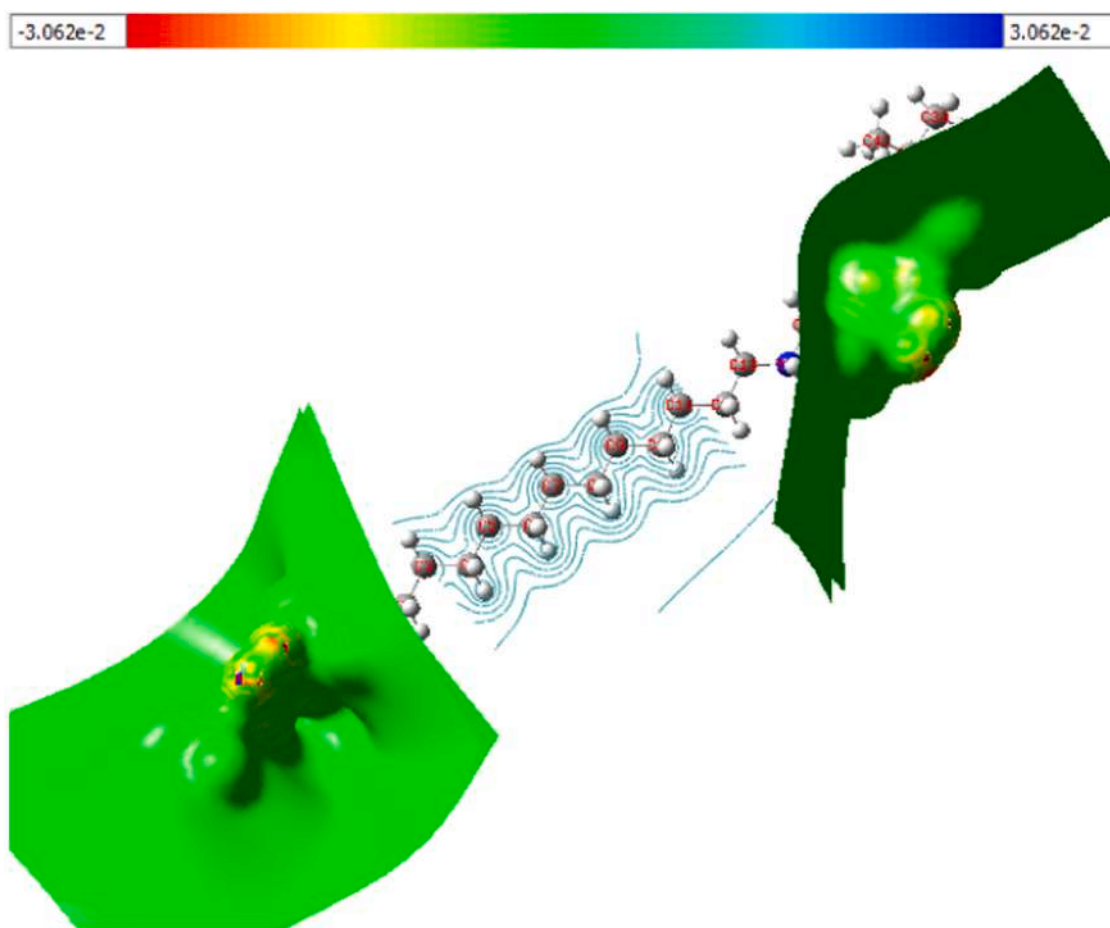


Fig. 13. MEP of the molecule. Visualized with *wxmacmolplt* software [33]. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Table 7

Values of the reactive indicators of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor.

Parameter	Parameter values in eV
$E_{HOMO}^{DFT}(Inh)$	-8.31
$E_{LUMO}^{DFT}(Inh)$	-5.37
ΔE_{inh}^{DFT}	2.94
μ_{inh}^{DFT}	8.31
A_{inh}^{DFT}	5.37
μ_{inh}^{DFT}	-6.84
χ_{inh}^{DFT}	6.84
η_{inh}^{DFT}	1.47
σ_{inh}^{DFT}	0.68
ω_{inh}^{DFT}	31.83
$\omega(+)^{DFT}_{inh}$	17,969.31
$\omega(-)^{DFT}_{inh}$	161,347.51
α_{inh}^{DFT}	375.23
β_{inh}^{DFT}	-451
γ_{inh}^{DFT}	5.7×10^5
ϵ_{inh}^{DFT}	0.031
ΔN_{inh}^{DFT}	0.05
$\Delta \psi_{inh}^{DFT}$	0.027
Dipole moment, Debye	10.02

3.10.5. Fukui indices of CB6-based [3]rotaxane

The most favorable local molecular reactive atoms of the inhibitor molecule are described by the Fukui indices. In the present work, the

values of the Fukui indices of CB6-based [3]rotaxane were computed, and the obtained data are given in Table 1S. The most nucleophilic (f_k^- high), electrophilic (f_k^+ high) and neutral (f_k^0 high) attack sites in the CB6-based [3]rotaxane molecule are also described in Table 1S. The values of f_k^+ , f_k^- and f_k^0 calculated by Mulliken population analysis (MPA) and Fukui function as $f_k^+ = D(\text{neutral molecule}) - D(\text{cation})$ and $f_k^- = D(\text{anion}) - D(\text{neutral molecule})$; $f_k^0 = (D(\text{anion}) - D(\text{cation}))/2$, where D (a.u.) was the total electron density of each nucleus using Eqs. (34–36):

$$f_k^+ = P_k(N+1) - P_k(N) \quad (34)$$

$$f_k^- = P_k(N) - P_k(N-1) \quad (35)$$

$$f_k^0 = P_k(N+1) - P_k(N-1) \quad (36)$$

where $P_k(N+1)$, $P_k(N)$ and $P_k(N-1)$ are anionic, neutral and cationic molecules, respectively.

As can be observed, the 1C and 2O atoms are more nucleophilic than other atoms, indicating that these atoms are adsorption centers and attributed to an increase in the chemical interaction between the corrosion inhibitor and metal surface. On the other hand, the values of f_k^- are higher for 5C and 6O atoms than for other atoms, demonstrating that these atoms are more electrophilic centers in the selected structure and support the inhibition performance of CB6-based [3]rotaxane. Finally, more neutral atoms importantly insulate the metal surface from the electrolyte solution.

3.11. MD simulation

The adsorption of CB6-based [3]rotaxane on the Fe(110) surface was theoretically investigated by MD simulation analysis. The studied simulation system achieves equilibrium when both the temperature and energy are balanced. The most favorable adsorption centers (top and side views) of CB6-based [3]rotaxane on the Fe(110) surface are described in Fig. 14a. In general, it is clear that the parallel adsorption model of CB6-based [3]rotaxane on the metal surface is most favored. Fig. 14b demonstrates the density field distribution of CB6-based [3]rotaxane on the Fe(110) substrate, indicating that a dense barrier layer can be formed in three-dimensional space to resist the erosion of corrosive particles. Fig. 14c illustrates the three-dimensional relative concentration distributions of CB6-based [3]rotaxane during the MD process. It should be emphasized that the C(001) direction (i.e., z-axis) exhibits the highest relative concentration value, which reconfirms the parallel adsorption configuration. It is important to note that the radial distribution function (RDF), $g(r)$, shows the length of the link. It is defined as the probability of finding particle B within the range around particle A based on Eq. (17):

$$g_{AB}(r) = \frac{1}{\langle \rho_B \rangle_{local}} \times \frac{1}{N_A} \sum_{i \in A} \sum_{j \in B} \frac{\delta(r_{ij} - r)}{4\pi r^2} \quad (37)$$

where ρ_B represents the particle density of B averaged over all shells around particle A. The peak between 1 and 3.5 Å is attributed to chemisorption, while physisorption is connected with peaks larger than 3.5 Å. The radial distribution function of the centroid of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor is shown in Fig. 12d, and clearly, the bond length of the Fe(surface)-inhibitor (3.127 Å) is less than 3.5 Å, which indicates that chemisorption is dominant in the investigated adsorption system.

The strength of the inhibitor adsorbed on the metal surface can be evaluated by the adsorption energy (E_{ads}), which was measured according to Eq. (19):

$$E_{ads} = E_{total} - (E_{surf+solu} + E_{inh+solu}) + E_{solu} \quad (19)$$

where E_{total} is the energy of the entire system, E_{solu} is the potential energy of the solvent molecules, $E_{surf+solu}$ represents the total energy of the Fe(110) surface and solution without the inhibitor, and $E_{inh+solu}$ stands for the total energy of the inhibitor and solution. Overall, what stands out from the obtained data is that a more negative value of E_{ads} confirms a stronger adsorption strength between an inhibitor molecule and a

metal surface. The resulting E_{ads} value of the CB6-based [3]rotaxane inhibitor is -895.7 kJ/mol. A negative value indicates the stability of the adsorptive system, and spontaneous adsorption can be expected. In conclusion, the obtained theoretical results confirm the experimental results.

3.12. Corrosion and inhibition mechanisms

The corrosion processes on the low-carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl are complex phenomena. The studied corrosive medium is aggressive alkaline (pH = 13.8). NaOH and NaCl formed $OH^-_{(aq)}$ and $Cl^-_{(aq)}$ ions, which were mainly responsible for alkaline corrosion. Fig. 15 describes the pictorial representation of the CB6-based [3]rotaxane inhibition mechanism on the low-carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl. It is clear that the CB6-based [3]rotaxane interacts with the metal surface in chemical and physical ways. The chloride ions are neutralized by protonated nitrogen atoms, while the hydrogen cations are neutralized by hydroxyl functional groups. These processes are referred to as physical interactions. On the other hand, the p-electron pairs of the hydroxyl functional groups are transferred to vacant d orbitals or iron, while the delocalized π -electrons of benzoyl rings are transferred to vacant d orbitals of iron on the metal surface. Additionally, some d-electrons of iron are re-shared with benzoyl rings. These actions are chemical interactions.

4. Conclusions

In conclusion, this novel CB6-based [3]rotaxane was introduced for the first time as a green and efficient corrosion inhibitor in the chemical industry. The inhibition behavior of CB6-based [3]rotaxane for carbon steel in 1 M OH^- + 1 M Cl^- at various concentrations and temperatures was fully investigated. It is found that the CB6-based [3]rotaxane is an excellent and green corrosion inhibitor in alkaline-saline solutions for the chemical industry. The maximum protection degree achieved is 97.97% with 100 mg/L/0.032 mM. The adsorption of CB6-based [3]rotaxane on the carbon steel surface is endothermic according to the Langmuir isotherm. The PDP findings suggest that CB6-based [3]rotaxane is a mixed-type inhibitor with anodic dominance. The EDX-DFT results show that the surface morphology is seriously improved in the presence of CB6-based [3]rotaxane. The inhibitor-formed protective film is thermodynamically stable and soluble in 1 M OH^- + 1 M Cl^- solution. The polarization resistance notably increases with the addition of

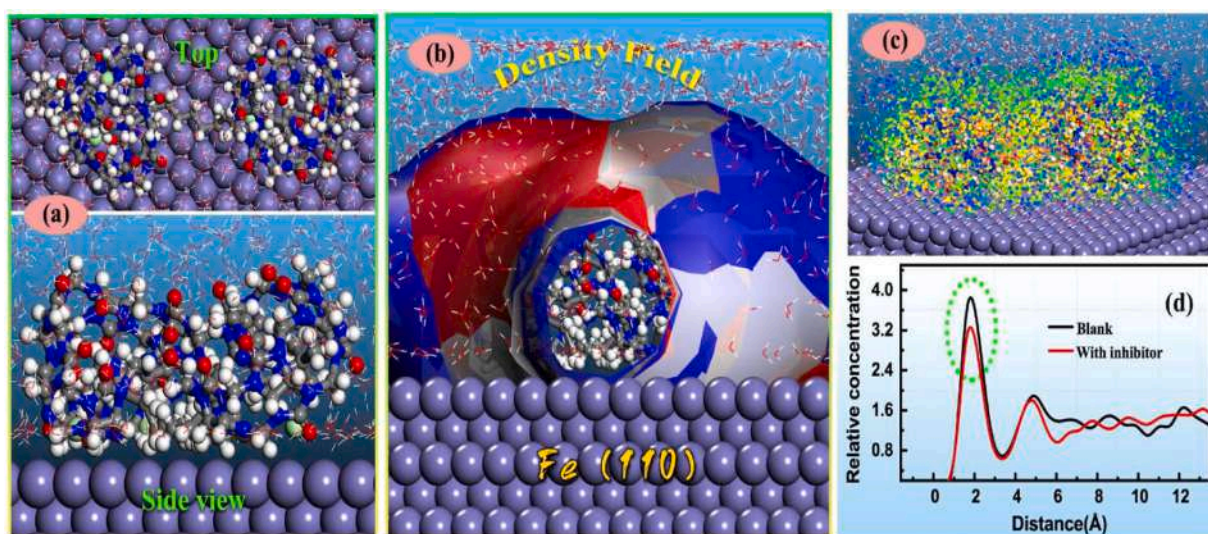


Fig. 14. (a) Equilibrium adsorption configuration, (b) density field distribution, (c) inhibitor element segregator, and (d) concentration distribution of water molecules for the CB6-based [3]rotaxane/Fe(110) system under aqueous condition (water molecules of the solution are presented in line style).

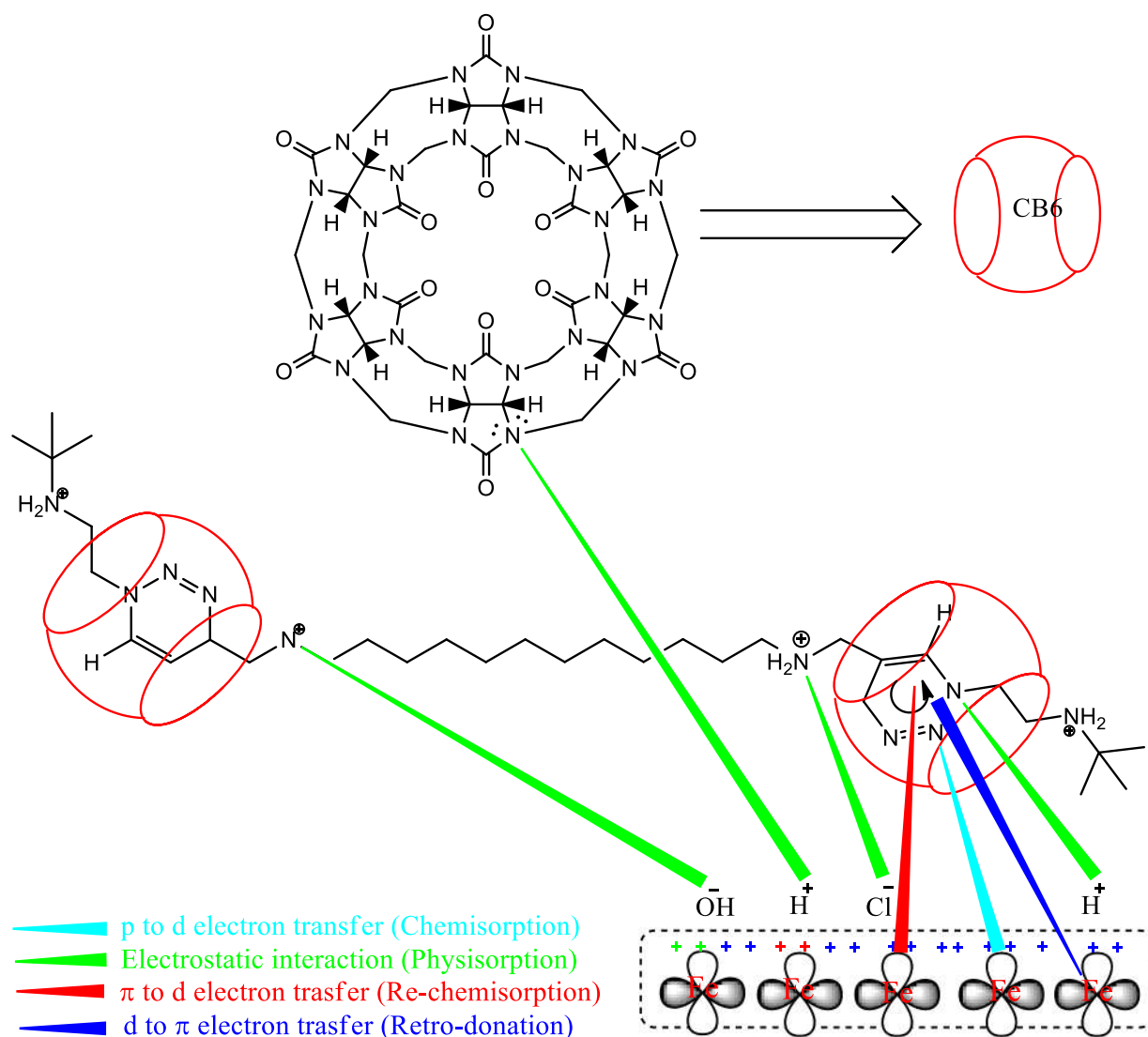


Fig. 15. Pictorial representation of the CB6-based [3]rotaxane inhibition mechanism on low-carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl.

CB6-based [3]rotaxane. The DFT results confirm that the inhibition behavior depends on the molecular structure of the supramolecular system, and it is clear from the MD simulation findings that CB6-based [3]rotaxane interacts well with the Fe(101) surface.

CRediT authorship contribution statement

Elyor Berdimurodov: Writing – original draft, Conceptualization, Investigation, Visualization. **Abduvali Kholikov:** Writing – review & editing. **Khamdam Akbarov:** Writing – review & editing. **Lei Guo:** Methodology, Software, Validation. **Savaş Kaya:** Software, Validation. **Konstantin P. Katin:** Software, Validation. **Dakeshwar Kumar Verma:** Reviewing. **Mohamed Rbaa:** Reviewing. **Omar Dagdag:** Reviewing.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

The authors wish to acknowledge Ministry of Higher and Secondary

Specialized Education of the Republic of Uzbekistan and Ministry of Innovative Development of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, Tianjin University, Tianjin, China, Karshi State University, Karshi, Uzbekistan. This work was partially sponsored by the National Natural Science Foundation of China (21706195, 22062022).

Appendix A. Supporting information

Supplementary data associated with this article can be found in the online version at [doi:10.1016/j.colsurfa.2021.127837](https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127837).

References

- [1] Jianhong Tan, Lei Guo, Hong Yang, Fan Zhangc, Youness El Bakri, Synergistic effect of potassium iodide and sodium dodecyl sulfonate on the corrosion inhibition of carbon steel in HCl medium: a combined experimental and theoretical investigation, *RSC Adv.* 10 (2020) 15163–15170.
- [2] M. Rbaa, A. Hichar, O. Bazdi, Y. Lakhri, K. Ounine, B. Lakhri, Synthesis, characterization, and in vitro antimicrobial investigation of novel pyran derivatives based on 8-hydroxyquinoline, *Beni-Suef Univ. J. Basic Appl. Sci.* 12 (2019) 1–7.
- [3] E. Berdimurodov, K. Akbarov, A. Kholikov, Electrochemical frequency modulation and reactivation investigation of thioglycolurils in strong acid medium, *Adv. Mater. Res.* 1154 (2019) 122–128.
- [4] Lei Guo, Ruilai Zhang, Bochuan Tan, Wenpo Li, Hongyan Liu, Sizhan Wu, Locust Bean Gum as a green and novel corrosion inhibitor for Q235 steel in 0.5 M H₂SO₄ medium, *J. Mol. Liq.* 310 (2020), 113239.

- [5] Ahmed Omar Dagdag, Mustapha El Harfi, Zaki El Gouri, Ramzi T.T. Safi, Nuha Jalgham, Chandrabhan Wazzan, E.E. Verma, U. Ebenso, Pramod Kumar, Anticorrosive properties of Hexa (3-methoxy propan-1,2-diol) cyclotriphosphazene compound for carbon steel in 3% NaCl medium: gravimetric, electrochemical, DFT and Monte Carlo simulation studies, *Heliyon* 5 (2019), e01340.
- [6] M. Rbaa, O. Bazdi, A. Hichar, Y. Lakhrissi, K. Ounine, B. Lakhrissi, Synthesis, characterization and biological activity of new pyran derivatives of 8-hydroxyquinoline, *Eurasian J. Anal. Chem.* 13 (2018) 19–30.
- [7] Elyor Berdimurodov, J. Wang, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Bakhtiyor Burikhonov, Nurbik Umirov, Investigation of a new corrosion inhibitor cucurbiturils for mild steel in 10% acidic medium, *Adv. Eng. Forum* 18 (2016) 21–38.
- [8] Lei Guo, Bochuan Tan, Xiuli Zuo, Wenpo Li, Senlin Leng, Xingwen Zheng, Eco-friendly food spice 2-Furfurylthio-3-methylpyrazine as an excellent inhibitor for copper corrosion in sulfuric acid medium, *J. Mol. Liq.* 317 (2020), 113915.
- [9] M. Rbaa, P. Dohare, A. Berisha, O. Dagdag, L. Lakhrissi, M. Galai, A. Zarrouk, New epoxy sugar based glucose derivatives as ecofriendly corrosion inhibitors for the carbon steel in 1.0 M HCl: experimental and theoretical investigations, *J. Alloy. Compd.* 833 (2020), 154949.
- [10] M. Rbaa, A. Hichar, P. Dohare, H. El, Y. Anouar, B. Lakhrissi, M. Lakhrissi, F. Berredjem, V. Almalki, M. Rastija, T. Rajabi, A. Ben Hadda, Zarrouk, Synthesis, characterization, biocomputational modeling and antibacterial study of novel pyran based on 8-hydroxyquinoline, *Arab. J. Sci. Eng.* 16 (2020).
- [11] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Innat Nakhatov, Nigora Kh Jurakulova, Nurbek Umirov, Adsorption isotherm and SEM investigating of cucurbit [n]urils based corrosion inhibitors with gossypol for mild steel in alkaline media containing chloride ions, *Adv. Eng. Forum* 23 (2017) 13–20.
- [12] Lei Guo, Youness El Bakri, Rongrong Yu, Jianhong Tan, El. Mokhtar Essassi, Newly synthesized triazolopyrimidine derivative as an inhibitor for mild steel corrosion in HCl medium: an experimental and in silico study, *J. Mater. Res. Technol.* 9 (3) (2020) 6568–6578.
- [13] M. Rbaa, F. Benhiba, M. Galai, A.S. Abousalem, M. Ouakki, C.H. Lai, A. Zarrouk, Synthesis and characterization of novel Cu (II) and Zn (II) complexes of 5-[(2-Hydroxyethyl) sulfanyl] methyl]-8-hydroxyquinoline as effective acid corrosion inhibitor by experimental and computational testings, *Chem. Phys. Lett.* 754 (2020), 137771.
- [14] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, D. Nuriddinova, Polarization resistance parameters of anti-corrosion inhibitor of cucurbit [N] urils and thioglycolurils in aggressive mediums, *Adv. Eng. Forum* 26 (2018) 74.
- [15] Lei Guo, Ime Bassey Obot, Xingwen Zheng, Xun Shen, Yujie Qiang, Savas Kaya, Cemal Kaya, Theoretical insight into an empirical rule about organic corrosion inhibitors containing nitrogen, oxygen, and sulfur atoms, *Appl. Surf. Sci.* 406 (2017) 301–306.
- [16] M. Rbaa, B. Lakhrissi, Novel oxazole and imidazole based on 8-hydroxyquinoline as a corrosion inhibition of mild steel in HCl solution: insights from experimental and computational studies, *Surf. Interfaces* 15 (2019) 43–59.
- [17] M. Rbaa, M. Galai, A.S. Abousalem, B. Lakhrissi, M.E. Touhami, I. Warad, A. Zarrouk, Synthetic, spectroscopic characterization, empirical and theoretical investigations on the corrosion inhibition characteristics of mild steel in molar hydrochloric acid by three novel 8-hydroxyquinoline derivatives, *Ionics* 13 (8) (2020) 1–20.
- [18] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Guobao Xu, Aboubakr M. Abdullah, Morteza Hosseini, New anti-corrosion inhibitor (3ar,6ar)-3a,6a-di-ptolytetrahydroimidazo[4,5-d]imidazole-2,5(1h,3h)-dithione for carbon steel in 1 M HCl medium: gravimetric, electrochemical, surface and quantum chemical analyses, *Arab. J. Chem.* 13 (2020) 7504–7523.
- [19] Rachid Hsissou, Omar Dagdag, Mohamed Berradi, Mehdi El Bouchti, Mohammed Assouag, Ahmed Elharfi, Development rheological and anti-corrosion property of epoxy polymer and its composite, *Heliyon* 5 (2019), e02789.
- [20] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Lei Guo, Inhibition properties of 4,5-dihydroxy-4,5-di-p-tolylimidazolidine-2-thione for use on carbon steel in an aggressive alkaline medium with chloride ions: thermodynamic, electrochemical, surface and theoretical analyses, *J. Mol. Liq.* 327 (2021), 114813.
- [21] A.L. Chong, J.I. Mardel, D.R. MacFarlane, M. Forsyth, A.E. Somers, Synergistic corrosion inhibition of mild steel in aqueous chloride solutions by an imidazolium carboxylate salt, *ACS Sustain. Chem. Eng.* 4 (2016) 1746–1755.
- [22] M.A. Deyab, Efficiency of cationic surfactant as microbial corrosion inhibitor for carbon steel in oilfield saline water, *J. Mol. Liq.* 255 (2018) 550–555.
- [23] A.K. Dermani, E. Kowsari, B. Ramezanzadeh, R. Amini, Utilizing imidazole based ionic liquid as an environmentally friendly process for enhancement of the epoxy coating/graphene oxide composite corrosion resistance, *J. Ind. Eng. Chem.* 79 (2019) 353–363.
- [24] A.M. El-Shamy, K. Zakaria, M. Abbas, S.Z. El Abedin, Anti-bacterial and anti-corrosion effects of the ionic liquid 1-butyl-1-methylpyrrolidinium trifluoromethylsulfonate, *J. Mol. Liq.* 211 (2015) 363–369.
- [25] M.M. Barakat, M.A. Deyab, M.I. Nessim, S.S. Abd El-Rehim, Q. Mohsen, The controlling role of new imidazole-based ionic liquids on the corrosion rate of steel rebars in the cement pore solution, *J. Mol. Liq.* 329 (2021), 115442.
- [26] Donus Tuncel, Ozgur Ozsar, H.Burak Tiftika, Bekir Salih, Molecular switch based on a cucurbit[6]uril containing bistable [3]rotaxane, *Chem. Commun.* (2007) 1369–1371.
- [27] C. Lee, W. Yang, R.G. Parr, Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density, *Phys. Rev. B* vol. 37 (1988) 785–789.
- [28] D. Becke, Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange, *J. Chem. Phys.* 98 (1993) 5648.
- [29] R. Krishnan, J.S. Binkley, R. Seeger, J.A. Pople, Self-consistent molecular orbital methods. XX. A basis set for correlated wave functions, *J. Chem. Phys.* 72 (1980) 650.
- [30] S. Grimme, J. Antony, S. Ehrlich, H. Krieg, A consistent and accurate *ab initio* parametrization of density functional dispersion correction (DFT-D) for the 94 elements H-Pu, *J. Chem. Phys.* 132 (2010), 154104.
- [31] M.W. Schmidt, K.K. Baldrige, J.A. Boatz, S.T. Elbert, M.S. Gordon, J.H. Jensen, S. Koseki, N. Matsunaga, K.A. Nguyen, S. Su, T.L. Windus, M. Dupuis, J. A. Montgomery, General atomic and molecular electronic structure system, *J. Comput. Chem.* 14 (11) (1993) 1347–1363.
- [32] Chemcraft – Graphical Software for Visualization of Quantum Chemistry Computations. (<https://www.chemcraftprog.com>).
- [33] B.M. Bode, M.S. Gordon, Macmolplt: a graphical user interface for GAMESS, *J. Mol. Graph. Model.* 16 (1998) 133–138.
- [34] Lei Guo, Ime Bassey Obot, Xingwen Zheng, Xun Shen, Yujie Qiang, Savas Kaya, Cemal Kaya, Theoretical insight into an empirical rule about organic corrosion inhibitors containing nitrogen, oxygen, and sulfur atoms, *Appl. Surf. Sci.* 406 (2017) 301–306.
- [35] Rachid Hsissou, Omar Dagdag, Said Abbout, Fouad Benhiba, Mohamed Berradi, Mehdi El Bouchti, Avni Berisha, Najat Hajjaji, Ahmed Elharfi, Novel derivative epoxy resin TGETET as a corrosion inhibition of E24 carbon steel in 1.0 M HCl solution. Experimental and computational (DFT and MD simulations) methods, *J. Mol. Liq.* 284 (2019) 182–192.
- [36] M. Rbaa, M. Fardioui, C. Verma, A.S. Abousalem, M. Galai, E.E. Ebenso, A. Zarrouk, 8-Hydroxyquinoline based chitosan derived carbohydrate polymer as biodegradable and sustainable acid corrosion inhibitor for mild steel: experimental and computational analyses, *Int. J. Biol. Macromol.* 155 (2020) 645–655.
- [37] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Lei Guo, Aboubakr M. Abdullah, Mustafa Elik, A gossypol derivative as an efficient corrosion inhibitor for St2 steel in 1 M HCl + 1 M KCl: an experimental and theoretical investigation, *J. Mol. Liq.* 328 (2021), 115475.
- [38] Rachid Hsissou, Fouad Benhiba, Omar Dagdag, Mehdi El Bouchti, Khalid Nouneh, Mohammed Assouag, Samir Briche, Abdelkader Zarrouk, Ahmed Elharfi, Development and potential performance of prepolymer in corrosion inhibition for carbon steel in 1.0 M HCl: outlooks from experimental and computational investigations, *J. Colloid Interface Sci.* 574 (2020) 43–60.
- [39] M. Rbaa, F. Benhiba, R. Hsissou, Y. Lakhrissi, B. Lakhrissi, M.E. Touhami, A. Zarrouk, Green synthesis of novel carbohydrate polymer chitosan oligosaccharide grafted on d-glucose derivative as bio-based corrosion inhibitor, *J. Mol. Liq.* 322 (2020) 114549.
- [40] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, I.B. Obot, Lei Guo, Thioglycoluril derivative as a new and effective corrosion inhibitor for low carbon steel in a 1 M HCl medium: experimental and theoretical investigation, *J. Mol. Struct.* 1234 (2021), 130165.
- [41] Rajesh Haldhar, Dwarika Prasad, Indra Bahadur, Omar Dagdag, Avni Berisha, Evaluation of Gloriosa superba seeds extract as corrosion inhibition for low carbon steel in sulfuric acid medium: A combined experimental and computational studies, *J. Mol. Liq.* 323 (2021), 114958.
- [42] Yuwei Ye, Dongping Yang, Hao Chen, Shengda Guo, Qiumin Yang, Liyong Chen, Haichao Zhao, Liping Wang, A high-efficiency corrosion inhibitor of N-doped citric acid-based carbon dots for mild steel in hydrochloric acid environment, *J. Hazard. Mater.* 381 (2020), 121019.
- [43] Yuwei Ye, Dawei Zhang, Yangjun Zou, Haichao Zhao, Hao Chen, A feasible method to improve the protection ability of metal by functionalized carbon dots as environment-friendly corrosion inhibitor, *J. Clean. Prod.* 264 (2020), 121682.
- [44] Jiaxin Luo, Xiong Cheng, Chaofa Zhong, Xinhua Chen, Y.W. Ye, H. Zhao, H. Chen, Effect of reaction parameters on the corrosion inhibition behavior of N-doped carbon dots for metal in 1 M HCl solution, *J. Mol. Liq.* 338 (2021), 116783.



Novel bromide–cucurbit[7]uril supramolecular ionic liquid as a green corrosion inhibitor for the oil and gas industry

Elyor Berdimurodov^{a,*}, Abduvali Kholikov^b, Khamdam Akbarov^b, Lei Guo^{c,d}, Savaş Kaya^e, Konstantin P. Katin^f, Dakeshwar Kumar Verma^g, Mohamed Rbaa^h, Omar Dagdagⁱ, Rajesh Haldhar^j

^a Faculty of Natural Sciences, Karshi State University, Karshi 180100, Uzbekistan

^b Faculty of Chemistry, National University of Uzbekistan, Tashkent 100034, Uzbekistan

^c School of Materials and Chemical Engineering, Tongren University, Tongren 554300, China

^d School of Oil and Natural Gas Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China

^e Cumhuriyet University Health Services Vocational School, Department of Pharmacy, 58140 Sivas, Turkey

^f National Research Nuclear University “MEPhI”, Kashirskoe Shosse 31, Moscow 115409, Russian Federation

^g Department of Chemistry, Government Digvijay Autonomous Postgraduate College, Rajnandgaon, Chhattisgarh 491441, India

^h Laboratory of Organic Chemistry, Catalysis and Environment, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, PO Box 133, 14000 Kenitra, Morocco

ⁱ Laboratory of Industrial Technologies and Services (LITS), Department of Process Engineering, Height School of Technology, Sidi Mohammed Ben Abdallah University, P.O. Box 2427, 30000 Fez, Morocco

^j School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan 712749, South Korea

ARTICLE INFO

Keywords:

Carbon steel
Corrosion inhibitor
Green inhibitor
Saline medium
Cucurbit[7]uril
Ionic liquid
Supramolecular system

ABSTRACT

Metal corrosion is the largest problem in the oil and gas industry. Therefore, providing metallic materials with corrosion protection is an urgent task in modern research. The use of green corrosion inhibitors for corrosion protection is very important both ecologically and economically. This work is the first to introduce a novel bromide–cucurbit[7]uril (BrCU) supramolecular ionic liquid as an excellent corrosion inhibitor for the oil and gas industry. Its inhibition behaviour for carbon steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S was first fully identified through the use of thermodynamic and gravimetric analysis, electrochemical noise (EN), potentiodynamic polarization (PDP), electrochemical impedance spectroscopy (EIS), electrochemical frequency modulation (EFM), density functional theory (DFT), scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) methods. The experimental results confirmed that BrCU is an excellent environmentally friendly corrosion inhibitor for the gas and oil industry. Its inhibition efficiency was 97.54% at 100 mg/L/0.06 mM, and it was more stable at high temperature (333 K). A Langmuir isotherm was applied to identify the adsorption character of BrCU on the metal surface. The obtained PDP data suggested that BrCU was a predominantly anodic mixed-type corrosion inhibitor. Theoretical calculations showed good correlation with the experimental results, indicating that the halogen modification in the supramolecular ionic liquid system improved the inhibition performance.

1. Introduction

Carbon steel materials are mainly utilized in the oil and gas industry [1]. Currently, these materials are broadly used for metallic pipes in the chemical industry [2]. This is due to its cost effectiveness and easy mechanical operability [3]. Carbon steel is widely used as a transportation pipe, in which crude oil is transferred from one location to another. During transport, the inside of carbon steel pipes becomes seriously corroded. Consequently, metallic pipes lose their inherent mechanical properties [4]. Metallic destruction is a serious problem for the chemical industry both economically and environmentally.

The aqueous phase of crude oil is responsible for metallic corrosion [5]. Chloride ions, CO₂, and H₂S gases are more concentrated in the aqueous phase; thus, metal surfaces easily react with this phase. The enriched chloride ions, CO₂, and H₂S gases form a more acidic medium, which is attributed to corrosion inside metallic pipes [6]. As a result of corrosion processes, corrosion deposits cover the metal surface, making the transport of crude oil inside metallic pipes more difficult [7]. Therefore, the corrosion of steel materials during crude oil transport is the largest problem, and the protection of metallic materials is of crucial importance in the chemical industry both ecologically and economically [8].

* Corresponding author.

<https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2021.115794>

Received 7 July 2021; Received in revised form 5 October 2021; Accepted 12 October 2021

Available online 16 October 2021

1572-6657/© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.

Currently, metallic corrosion of a metal surface in the aqueous phase is inhibited using corrosion-resistant organic molecules, which are named corrosion inhibitors [9]. The addition of corrosion inhibitors to a corrosive solution dramatically blocks destructive corrosion on a metal surface [10]. Corrosion inhibitors are water soluble and thermally stable in more aggressive acidic solutions [11]. They can react with metallic ions to form a metal–inhibitor complex [12], which is thermodynamically, chemically, and thermally stable in acidic solutions [13]. Next, the formed complex is effectively adsorbed on a metal surface to form a more stable thin film, which can effectively insulate the metal surface from the corrosion medium [14]. Consequently, the metallic surface is considerably protected from corrosion processes by the protective film. The heteroatoms (phosphorus, nitrogen, oxygen and nitrogen), aromatic rings [15] and polar functional groups ($-C\equiv N-$, $-NH_2$, $-OH$, $-OCH_3$, $-SH$) in corrosion inhibitors are responsible for their performance. During adsorption and inhibition processes, the p-electrons of the heteroatoms and π -electrons of aromatic rings are transferred to vacant d-orbitals of iron to form rigid covalent bonds [16].

Currently, amino compounds, macrocyclic compounds, expired drugs, polymers, ionic liquids, and heterocyclic compounds are broadly applied to defend metals from destructive corrosion [17]. Among these modern corrosion inhibitors, ionic liquids are more effective and environmentally friendly [18]. Ionic liquids have a high polarity, low vapour pressure, low melting point, good adsorption, extremely high stability to thermal and chemical treatments, good water solubility [19] and environmental friendliness [20]. The inhibition properties of ionic liquids have been investigated in saline and acid media. For instance, M. M. Barakat *et al.* introduced new imidazole-based ionic liquids as good corrosion inhibitors for steel in cement pore solution. These ionic liquids were mixed-type inhibitors, and the π -electrons in the benzoyl rings were attributed to the good inhibition performance. Additionally, Langmuir isotherms were applied to characterize the adsorption behaviour of those inhibitors [21]. Alison L. Chong *et al.* researched protic imidazolium cation and 4-hydroxycinnamate anion ionic liquids as corrosion inhibitors for mild steel in 0.01 M NaCl alkaline solution. It was found that these inhibitors were anodic inhibitors and adsorbed on the steel surface by physical and chemical methods [22]. 1-Butyl-1-methylpyrrolidinium trifluoromethylsulfonate [23], 1-butyl-3-methylimidazolium chloride [24] and quaternary ammonium ionic liquids [25] were investigated as corrosion inhibitors for steel in a 3.5% NaCl solution. The obtained results confirmed that the ionic liquids were mainly mixed-type inhibitors following the Langmuir isotherm. Some research works were carried out in acidic media. For example, 3-butyl-1-vinylimidazolium bromide [25], indolium-based ionic liquids [26], amino acid ester salt-based ionic liquids [27], *N*-ethyl-*N,N,N*-triethylammonium adipate [28], *N*-ethyl-*N,N,N*-triethylammonium ethyl sulfate [28] and protic ionic liquids [29] were introduced as effective corrosion inhibitors for steel in acidic solutions. However, the corrosion inhibition of steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S was not investigated with ionic liquids. In this work, a novel ionic liquid was introduced for carbon steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S .

The novelties in this investigation work are as follows: (i) the novel bromide-cucurbit[7]uril (BrCU) supramolecular ionic liquid is introduced as a green and excellent corrosion inhibitor for the oil and gas industry; (ii) the inhibition performance of BrCU for carbon steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S is studied; and (iii) the impact of the supramolecular system on the inhibition behaviour is theoretically and experimentally investigated. The inhibition character of BrCU for carbon steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S is first fully researched by thermodynamic and gravimetric analysis, electrochemical noise (EN), potentiodynamic polarization (PDP), electrochemical impedance spectroscopy (EIS), electrochemical frequency modulation (EFM), density functional theory (DFT), scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX)

methods. BrCU was chosen based on the following properties: (a) it is large and highly water soluble; (b) it is an ionic liquid and a supramolecular system; (c) it has a large planar structure and contains many electron-rich heteroatoms; (d) it is green and environmentally friendly; and (f) it is an antibacterial, anti-inflammatory, anticonvulsant, antimicrobial, antitumour, and analgesic agent. These good properties suggest that it is an excellent corrosion inhibitor. BrCU is green corrosion inhibitor based on the following reasons: (i) it is an antibacterial, anti-inflammatory, anticonvulsant, antimicrobial, antitumour, and analgesic agent [30]; (ii) the electron-rich heteroatoms and functional groups chemical linked with the metal ions, consequently, the more reactive sites are neutralised and BrCU become green; (iii) the BrCU effectively adsorbed on the metal surface, as a result, it cannot effect the environment.

2. Experimental

2.1. Materials and methods

Steel pipes are mainly based on carbon steel and are used for crude oil transport. St2 steel was chosen in the present investigation. It is a type of carbon steel. St2 steel and consists of the following: ~98% Fe, 0.15–0.15% Si, 0.25–0.5% Mn, 0.09–0.15% C, to 0.3% Ni, to 0.3% Cu, to 0.3% Cr, to 0.04% P, to 0.05% S, to 0.08% As, to 0.008% N [4,8].

The selected steel sample was abraded with varying grades (#800 grit size) of emery paper before corrosion testing. As a result, the metal surface was smoothed and cleaned. Next, the metal samples were washed three times with double-distilled water and alcohol. Then, they were degreased with acetone. Finally, the samples were dried in air.

The selected corrosion solution was 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S . This was due to the aqueous phase of crude oil containing chloride ions and CO_2 and H_2S gases. NaCl solids were used to prepare the 1 M NaCl solution. Next, CO_2 and H_2S gases were added to the prepared NaCl solution at a pressure of 1 atmosphere. During the experiment, the CO_2 and H_2S gases were bubbled in the electrochemical cell (pH = 4.2, the time of deaeration of the corrosion cell was 30 min). The experiments were carried out at 303, 313, 323 and 333 K.

2.2. Corrosion inhibitor

The novel bromide-cucurbit[7]uril (BrCU) supramolecular ionic liquid was selected as a corrosion inhibitor. Its molecular structure was characterized in previous research work [30]. This corrosion inhibitor has three parts: (i) the supramolecular part is more stable and water soluble; (ii) the ionic liquid part is responsible for better physical interaction between the inhibitor and metallic surface; and (iii) the aliphatic tail part supports its adsorption on a metal surface. In addition, the excellent inhibition of BrCU is attributed to its benzoyl rings, nitrogen heteroatoms, bromide anions and carboxyl functional groups.

2.3. Thermodynamic and gravimetric analysis

Carbon steel with dimensions of 3 cm $\times$ 3 cm $\times$ 0.1 cm was selected for thermodynamic and gravimetric examination. These analyses were carried out on carbon steel in inhibitor-free and inhibitor-containing 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S at different temperatures and concentrations. Before performing the experiment, the carbon steel coupon was immersed in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S without inhibitor for 76 h. After immersion, the metal sample was removed from the solution and dried. The following step was to calculate the mass of the dried metal sample three times to estimate the average mass (W_0). Next, the carbon steel coupon was immersed in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S solutions with BrCU at various concentrations for 76 h. Then, the immersed metal sample was

washed and dried to measure the average mass of the metal coupon (W_{inh}). Finally, the obtained W_0 and W_{inh} values were applied to estimate the degree of protection ($\eta_{Grav.}$, at%), corrosion rate ($CR_{Grav.}$, atmg/cm²h) and degree of surface coverage ($\theta_{Grav.}$) of BrCU according to Eqs. (1)–(3), respectively [12,18]:

$$\eta_{Grav.} = \left(1 - \frac{W_{inh}}{W_0}\right) \times 100 \quad (1)$$

$$CR_{Grav.} = \frac{W_{inh} - W_0}{At} \quad (2)$$

$$\theta_{Grav.} = 1 - \frac{W_{inh}}{W_0} \quad (3)$$

2.4. Electrochemical analysis

A Gamry PC5 galvanostat/IFC1000–06177 potentiostat (USA) was used to perform the electrochemical EFM, EN, PDP and EIS analyses. Gamry Echem Analyst 6.22 software was used to fit and estimate the electrochemical data. In these experiments, a three-electrode cell assembly, including a working electrode (carbon steel), counter electrode (platinum) and reference electrode (saturated calomel), was used. All electrodes were dipped and then immersed in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S in the absence and presence of the BrCU inhibitor for 76 h. During immersion, the potential on the electrode surface achieved a stable condition.

The EIS was carried out between frequencies of 100 kHz and 0.01 Hz at an AC voltage amplitude of 10 mV_{rms}. The obtained charge transfer resistance (R_{ct}^i) values in the inhibited medium and (R_{ct}^o) in the corrosive medium were used to estimate the inhibition efficiency (η_{EIS} , at%) (Eq. (4)) [16]:

$$\eta_{EIS}, \% = \frac{R_{ct}^i - R_{ct}^o}{R_{ct}^i} \times 100\% \quad (4)$$

PDP investigations were carried out between potentials of –0.250 and 0.250 V with a 2 s sample period and a 1 mV/s scan rate. The open-circuit potential (OCP) was measured before the PDP analysis. The corrosion current density (i_{PDP}^i) in the corrosive medium and (i_{PDP}^o) in the inhibited medium were calculated to calculate the inhibition efficiency (η_{PDP} , at%) (Eq. (5)):

$$\eta_{PDP}, \% = \frac{i_{PDP}^o - i_{PDP}^i}{i_{PDP}^o} \times 100\% \quad (5)$$

EFM was carried out with a 10 mV amplitude and 2 Hz and 5 Hz sine wave potential perturbation signals. The corrosion current (I_{corr}^o) for the inhibitor-free solution and (I_{corr}^{inh}) for the inhibitor-containing solution were applied to estimate the inhibition efficiency (IE_{EFM} , at%) (Eq. (6)):

$$IE_{EFM}, \% = \frac{I_{corr}^o - I_{corr}^{inh}}{I_{corr}^o} \times 100 \quad (6)$$

The EN analysis was performed with a zero resistance amperometry (ZRA) control mode. The average noise resistances without ($\bar{R}_{rms}^o$) and with ($\bar{R}_{rms}^{inh}$) inhibitor were used to measure the inhibition efficiency (IE_{EN}) (Eq. (7)):

$$IE_{EN}, \% = \frac{\bar{R}_{rms}^o - \bar{R}_{rms}^{inh}}{\bar{R}_{rms}^o} \times 100 \quad (7)$$

2.5. Surface analysis

The surface morphology was investigated by SEM and EDX tests (HITACHI TM3000, Hitachi Company, Tokyo, Japan). Before the

experiment, the metal sample was immersed in the studied solutions for 72 h. Then, the immersed metal coupon was washed and dried with acetone solution [19].

2.6. Quantum chemical analysis

The inhibition performance of BrCU was theoretically investigated and compared with the experimental results. In this research work, quantum chemical calculations were carried out on density functional theory (DFT) with the B3LYP (three – parameter Lee–Yang–Parr correlation function by Becke) exchange – corrected functional [31,32]/6-311G** basis sets [33] + D3 Grimme's dispersion corrections [34] in GAMESS-US [35] software (molecular charge was + 2). The quantum chemical calculation of the optimized structure of BrCU was performed in the aqueous phases with the polarizable continuum model employing the integral equation formalism variant (IEFPCM) and a water solvent. The visualization was carried out in ChemCraft [36] and Macmolplt [37] software. Geometry optimization, hyperpolarizability and polarizability (the dipole moment in Debye and the electric field in Hartree/e*Bohr) were measured with GAMESS-US software [34,35,38].

3. Results and discussion

3.1. Gravimetric analysis

3.1.1. Concentration effect of the BrCU inhibitor

In this research paper, the concentration effect of the BrCU inhibitor on the corrosive and inhibition processes in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S was studied with various concentrations of BrCU by the gravimetric method. Table 1 illustrates the results of the concentration influence on the corrosion and inhibition of St2 steel. In general, it was clearly evident that the inhibition efficiency ($\eta_{Grav.}$) and degree of coverage ($\theta_{Grav.}$) of the BrCU inhibitor for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S slowly increased; additionally, the corrosion rate decreased when the concentration increased. The maximum $\eta_{Grav.}$ with 100 mg/L/0.06 mM was 97.54% at 303 K, 93.22% at 313 K, 87.64% at 323 K and 83.06% at 333 K, confirming that 100 mg/L/0.06 mM is an optimum concentration for the BrCU inhibitor and is an excellent inhibitor for St2 steel in the studied solution. There were no major changes in Table 1 with increasing concentration. Thus, this inhibitor is more efficient at low concentrations, indicating that this inhibitor is an excellent insulator for St2 steel, protecting it from the aggressive Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , HS^- and S^{2-} ions in the selected solution. Because these ions corrode metal, corrosion deposits form on the metal surface. However, the BrCU inhibitor has many electron-rich nitrogen atoms, which promote the superior performance of the BrCU inhibitor. Additionally, an increase in the concentration of BrCU is also responsible for forming a protective film on the metal surface by adsorption. Many inhibitor molecules adsorb at vacant sites on the metal surface [17], resulting in a large part of the metal surface being covered with a protective thin film.

3.1.2. Temperature effect

To analyse the temperature influence, gravimetric tests for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S in the absence and presence of the BrCU inhibitor were carried out at various temperatures (303–333 K). Table 1 demonstrates that the corrosion rate increased with increasing temperature. In comparison, the inhibition efficiency and degree of coverage diminished with increasing temperature. These indicators confirmed that the desorption of inhibitor on the metal surface increased slowly with increasing temperature. The high temperature destroyed the electrostatic interaction between the inhibitor and metal surface. In addition, aggressive Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , HS^- and S^{2-}

Table 1
Gravimetric parameters of BrCU.

C_{inh} , mg/L/mM	Temperature, K	$CR_{Grav.}$, mg/cm ² h	$\eta_{Grav.}$, %	$\theta_{Grav.}$
Blank	303	1.71	–	–
25/0.015		0.257	84.97	0.8497
50/0.03		0.195	88.6	0.886
75/0.045		0.124	92.75	0.9275
100/0.06		0.042	97.54	0.9754
Blank	313	1.83	–	–
25/0.015		0.309	83.11	0.8311
50/0.03		0.258	85.9	0.859
75/0.045		0.196	89.29	0.8929
100/0.06		0.124	93.22	0.9322
Blank	323	2.03	–	–
25/0.015		0.405	80.05	0.8005
50/0.03		0.363	82.11	0.8211
75/0.045		0.312	84.63	0.8463
100/0.06		0.251	87.64	0.8764
Blank	333	2.22	–	–
25/0.015		0.5	77.48	0.7748
50/0.03		0.469	78.87	0.7887
75/0.045		0.427	80.76	0.8076
100/0.06		0.376	83.06	0.8306

ions were activated at a high temperature; thus, more activated ions corroded the metal surface. Fig. 1

3.2. Thermodynamics of activation

The correlation between the corrosion rate and temperature is expressed by the Arrhenius equation (Eq. (8)), which is employed to estimate the electrochemical kinetic parameters related to the corrosion and inhibition processes. Fig. 2a illustrates the plots of $\log CR_{Grav.}$ against $1000/T$ for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S without and with the BrCU inhibitor.

$$CR_{Grav.} = A \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (8)$$

In the above equation, E_a is the activation energy (kJ/mol), R is the universal gas constant (8.314 J/mol × K), T is the temperature (K), and A is the Arrhenius pre-exponential factor [16,18].

The values of the activation energy (E_a) were estimated according to slope = $(-E_a/2.303R)$ from the Arrhenius plots (Fig. 2a). The correlation coefficients (R^2) in Fig. 2a indicated that the Arrhenius plots showed the best fit for estimating the values of activation energy. The obtained values of E_a in Table 2 demonstrated that a double layer was formed on the St2 steel-solution interface, which increased the E_a in the corrosion and inhibition processes. As shown in Table 2, the values of E_a were higher with the addition of inhibitor than with the addition of corrosive solution. This behaviour is due to the BrCU inhibitor forming an energetic barrier against corrosion by forming a protective thin film on the metal surface. Table 2 also shows that E_a increases with increasing concentration.

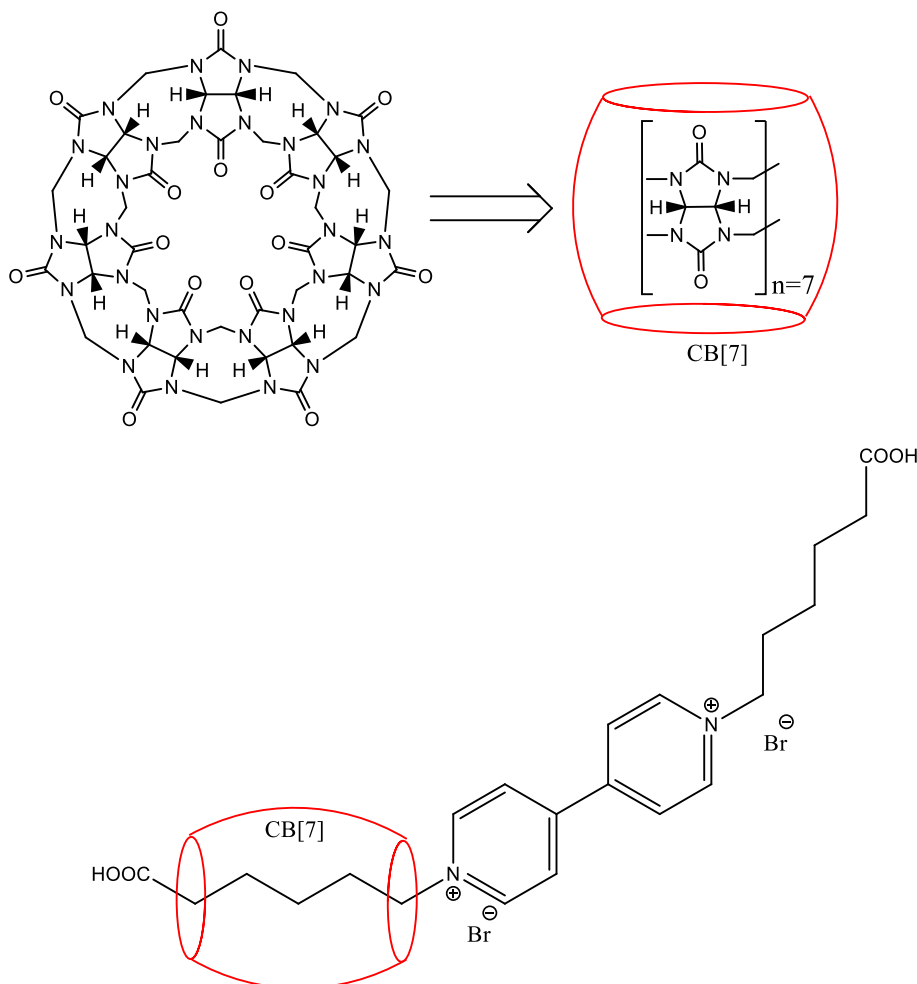


Fig. 1. Molecular structure of bromide-cucurbit[7]uril (BrCU) supramolecular ionic liquid [30].

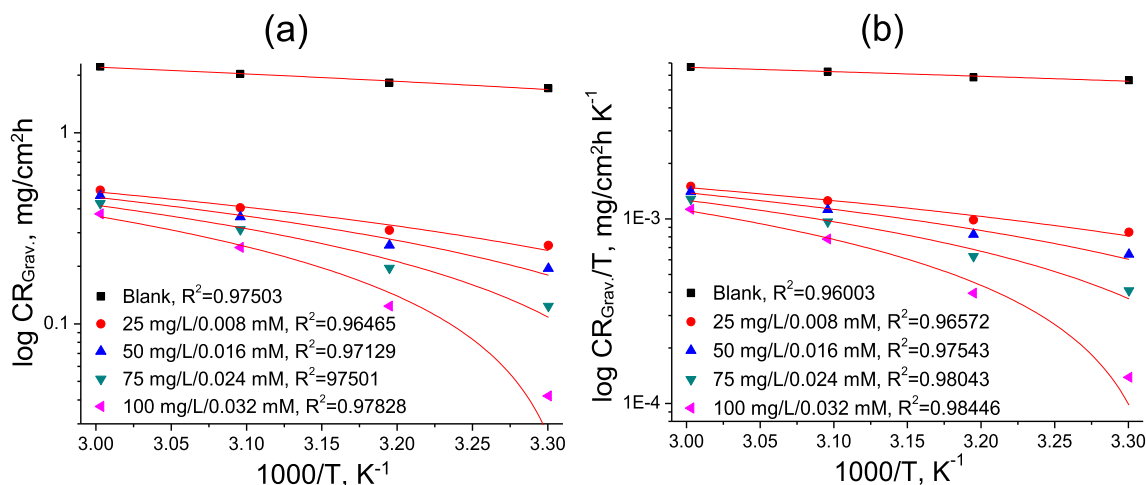


Fig. 2. (a) Arrhenius and (b) transition state plots of the blank and BrCU.

Table 2

Activation parameters for the blank and BrCU.

Parameters	Blank	25 mg/L/0.015 mM	50 mg/L/0.03 mM	75 mg/L/0.045 mM	100 mg/L/0.06 mM
E_a , kJ/mol	33.3	40.18	47.3	58	61.81
ΔH_a , kJ/mol	36.01	42.87	50	55.3	64.5
ΔS_a , kJ/mol T	132.02	-40.41	-20.9	-2.13	15.66
$E_a - \Delta H_a$	2.71	2.69	2.7	2.7	2.69

The dependence of the corrosion rate on the change in the activation enthalpy (ΔH_a) and entropy (ΔS_a) for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S in the absence and presence of the BrCU inhibitor was investigated, and this dependence was described according to the transition state equation (Eq. (9)). Fig. 2b shows the plots of $\log CR_{\text{Grav}}/T$ against $1000/T$ for the blank and inhibitor at various concentrations. These plots were employed to measure the values of ΔH_a from slope $= -\Delta H_a/2.303R$ and the values of ΔS_a from intercept $= [\log \frac{R}{Nh} + (\frac{\Delta S_a}{2.303R})]$ in Fig. 2b. The correlation coefficients (R^2) in Fig. 2a were close to 1, confirming that the obtained plots were perfect fits for estimating the values of ΔH_a and ΔS_a .

$$CR_{\text{Grav}} = \frac{RT}{Nh} \exp\left(\frac{\Delta S_a}{R}\right) \exp\left(-\frac{\Delta H_a}{RT}\right) \quad (9)$$

In the above equation, h is the Planck constant ($6.626 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$) and N is the Avogadro number (6.12×10^{23}) [7].

As shown in Table 2, the positive values of ΔH_a confirmed that the corrosion and inhibition processes on the St2 steel surface in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S were endothermic. The values of ΔH_a increased slowly with increasing concentration. In contrast, the values of ΔS_a were positive for the blank and negative for the BrCU inhibitor, confirming that association with the activated complex of the inhibitor was higher than that of disassociation; thus, the formed complex was stable. Furthermore, the negative values of ΔS_a showed that the degree of disorder shifted from the reactants to the activated complex. The following aspect can be observed in Table 2 in which the energetic difference between the enthalpy and activation energy was approximately 2.7 kJ/mol in both the absence and presence of inhibitor in solution; this result indicated that the dissolution of St2 steel, inhibition process and adsorption rate of BrCU in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S were unimolecular in nature.

3.3. Adsorption isotherm and thermodynamics

The inhibition performance of organic molecules depends on their adsorption characteristics on the metal surface. Studying the relation-

ship between inhibition performance and the adsorption process plays a significant role in corrosion investigations. This relationship can be explained by an adsorption isotherm. In the present research work, the Langmuir [Fig. 3a], Frumkin [Fig. 3b] and Temkin [Fig. 3c] isotherms were utilized, and these isotherms are defined in Eqs. (10)–(12). The values of the regressive coefficients (R^2) in Fig. 3 show that the Langmuir isotherms are the best fit.

$$\text{Langmuir: } \frac{C_{\text{inh}}}{\theta_{\text{Grav}}} = \frac{1}{K_{\text{ads}}} + C_{\text{inh}} \quad (10)$$

$$\text{Frumkin: } \frac{\theta_{\text{Grav}}}{1 - \theta_{\text{Grav}}} \exp(-2f\theta_{\text{Grav}}) = K_{\text{ads}}C_{\text{inh}} \quad (11)$$

$$\text{Temkin: } \exp(f\theta_{\text{Grav}}) = K_{\text{ads}}C_{\text{inh}} \quad (12)$$

In the above equations, K_{ads} is the equilibrium constant of the adsorption–desorption processes of inhibition [3].

The values of K_{ads} were estimated from the slope in Fig. 3a. The BrCU inhibitor adsorbed on the St2 surface was related to the Langmuir isotherm. The measured K_{ads} was 505.05 M^{-1} at 303 K, 578.03 M^{-1} at 313 K, 694.44 M^{-1} at 323 K and 854.7 M^{-1} at 333 K (Table 3). The higher K_{ads} values were a sign for the effective adsorption of the BrCU inhibitor, and adsorption was better than desorption on the St2 steel in the 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S . The calculated K_{ads} was utilized to measure the standard free energy of adsorption (ΔG_{ads}^0) according to Eq. (13):

$$\Delta G_{\text{ads}}^0 = -2.303RT \log(55.55K_{\text{ads}}) \quad (13)$$

where 55.55 is the water concentration at mg/L.

As observed, the values of ΔG_{ads}^0 in Table 3 show the strong interaction between the inhibitor and metal surface. The negative values of ΔG_{ads}^0 illustrated that the adsorption of the BrCU inhibitor on the metal surface was spontaneous. It is clear in Table 3 that the values of ΔG_{ads}^0 for the inhibitor are -25.8 kJ/mol at 303 K, -27 kJ/mol at 313 K, -28.35 kJ/mol at 323 K and -29.8 kJ/mol at 333 K. These values confirmed that the adsorption of the BrCU inhibitor on St2 steel was

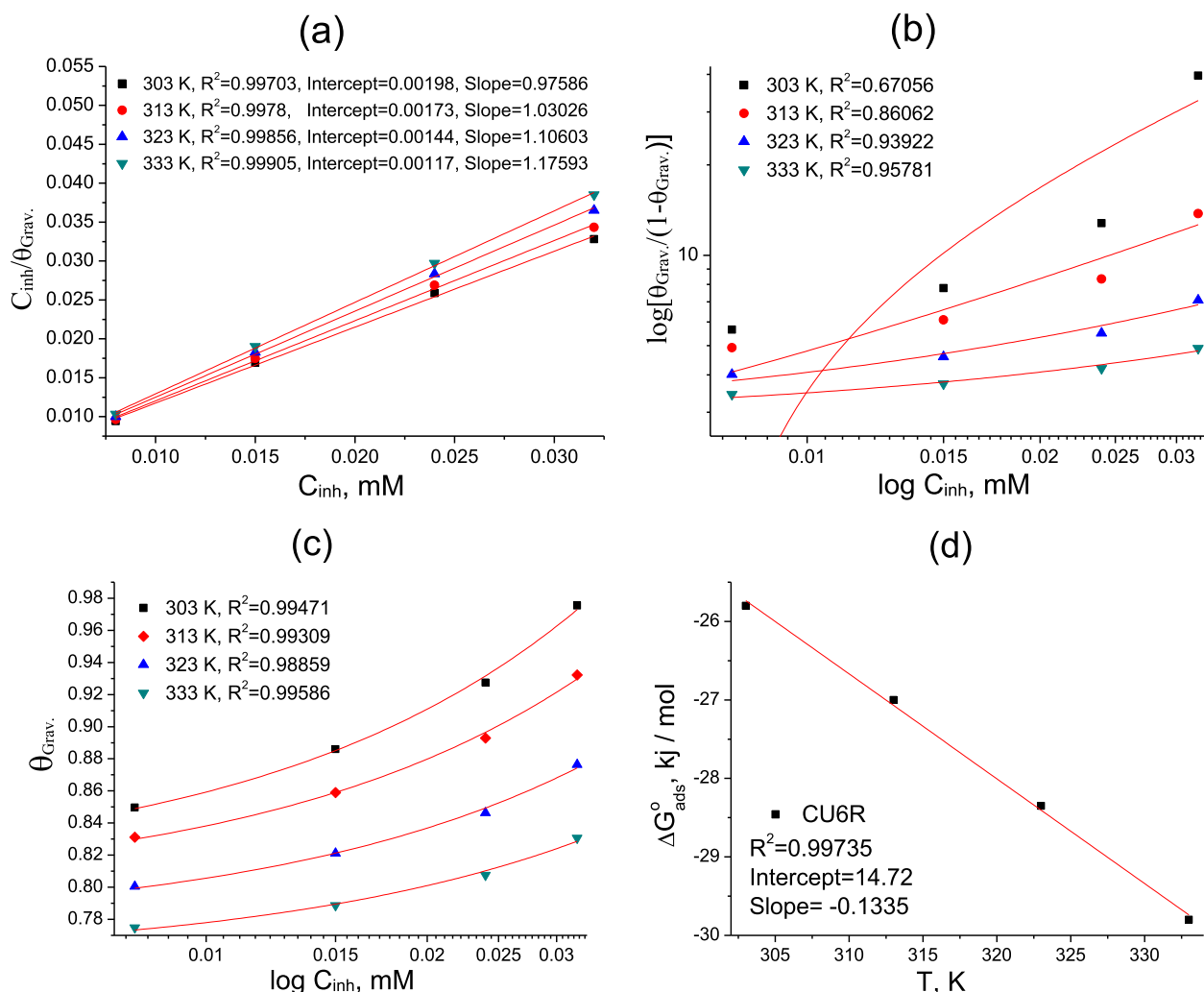


Fig. 3. (a) Langmuir, (b) Frumkin, and (c) Temkin isotherm plots and (d) ΔG_{ads}° versus temperature for BrCU.

Table 3

Adsorption thermodynamic parameters of BrCU.

Temperature, K	K_{ads}, M^{-1}	$\Delta G_{ads}^\circ, kJ/mol$	$\Delta H_{ads}^\circ, kJ/mol$	$\Delta S_{ads}^\circ, J/mol K$
303	505.05	-25.8	14.72	133.5
313	578.03	-27		
323	694.44	-28.35		
333	854.7	-29.8		

mixed-type adsorption. This means that the inhibitor adsorbed on the metal surface by physisorption and chemisorption.

The relationship of the free energy with the changes in the standard enthalpy (ΔH_{ads}°) and standard entropy (ΔS_{ads}°) of adsorption is explained in Eq. (14). The plots of ΔG_{ads}° against T give the following: intercept = ΔH_{ads}° and slope = $-\Delta S_{ads}^\circ$ [5].

$$\Delta G_{ads}^\circ = \Delta H_{ads}^\circ - T\Delta S_{ads}^\circ \quad (14)$$

Next, the obvious fact in the obtained data is that the ΔH_{ads}° was 14.72 kJ/mol, confirming that the adsorption of the BrCU inhibitor on St2 steel was exothermic. In contrast, the value of ΔS_{ads}° was 133.5 J/mol K, suggesting that the adsorption film on the metal surface was more stable in the studied solution. This stable adsorption film was formed on the metal surface by the replacement of the pre-adsorbed water molecules on the metal surface with the inhibitor.

3.4. Electrochemical noise measurements

Fig. 4 demonstrates the plots of electrochemical noise (EN) against time for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S without and with various concentrations of the BrCU inhibitor. The main objective of Fig. 4 is to highlight the information that the corrosive system has high electrochemical noise, and the current and potential noises stabilize at approximately 1.53E-05 A and 2.36E-03 A, respectively. This result confirms that the corrosion between the anode and cathode occurs at a high rate, and St2 steel is easily corroded when in the presence of aggressive ions, such as Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , HS^- and S^{2-} . These ions have high electrochemical noise performance and are attributed to an increase in the EN on the metal surface. Therefore, the St2 steel was seriously corroded in the 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S medium because St2 is a metal with low noise resistance and the cor-

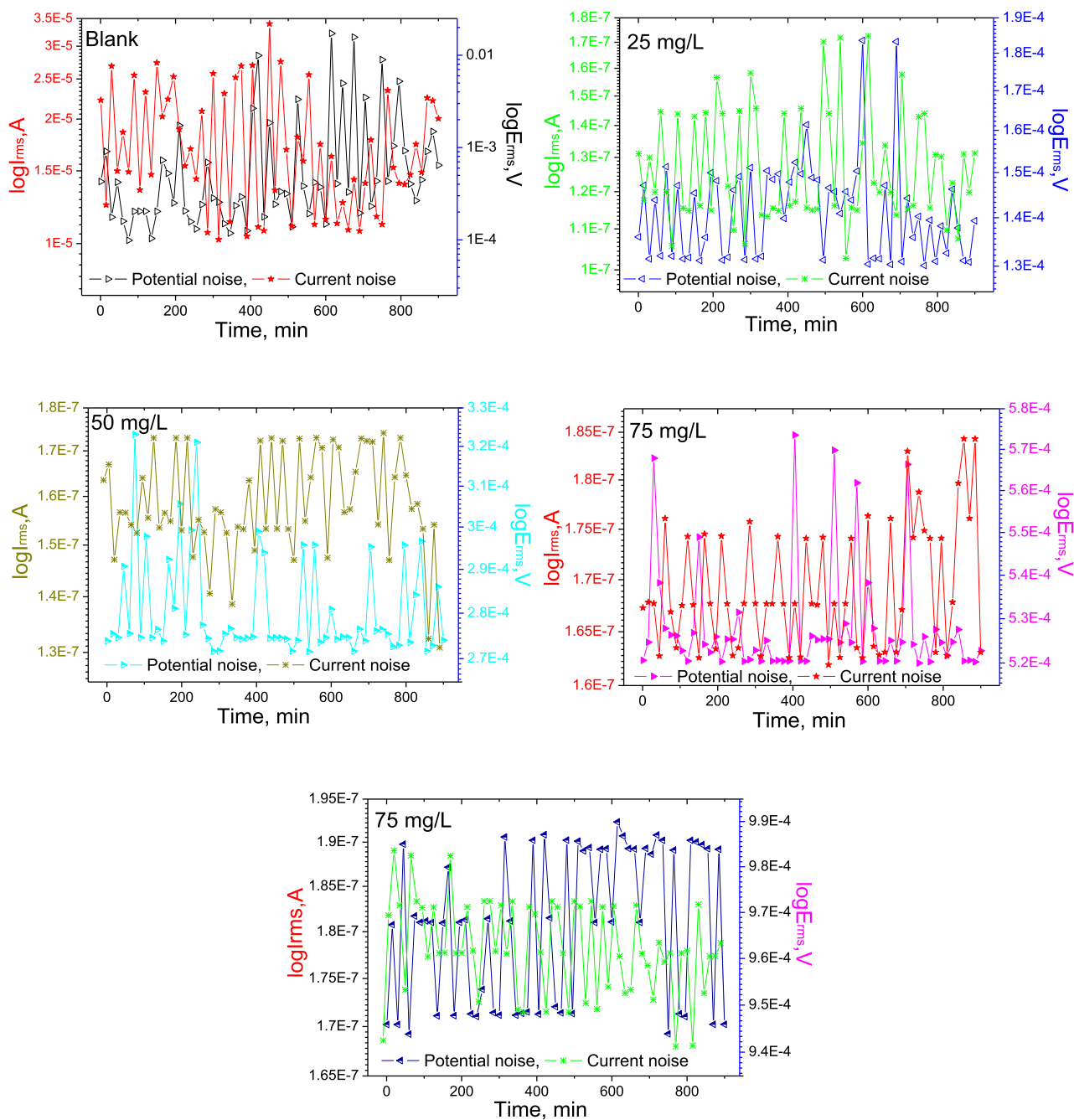


Fig. 4. EN for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S in the absence and presence of the BrCU inhibitor.

rosion medium is very aggressive. The CO₂ and H₂S gases also promoted the acidic corrosion of metal in the corrosion solution.

Compared to the inhibition medium, the EN flow was dramatically decreased in the presence of the BrCU inhibitor. Fig. 4 also shows that the decrease in EN flow depends on the increase in concentration. For example, the current noise oscillated at approximately 1.15E-07 A at 25 mg/L, 1.38E-07 A at 50 mg/L, 1.65E-07 A at 75 mg/L and 1.81E-07 A at 100 mg/L, respectively; the potential noise stabilized at approximately 1.52E-04 V at 25 mg/L, 3.06E-04 V at 50 mg/L, 5.37E-04 V at 75 mg/L and 9.63E-04 V at 100 mg/L, respectively. Cucurbit[6]uril and rotaxane effectively increased the electrochemical noise resistance for corrosive Cl⁻, HCO₃⁻, CO₃⁻², HS⁻ and S⁻² ions on the St2 steel surface. The BrCU inhibitor importantly blocked the electrochemical noise flow between the anode and cathode at the metal/elec-

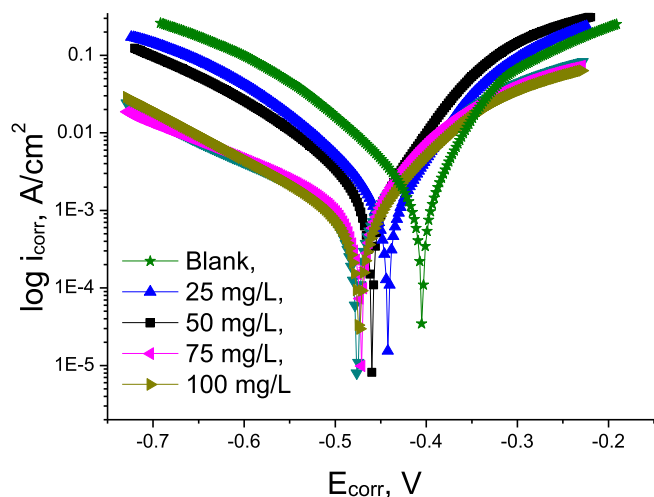
trolyte interface. The abundant electron-donating nitrogen atoms in cucurbit[6]uril and rotaxane were responsible for the high electrochemical noise resistance performance of the BrCU inhibitor for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S. Additionally, the supramolecular rings in the inhibitor can support the inhibition performance of the inhibitor. Therefore, the EN observation confirmed that the selected supramolecular compound is an excellent electrochemical noise resistance agent for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S.

The average values of potential ($\bar{E}_{rms}$) and current ($\bar{I}_{rms}$) noise were calculated from Fig. 4 and were used to estimate the average value of EN resistance ($\bar{R}_{rms}$) from Eq. (15).

$$\bar{R}_{rms} = \frac{\bar{E}_{rms}}{\bar{I}_{rms}} \quad (15)$$

Table 4EN data for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S in the absence and presence of the BrCU inhibitor.

C_{inh} , mg/L	$\bar{E}_{rms}$, V	$\bar{I}_{rms}$, A	$\bar{R}_{rms}$, Ω	IE_{EN} , %	q , C
Blank	2.36E-03	1.53E-05	154.25	–	5.241×10^{-2}
25	1.52E-04	1.15E-07	1321.74	88.33	1.321×10^{-5}
50	3.06E-04	1.38E-07	2217.4	93.04	9.654×10^{-5}
75	5.37E-04	1.65E-07	3254.55	95.26	28.764×10^{-5}
100	9.63E-04	1.81E-07	5320.44	97.1	36.517×10^{-5}

**Fig. 5.** PDP curves for the blank and BrCU at various concentrations in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S.

Overall, Table 4 shows that the average EN resistance was low in the inhibitor-free medium, demonstrating that corrosion processes rapidly occurred on the metal surface. Because the corrosion medium was very aggressive, the corrosive Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , HS^- and S^{2-} ions significantly influenced the metal surface. These corrosive ions were highly reactive and easily reacted with iron on the metal surface; as a result, corrosive salts were produced and deposited on the metal surface. Thus, more hydrogen gas was produced, and iron salts were formed.

In marked contrast, the estimated amount of $\bar{R}_{rms}$ for St2 steel was high in the inhibited 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S. The presence of inhibitor dramatically increased the corrosion resistance of St2 steel in the selected solution. The reason is that the BrCU inhibitor strongly adsorbed on the metal surface and maximally neutralized the corrosive Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , HS^- and S^{2-} ions on the metal surface. Additionally, the inhibitor easily replaced the pre-adsorbed water molecules, effectively insulating the metal surface from the corrosive environment. The value of $\bar{R}_{rms}$ increased with increasing concentration. This is because additional inhibitor molecules adsorbed on the free regions of the metal surface; as a consequence, a large part of the metal was protected by the additional inhibitor molecules. As

shown in Table 4, the EN analysis confirmed that the inhibition efficiency (IE_{EN}) was 88.67% at 25 mg/L, 93.51% at 50 mg/L, 95.67% at 75 mg/L and 97.33% at 100 mg/L. Therefore, the EN tests confirmed that the inhibition efficiency of the BrCU inhibitor for St2 steel was excellent at low concentrations in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S.

The total charge (q) value is equal to the amount of charge transferred from the anode to the cathode on the metal surface. The values of q were estimated from Fig. 4 with Gamry Echem software, and the estimated values are provided in Table 4. It is interesting to note that the value of q was nearly 1000 times higher in the corrosive medium than in the inhibited medium. This result confirmed that considerable amount of charge was transferred from the anode to the cathode on the metal surface; as a consequence, the metal surface was rapidly corroded in the corrosive medium. In contrast, the inhibitor prominently blocked the charge-transfer action on the metal surface in the inhibited medium; as a result, the destructive corrosion on the metal surface was lessened considerably.

3.5. Potentiodynamic polarization (PDP) measurements

The polarization curves of St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S without and with BrCU inhibitor at various concentrations are shown in Fig. 5, and the obtained electrochemical parameters, including the corrosion potential (E_{corr}), corrosion current density (i_{corr}), cathodic and anodic Tafel slopes (β_c and β_a , respectively), and inhibition protection degree (η_{PDP}), are listed in Table 5. Fig. 5 shows that the cathodic and anodic PDP curves are at a more negative potential and lower corrosion current density in the inhibitor-containing 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S than in the inhibitor-free medium. Additionally, compared with the cathodic PDP curves, the anodic PDP curves predominantly shifted to a more negative potential. Table 5 shows that the potential difference between the corrosive and inhibited medium was less than 85 eV. These results confirmed that BrCU was a mixed-type inhibitor with predominantly anodic behaviour. From Table 5, it is noted that the i_{corr} was 13.21 mA/cm² for the blank, and the addition of inhibitor to the corrosive medium notably decreased i_{corr} . When the concentration increased, i_{corr} decreased and η_{PDP} increased. For example, i_{corr} and η_{PDP} were 1.47 mA/cm² and 88.87% at 25 mg/L, respectively. When the concentration was increased from 25 mg/L to 100 mg/L, i_{corr} reached its minimum value (0.26 mA/cm²), and η_{PDP} achieved its maximum value (98.03%). This is due to the adsorption of rigid BrCU, which formed a barrier film on the metal surface that could effectively inhibit corrosion and protect

Table 5PDP parameters of the blank and BrCU at various concentrations in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S.

Parameters	C_{inh} , mg/L				
	Blank	25	50	75	100
i_{corr} , mA/cm ²	13.21	1.47	1.12	0.81	0.26
E_{corr} , mV	–416	–439	–455	–462	–467
β_a , mV/decade	290.3	287.2	219.2	206.5	270.6
$-\beta_c$, mV/decade	243.5	185.6	175.4	108.6	105.3
η_{PDP} , %	–	88.87	91.52	93.87	98.03

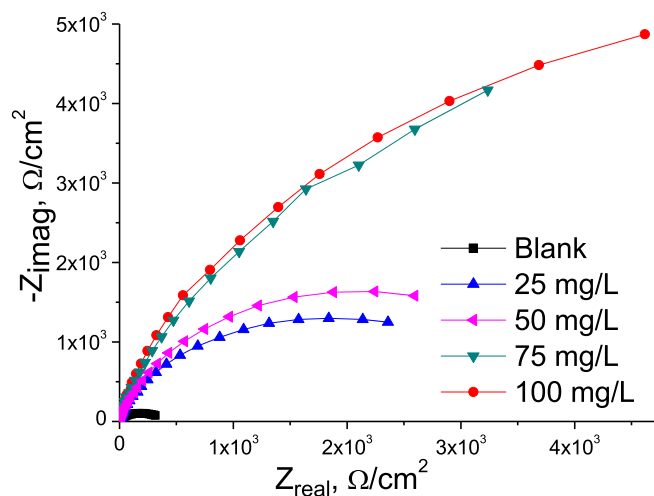


Fig. 6. Nyquist plots for the blank and BrCU inhibitor in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S .

the metal surface from acidic polarization [15]. Table 5 highlights that the values of the β_c and β_a Tafel slopes were significantly changed in the presence of inhibitor. Nevertheless, the values of β_a more than β_c , confirming that the inhibitor favourably influenced the anodic half of the electrochemical reaction. In this case, the electron-rich nitrogen atoms neutralised the iron ions and formed rigid chemical bonds with the steel surface. Simply looking to the curves, the cathodic reaction seems much more inhibited than the anodic one. For a certain potential the cathodic current in a uninhibited solution is always higher (drifted to the right) than the ones for the inhibited solutions, whereas in the anodic curves for the blank solution currents are lower than the ones for inhibited solution, at not very high potentials (but sufficiently distant from corrosion potential so as to minimize the influence of cathodic reactions). Only for much higher potentials do the inhibited solutions reduce their anodic currents to values lower than those of the blank solution. Therefore, the inhibitor should be classified as mainly cathodic. It was found that the corrosion rate is high in the electrochemical research than that in the gravimetric experiments. This is due to the polarization was high in the electrochemical tests, consequently, the electrode was highly polarized and corrosion rate was increased. In the fact, both experiments confirmed that the corrosion rate was importantly decreased with the presence of studied inhibitor.

3.6. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) measurements

The kinetics of the electrochemical processes of corrosion and inhibition on the metal surface were investigated by EIS. The Nyquist plots for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S in the absence and presence of the BrCU inhibitor at various concentrations are shown in Fig. 6. The Nyquist plots were single-depressed capacitance loops, and all impedance spectra were similar in shape to the centre below the real X-axis. These observations confirmed that the corrosion and inhibition processes required the charge transfer mechanism and that the inhibitor provided protection without changing the corrosion mechanism. This means that the inhibitor did not influence the corrosion mechanism, but the inhibitor effectively reduced the occurrence of destructive corrosion. It should be emphasized that the radius of the impedance spectra increased with increasing concentration because the presence of many inhibitor molecules was responsible for the large charge transfer resistance. The depressed impedance plots represented frequency dispersion because of the surface roughness and inhomogeneity of the electrode surface. It is important to note that the impedance plots were displayed at low frequency in the inhibitor-free medium and at high frequency in the inhibitor-containing medium, indicating that mass transfer and electron exchange on the metal surface were blocked by the presence of inhibitor [39].

Bode and phase angle plots for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S in the absence and presence of the BrCU inhibitor at various concentrations were found by EIS, and the obtained plots are displayed in Fig. 7a and 7b, respectively. Notably, the observed Bode plots (Fig. 7a) had one time constant with the single maximum at the intermediate frequency. This was attributed to the relaxation processes that appeared only during charge transfer on the metal surface. It has also been reported that the Bode plots were not equal to -1 , which is due to the frequency dispersion of the interfacial impedance. The diameters of the Bode plots increased when the inhibitor was added to the corresponding corrosion medium, confirming that the inhibitor significantly impacted the charge exchange between the anode and cathode. Fig. 7b shows that the minimum phase angle was -65° in the inhibitor-free medium. When the inhibitor was added to the corresponding medium, the phase angle increased. For example, the minimum phase angle was 77° at 25 mg/L, 78° at 50 mg/L, 82° at 75 mg/L and 86° at 100 mg/L. These findings revealed that the smoother degree of the working electrode was enhanced in the presence of inhibitor.

Fig. 8a and Fig. 8b show the equivalent circuit models for the corrosive and inhibited medium, which were made to fit the EIS data. These models consists of the solution resistance (R_s), the charge trans-

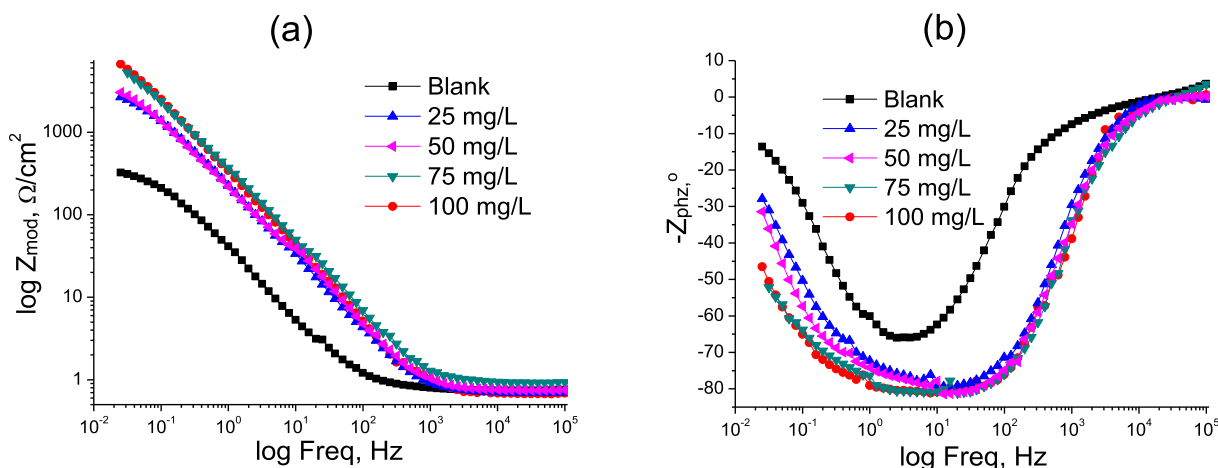


Fig. 7. (a) Bode and (b) phase angle plots for the blank and BrCU inhibitor in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S .

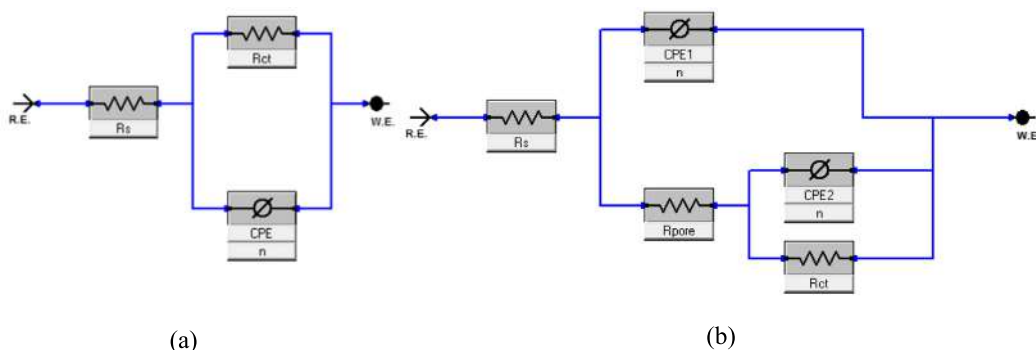


Fig. 8. Equivalent circuit model (a) without inhibitor and (b) with inhibitor.

fer resistance (R_{ct}), the resistance of micropores in the surface film (R_{pore}), the constant phase element (CPE) and the polarization resistance ($R_p = R_{ct} + R_{pore}$). The CPE shows surface endogeneity; the CPE value was high because of the surface roughness, fractality of grain boundaries, distribution of active sites, impurities and dislocations. There were two CPE types, namely, CPE1 and CPE2. The capacitance of the film formed on the metal surface was described with CPE1, and the double layer capacitance at the interface between the metal surface and solution electrolyte in the film pores was indicated with CPE2. Eq. (16) shows the CPE impedance (Z_{CPE}).

$$Z_{CPE} = Y_0^{-1} (i\omega)^{-n} \quad (16)$$

In the above equation, Y_0 is the CPE constant; i signifies the imaginary number and is equal to the square root of -1 ($i^2 = -1$ is regarded as the imaginary axis); $\omega = 2\pi f$ (ω is the angular frequency in rad^{-1} , and f is the AC frequency); and n is the phase shift, which is equal to 1, 0, -1 and $1/2$ and represents the pure capacitive, resistance, inductive and Warburg impedance, respectively [40,41].

Eq. (17) was employed to measure the values of double layer capacitance (C_{dl}) using the maximum frequency (ω_{max}), which shows the frequency at which the imaginary part of the impedance is at its maximum (rad^{-1}). The values of χ^2 (chi-square) were calculated according to Eq. (18), and its values show an accurate degree of EIS fitting. The measured values of χ^2 are listed in Table 6.

$$C_{dl} = (\omega_{max})^{1/n} \quad (17)$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(Z'_i(\omega_i, \vec{P}) - a_i)^2}{a_i^2 + b_i^2} + \frac{(Z''_i(\omega_i, \vec{P}) - b_i)^2}{a_i^2 + b_i^2} \right] \quad (18)$$

In the above equation, $\vec{P}$ is a factor linked with the proposed model, Z'_i and Z''_i are measured data points, and a_i , b_i , ω_i are experimental data points [42].

As shown in Table 6, the R_s and R_{ct} values were $0.484 \Omega/\text{cm}^2$ and $268.47 \Omega/\text{cm}^2$ in the corrosive medium, respectively. These values of R_s and R_{ct} increased in the presence of inhibitor. Additionally, the values of R_s , R_{pore} and R_{ct} increased with increasing inhibitor concentration. These results confirmed that the resistance for charge transfer was increased and the solution conductivity of the environment was reduced in the presence of inhibitor molecules. This was due to the inhibitor-formed protective film on the metal surface effectively insulating the metal from corrosive ions. It is remarkable that the value of C_{dl} was $1421.81 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ in the inhibitor-free medium, while the value of C_{dl} decreased in the presence of inhibitor. The minimum C_{dl} was $78.24 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ at 100 mg/L , indicating that the dielectric constant (ϵ) decreased and the thickness of the double layer (d) increased due to the presence of inhibitor, as shown in Eq. (19).

$$C_{dl} = \frac{\epsilon \epsilon^0}{d} A \quad (19)$$

In the above equation, A is the diameter of the surface area and ϵ^0 is the dielectric constant in vacuum [43].

According to the data shown in Table 6, the values of Y_0 decreased in the presence of inhibitor, confirming that the inhibitor molecule easily replaced the pre-adsorbed water molecules on the metal surface; as a result, the contact regions between the metal surface and solution decreased and the metal surface was effectively insulated in the presence of inhibitor. The obtained n values showed that the studied metal surface had a non-ideal capacitive nature because of the micro-districts on the surface and the unevenness of the electrode. Another distinguishable feature in Table 6 is that the values of χ^2 were very low ($< 1 \times 10^{-3}$) in all cases, suggesting the high validity of the equivalent circuit model in this study. Finally, the maximum inhibition effectiveness of the BrCU inhibitor was 98.16% at 100 mg/L for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S .

3.7. Electrochemical frequency modulation measurement

The electrochemical frequency modulation (EFM) method is non-destructive, making it a sensible test. Small signals of 2 sine waves (at different frequencies) were produced and simultaneously applied to the electrochemical cell. EFM data were applied to estimate the values of the cathodic and anodic electrochemical kinetics parameters. Fig. 9 shows the EFM intermodulation spectra for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S in the absence and presence of the BrCU inhibitor at various concentrations (25, 50, 75 and 100 mg/L). The obtained intermodulation spectra demonstrated the relationship between the current flow and a change in frequency. Investigating this relationship is a main aspect of the EFM method to examine the electrochemical kinetics of anodic and cathodic corrosion or inhibition processes. As shown in Fig. 9, the EFM intermodulation spectra fluctuated at approximately $1\text{E}-6.6 \log A$ in the inhibitor-free medium, confirming that the current flow between the cathode and anode was high. The presence of Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , HS^- and S^{2-} ions in the corrosion medium was attributed to the increase in destructive corrosion of the metal working electrode. These ions became more active on the metal surface and promoted corrosion as current flowed from the anode to the cathode. In contrast to the inhibited medium, the EFM intermodulation spectra stabilized at approximately $1\text{E}-7.9 \log A$ at 25 mg/L , $1\text{E}-8.2 \log A$ at 50 mg/L , $1\text{E}-8.5 \log A$ at 75 mg/L and $1\text{E}-9.1 \log A$ at 100 mg/L . These EFM data confirmed that the presence of inhibitor notably diminished the current flow on the metal surface. The BrCU inhibitor has many electron-rich nitrogen atoms and host tails. The nitrogen atoms neutralized the metal surface, and the host tails supported the insulation of metal from the corrosion solution. The inhibitor formed a double-layer protective film on the metal sur-

Table 6
EIS parameters for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S in the absence and presence of different concentrations of the BrCU inhibitor.

C_{inh} , mg/L	R_s , Ω/cm^2	CPE_1		n	R_{pore} , Ω/cm^2	CPE_2		n	R_{ct} , Ω/cm^2	C_{dl} , $\mu\text{F}/\text{cm}^2$	η_{EIS} , %	χ^2
		Y_{01} , $\text{S}\cdot\text{s}^n/\text{cm}^2$					Y_{02} , $\text{S}\cdot\text{s}^n/\text{cm}^2$					
Blank	$0.484 \pm 2.65 \times 10^{-3}$	5.28×10^{-3}	$\pm 28.51 \times 10^{-6}$	$0.859 \pm 1.98 \times 10^{-3}$	—	—	—	—	268.47 ± 4.61	1421.81	—	1.79×10^{-3}
25	$0.678 \pm 3.86 \times 10^{-3}$	0.832×10^{-3}	$\pm 4.51 \times 10^{-6}$	$0.887 \pm 1.41 \times 10^{-3}$	478.94 ± 8.64	0.887×10^{-3}	$\pm 5.21 \times 10^{-6}$	$0.887 \pm 1.14 \times 10^{-3}$	2251.7 ± 3.61	321.65	88.07	1.51×10^{-3}
50	$0.784 \pm 4.15 \times 10^{-3}$	0.861×10^{-3}	$\pm 4.65 \times 10^{-6}$	$0.865 \pm 1.32 \times 10^{-3}$	897.81 ± 12.64	0.831×10^{-3}	$\pm 4.07 \times 10^{-6}$	$0.894 \pm 1.31 \times 10^{-3}$	4546.3 ± 78.63	211.04	94.09	1.76×10^{-3}
75	$0.883 \pm 4.61 \times 10^{-3}$	0.763×10^{-3}	$\pm 5.53 \times 10^{-6}$	$0.891 \pm 1.02 \times 10^{-3}$	1405.63 ± 25.61	0.765×10^{-3}	$\pm 4.56 \times 10^{-6}$	$0.904 \pm 1.09 \times 10^{-3}$	7778.4 ± 83.65	113.51	96.54	2.56×10^{-3}
100	$0.896 \pm 4.16 \times 10^{-3}$	0.675×10^{-3}	$\pm 4.56 \times 10^{-6}$	$0.896 \pm 1.08 \times 10^{-3}$	2214.64 ± 28.54	0.686×10^{-3}	$\pm 4.14 \times 10^{-6}$	$0.907 \pm 1.32 \times 10^{-3}$	14651 ± 111.5	78.24	98.16	2.33×10^{-3}

face. The first layer was the inhibitor-formed complex with iron ions on the metal surface, and the second layer was the supramolecular tails of the inhibitor, which could effectively insulate the metal surface from the corrosion environment. The supramolecular tails also supported the adsorption performance of the inhibitor. This tail was a cucurbit[n]uril cycle, which contains many nitrogen atoms. Therefore, the achieved EFM data demonstrated that the corrosion of St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S significantly decreased with the addition of the BrCU inhibitor; the impact of this supramolecular inhibitor on the corrosion of St2 steel was high and increased the inhibition efficiency.

Table 7 shows the corrosion current (I_{corr}), corrosion rate (CR_{EFM}), β_C , β_A , inhibition efficiency (IE_{EFM}), CF-2 and CF-3 values for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S in the absence and presence of the BrCU inhibitor. In the next part of the EFM tests, the intermodulation peak currents in Fig. 9 were used to measure the kinetic parameters for the inhibitor-free and inhibitor-containing 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S. Causality factors (CF-2) and (CF-3) were predicted to identify the accuracy of the resulting EFM data.

As can be observed in Table 7, the I_{corr} and CR_{EFM} for St2 steel were 898.62 μA and 432.71 mpy in the uninhibited medium, respectively, and these amounts confirmed a high level of corrosion. In comparison, I_{corr} and CR_{EFM} were low in the inhibited medium, indicating that the selected supramolecular inhibitor importantly blocked the corrosion processes on the metal surface. The values of the corrosion current and rate decreased with increasing concentration. For example, I_{corr} and CR_{EFM} were 112.61 μA and 132.84 mpy at 25 mg/L, respectively, and 16.52 μA and 53.21 mpy at 100 mg/L, respectively. Table 7 shows that the values of β_C and β_A are lower in the inhibitor-containing solution than in the inhibitor-free solution. This result shows that the BrCU inhibitor considerably blocked the anodic and cathodic destruction of metal coupons in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S, namely, the BrCU inhibitor formed an electrochemical obstacle for the anodic and cathodic electrochemical half reactions on the metal surface by forming a protective thin film. Additionally, the protective layer on the metal surface was an obstacle for anodic and cathodic corrosion because it can effectively insulate the metal surface from corrosive ions (Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , HS^- and S^{2-}). Therefore, this supramolecular compound is an excellent insulator for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S. The following aspect from the observed EFM data is that the IE_{EFM} for the BrCU inhibitor was 87.47% at 25 mg/L, 91.58% at 50 mg/L, 94.28% at 75 mg/L and 98.16% at 100 mg/L. These values are attributed to the formation of an excellent protective layer on the metal surface. Therefore, the inhibition performance of BrCU was excellent for St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S. Finally, the values of CF-2 and CF-3 were close to their theoretical values of 2 and 3, establishing that the accuracy of the achieved EFM data was excellent. Table 7 shows that the values of CF-2 and CF-3 are near 2 and 3, respectively, indicating that the reliability of the EFM experiment is excellent.

3.8. SEM-EDX analysis

The surface morphology of St2 steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S in the absence and presence of the BrCU inhibitor after immersion is described in Fig. 10a, b. As shown in Fig. 10a, the steel surface was seriously cracked, destroyed and breached. Corrosive products were deposited on the metal surface, confirming that 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S was an aggressive environment for St2 steel. These corrosion deposits included oxides, salts and hydroxides. In contrast, the surface morphology of the metal was significantly improved, as shown in Fig. 10b. This is due to the BrCU inhibitor effectively forming a protective thin film on the metal surface. Consequently, the destructive corrosion of the metal surface was notably reduced.

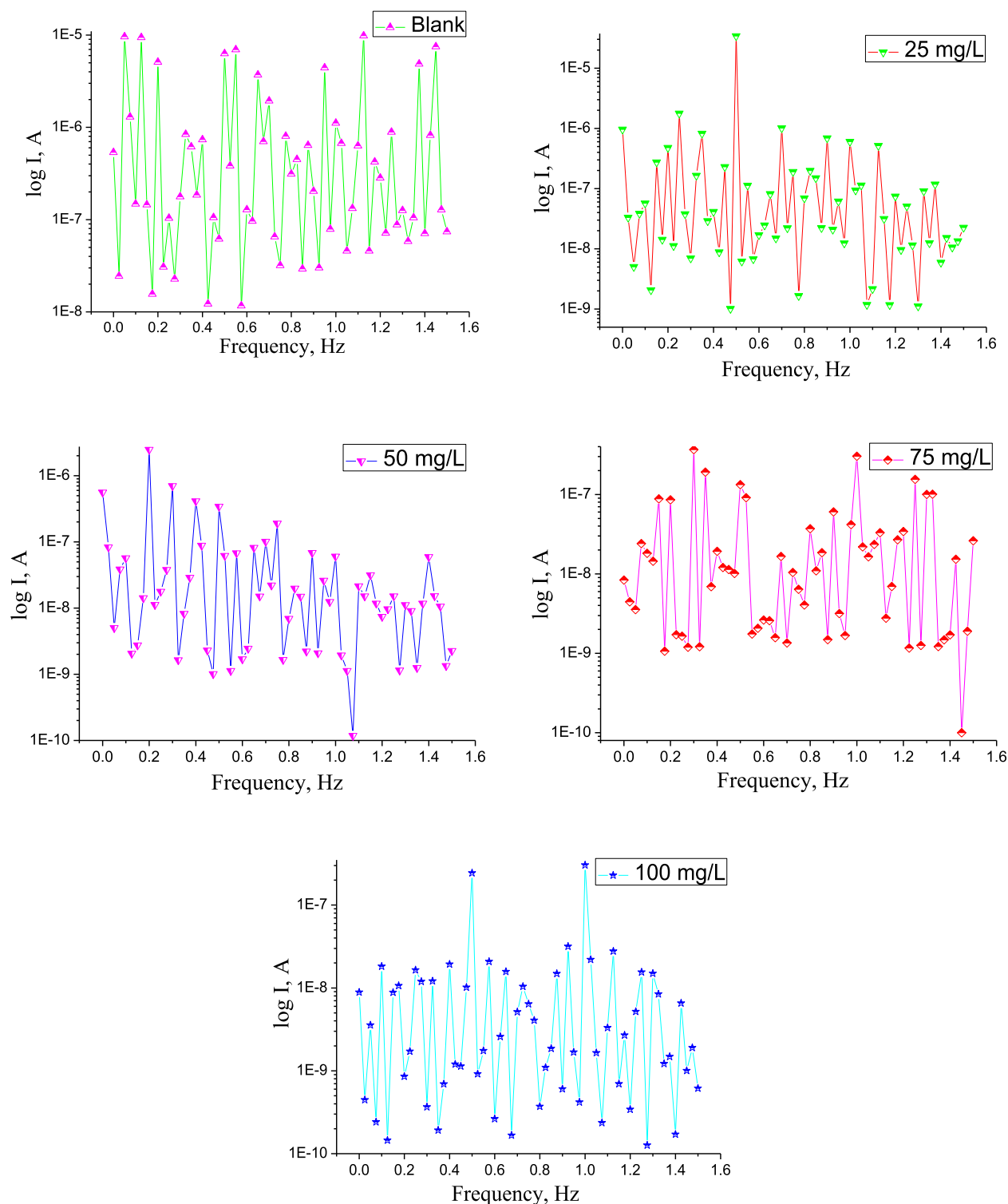


Fig. 9. EFM intermodulation spectra for the blank and BrCU inhibitor in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S .

Table 7

EFM data for the blank and BrCU inhibitor at various concentrations in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S .

C_{inh} , mg/L	I_{corr} , μA	CR_{EFM} , mpy	β_A , mV/decade	$-\beta_C$, mV/decade	IE_{EFM} , %	CF-2	CF-3
Blank	898.62	432.71	261.32	376.34	–	1.98	2.98
25	112.61	132.84	185.62	254.32	87.47	1.99	2.99
50	75.64	116.87	162.23	231.64	91.58	2.03	3.01
75	51.32	78.64	112.71	207.61	94.28	2.01	3.02
100	16.52	53.21	74.61	176.84	98.16	1.98	2.97

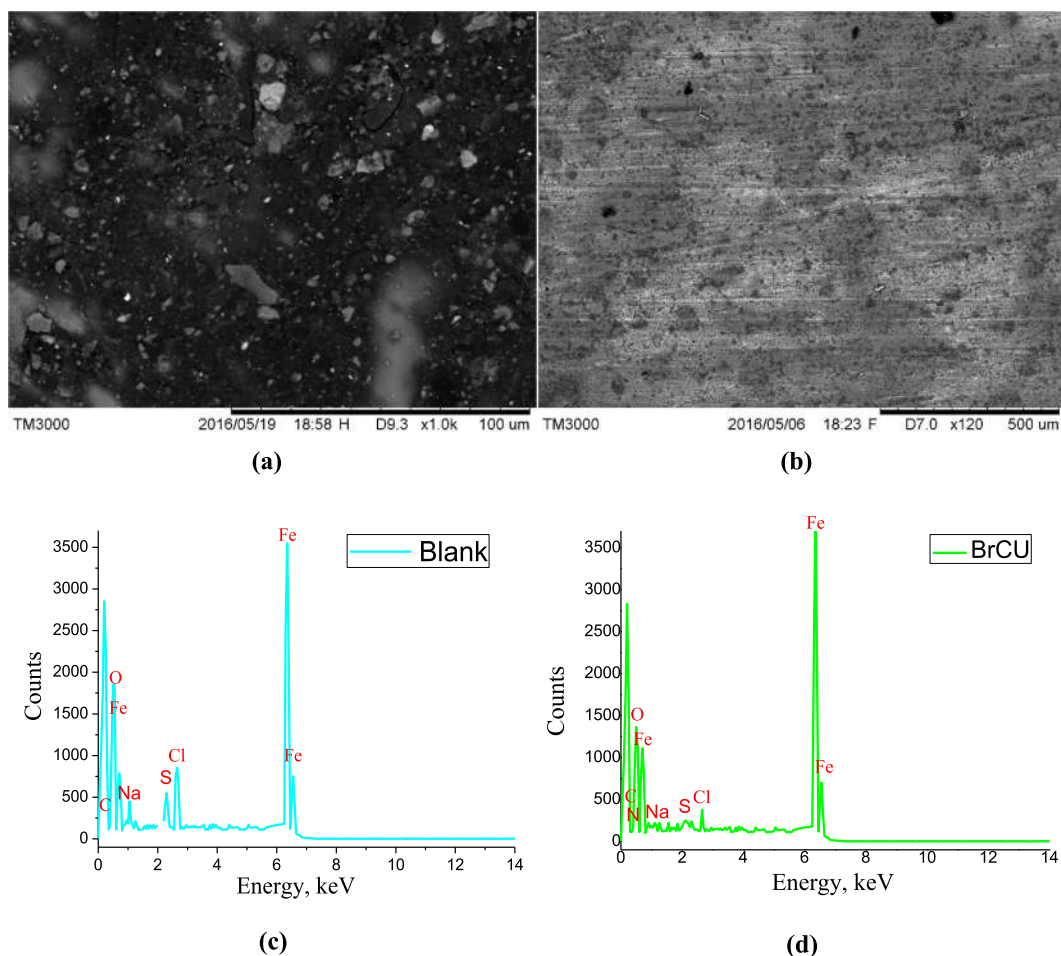


Fig. 10. SEM micrographs for the (a) blank and (b) BrCU inhibitor. EDX spectra for the (c) blank and (d) BrCU inhibitor in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S .

Next, the EDX spectra were obtained to investigate the elementary composition of the corrosion product; the obtained data are shown in Fig. 10c, d. It is clearly evident that there were mainly Fe, Cl, O, S and Na signals on the metal surface. The O, Cl and S signals were higher in the inhibitor-free medium, confirming that the metal surface was seriously damaged (Fig. 10c) in 1 M NaCl saturated with CO_2 and H_2S . The Fe signal was lower for the blank (without inhibitor), which makes sense because this decrease indicated metal dissolution. In comparison, the O, Cl and S signals were reduced (Fig. 10d) in the inhibitor-containing solution, indicating that the inhibitor blocked the adsorption of NaCl, CO_2 and H_2S , as well as metal oxidation. Fig. 10d also shows the appearance of N and C signals, suggesting that the nitrogen atoms linked with the metal surface formed N-Fe bonds.

3.9. Quantum chemical analysis

3.9.1. Optimization of BrCU

BrCU was optimized before performing quantum chemical calculations. Fig. 11 shows the atomistic model of the BrCU structure. The purple, blue, orange and red balls represent carbon, hydrogen, nitrogen and oxygen atoms, respectively. The arrow shows the dipole moment of the molecules. The $-\text{COOH}$, Br^- , N^+ and benzoyl rings make BrCU a more planar structure. The large planar structure of BrCU is responsible for its enhanced inhibition efficiency. Furthermore, the large planar structure makes BrCU soluble. Because the corrosion medium was more polar, BrCU was effectively polarized due to the more polar molecules in solution. The lengths and angles of the chemical

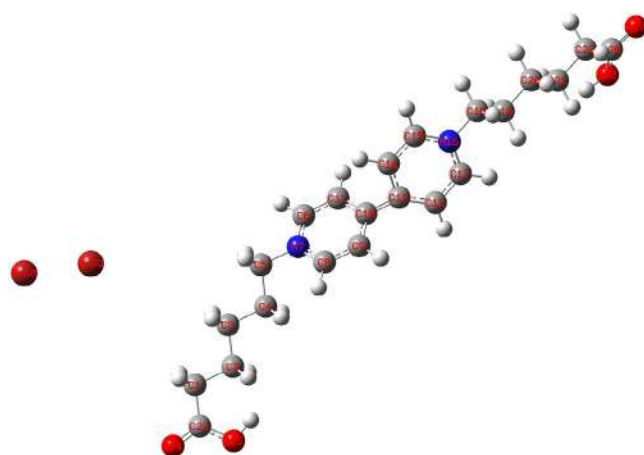


Fig. 11. Atomistic model of the BrCU structure. The grey, grey-white, blue, red and dark-red balls represent carbon, hydrogen, nitrogen, oxygen and bromine, respectively. The arrow shows the dipole moment of the molecules. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

bonds of the polarized structure increased with an increasing polarization effect on the structure of BrCU. The p- and π -electron pairs of the polarized structure were easily exchanged between the corrosion inhibitor and metal surface.

3.9.2. Frontier molecular orbitals of BrCU

The electrons of BrCU were distributed around the LUMO and HOMO orbitals. This distribution was described with the frontier molecular orbital method. The electron distributions in the LUMO and HOMO orbitals of optimized BrCU are shown in Fig. 12. The HOMO regions of BrCU were observed around the bromide atoms, and these regions were responsible for enhancing the inhibition performance. The HOMO regions were more electron-rich regions and were responsible for the electron-donor behaviour of BrCU, meaning that the free electrons were shared with the vacant d-orbitals of iron; as a result, covalent bonds were formed between the inhibitor and metal surface [48]. In addition, BrCU was protonated through the HOMO region; as a consequence, BrCU was positively charged and neutralized the negatively charged metal surface. As indicated, the LUMO regions were positioned around the two benzoyl rings and two nitrogen atoms. The d-electrons in the full d-orbitals of iron were re-transferred to the LUMO regions of the BrCU corrosion inhibitor. Therefore, the LUMO regions also supported the adsorption behaviour of BrCU.

3.9.3. Molecular electrostatic potentials of BrCU

The molecular electrostatic potential (MEP) of BrCU was found, and the obtained MEP is shown in Fig. 13. The MEP describes the most electrophilic and nucleophilic attack positions in the optimized structure. The positions of nucleophilic and electrophilic reactivity of BrCU are shown in red and light red, respectively. The MEP analysis results

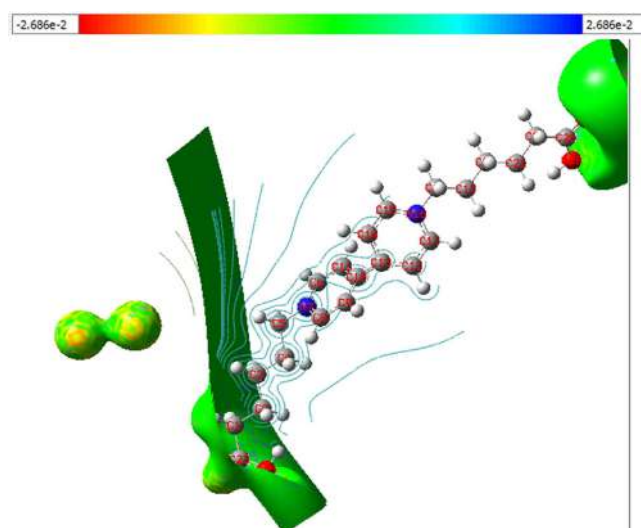


Fig. 13. MEP of the molecule, visualized with wxmacmolplt software [37].

confirmed that BrCU was a more nucleophilic molecule. The inhibition performance of BrCU was enhanced at the nucleophilic attack positions.

3.9.4. Reactivity properties of BrCU

The values of the reactive parameters for BrCU were calculated, and the obtained results are summarized in Table 8. The energy gap between the HOMO ($E_{HOMO(Inh)}^{DFT}$) [12] and LUMO ($E_{LUMO(Inh)}^{DFT}$) [14] of BrCU was calculated to calculate the reactivity properties of BrCU. Eqs. (20)–(34) were used to calculate the amounts of reactive characteristics such as the nucleophilicity (ϵ_{inh}^{DFT}) [16], electrophilicity index (ω_{inh}^{DFT}), electronic chemical potential (μ_{inh}^{DFT}) [20], electron affinity (A_{inh}^{DFT}) [27], molecular ionization potential (I_{inh}^{DFT}) [28], chemical hardness (η_{inh}^{DFT}) [29], chemical softness (σ_{inh}^{DFT}) [30], electronic negativity (χ_{inh}^{DFT}) [33], electrodonating power ($\omega(+)^{DFT}_{inh}$), electroaccepting power ($\omega(-)^{DFT}_{inh}$), α -polarizability (α_{inh}^{DFT}), β -polarizability (β_{inh}^{DFT}), γ -polarizability (γ_{inh}^{DFT}), fraction of electron transfer from the inhibitor molecule

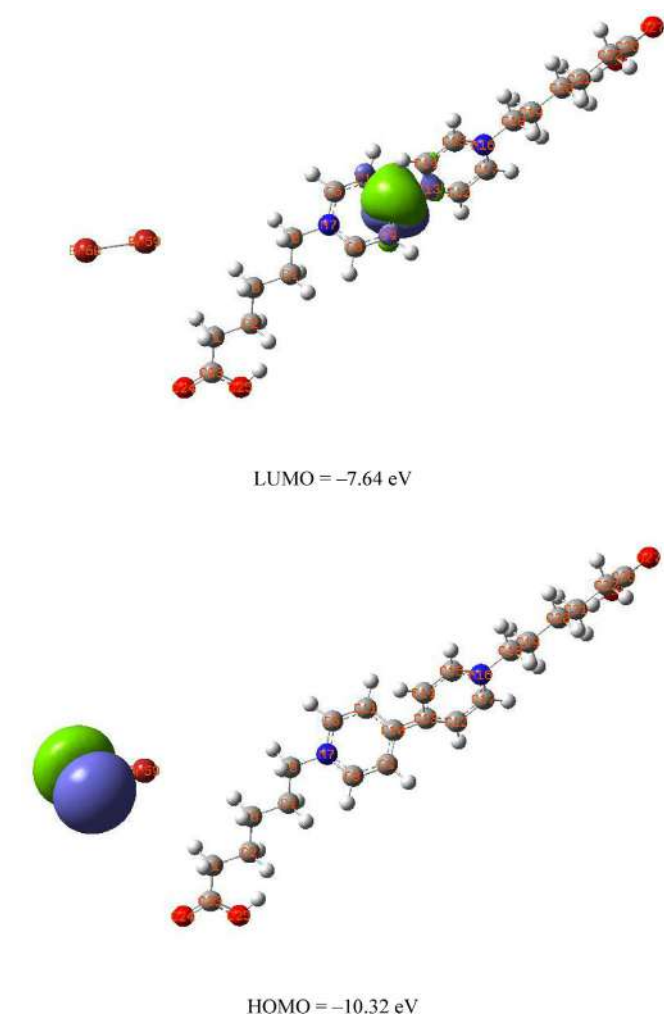


Fig. 12. Frontier orbitals of the molecule: HOMO (bottom) and LUMO (top).

Table 8

Theoretical parameter values of the BrCU inhibitor.

Parameter	Parameter value in eV
$E_{HOMO(Inh)}^{DFT}$	-7.64
$E_{LUMO(Inh)}^{DFT}$	-10.32
ΔE_{inh}^{DFT}	2.68
I_{inh}^{DFT}	10.32
A_{inh}^{DFT}	7.64
μ_{inh}^{DFT}	-8.98
χ_{inh}^{DFT}	8.98
η_{inh}^{DFT}	1.34
σ_{inh}^{DFT}	0.74
ω_{inh}^{DFT}	30.08
$\omega(+)^{DFT}_{inh}$	55×10^3
$\omega(-)^{DFT}_{inh}$	503×10^3
α_{inh}^{DFT}	343.67
β_{inh}^{DFT}	-405
γ_{inh}^{DFT}	4.3×10^5
ϵ_{inh}^{DFT}	0.11
ΔN_{inh}^{DFT}	-0.74
$\Delta \psi_{inh}^{DFT}$	-0.37
Dipole moment, Debye	71.15

to the metal surface (ΔN_{inh}^{DFT}) (related to Koopmans's theory) and metal-inhibitor interaction energy ($\Delta\psi_{inh}^{DFT}$) [14,16,44].

$$\Delta E_{inh}^{DFT} = E_{LUMO(inh)}^{DFT} - E_{HOMO(inh)}^{DFT} \quad (20)$$

$$I_{inh}^{DFT} = -E_{HOMO(inh)}^{DFT} \quad (21)$$

$$A_{inh}^{DFT} = -E_{LUMO(inh)}^{DFT} \quad (22)$$

$$\eta_{inh}^{DFT} = \frac{1}{2}(I_{inh}^{DFT} - A_{inh}^{DFT}) \quad (23)$$

$$\sigma_{inh}^{DFT} = \frac{1}{\eta} \quad (24)$$

$$\varepsilon_{inh}^{DFT} = \frac{1}{\omega_{inh}^{DFT}} \quad (25)$$

$$\chi_{inh}^{DFT} = -\mu_{inh}^{DFT} = \frac{1}{2}(I_{inh}^{DFT} + A_{inh}^{DFT}) \quad (26)$$

$$\omega_{inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{inh}^{DFT})^2}{2I_{inh}^{DFT}} \quad (27)$$

$$\omega(+)^{DFT}_{inh} = (I_{inh}^{DFT} \times 3A_{inh}^{DFT})^2 + (16(I_{inh}^{DFT} - A_{inh}^{DFT})) \quad (28)$$

$$\omega(-)^{DFT}_{inh} = (3I_{inh}^{DFT} \times 3A_{inh}^{DFT})^2 + (16(I_{inh}^{DFT} - A_{inh}^{DFT})) \quad (29)$$

$$<\alpha_{inh}^{DFT}> = 1/3[\alpha_{xx} + \alpha_{yy} + \alpha_{zz}] \quad (30)$$

$$<\beta_{inh}^{DFT}> = 1/3[\beta_{xxx} + \beta_{yyy} + \beta_{zzz}] \quad (31)$$

$$<\gamma_{inh}^{DFT}> = 1/3[\gamma_{xxxx} + \gamma_{yyyy} + \gamma_{zzzz}] \quad (32)$$

$$\Delta N_{inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Fe} - \chi_{inh}^{DFT})}{2(\eta_{Fe} + \eta_{inh}^{DFT})} \quad (33)$$

$$\Delta\psi_{inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Fe} - \chi_{inh}^{DFT})}{4(\eta_{Fe} + \eta_{inh}^{DFT})} \quad (34)$$

In the above equations, η_{Fe} is 0 eV/mol and χ_{Fe} is 7 eV/mol [15,18,21].

It should be emphasized in Table 8 that the value of ΔE_{inh}^{DFT} is responsible for the more reactive and polar behaviour of BrCU. The electroaccepting power, electrodonating power, electrophilicity index, electronic chemical potential, electronic negativity, electron affinity, molecular ionization potential, chemical hardness, chemical softness, α -polarizability, β -polarizability, γ -polarizability, nucleophilicity, fraction of electron transfer from the inhibitor molecule to the metal surface (related to Koopmans's theory) and metal-inhibitor interaction energy values showed that BrCU was an efficient corrosion inhibitor. It was also found that BrCU had a low chemical hardness and high softness, showing that the re-transfer of electrons between the inhibitor and metal surface easily occurred. Table 1S describes the polarizabilities of the BrCU molecule (the dipole moment in Debye and the electric field in Hartree/e²Bohr), indicating that BrCU was a more polar molecule and was highly soluble in the corrosive solution.

3.9.5. Fukui indices of BrCU

The next part of the quantum chemical calculation was the Fukui analysis. The obtained values of the Fukui indices are summarized in Table 2S. Fukui analysis can describe the most favourable local molecular reactive regions of BrCU. The most nucleophilic (f_k^+ high), electrophilic (f_k^+ high) and neutral (f_k^0 high) attack sites on the BrCU

molecule are represented in Table 2S. Mulliken population analysis (MPA) was performed to calculate the Fukui indices (f_k^+ , f_k^- , f_k^0) of the BrCU (Eqs. (35)–(37)). The Fukui functions were calculated as $f_k^+ = D(\text{neutral molecule}) - D(\text{cation})$ and $f_k^- = D(\text{anion}) - D(\text{neutral molecule})$; $f_k^0 = (D(\text{anion}) - D(\text{cation}))/2$, where D (a.u.) was the total electron density of each nucleus [39,40].

$$f_k^+ = P_k(N+1) - P_k(N) \quad (35)$$

$$f_k^- = P_k(N) - P_k(N-1) \quad (36)$$

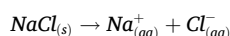
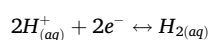
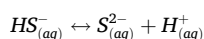
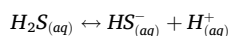
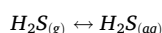
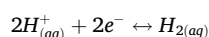
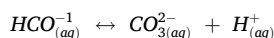
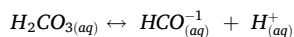
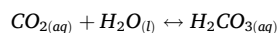
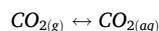
$$f_k^0 = P_k(N+1) - P_k(N-1) \quad (37)$$

In the above equations, $P_k(N+1)$, $P_k(N)$ and $P_k(N-1)$ are the anionic, neutral and cationic molecules, respectively.

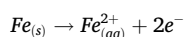
It should be stressed that the higher values of f_k^+ for the atoms in BrCU made them the adsorption centres, which were mainly responsible for the adsorption of inhibitor molecules on the metal surface. On the other hand, the highly positive Fukui value f_k^- indicated electron-donating regions, which were located towards the benzoyl rings, nitrogen atoms and carboxyl functional groups of BrCU.

3.10. Corrosion and inhibition mechanism

The corrosion mechanism on the steel surface in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S was a complex phenomenon. CO₂ and H₂S formed a more acidic medium at approximately pH = 4.7–4.8. Hydrogen cations were formed at the cathodic sites [45,46]. The corrosion reactions are as follows [1,2]:



It is to note that H⁺ ions are formed in the bulk solution. Inversely, they are reduced on cathodic sites and for that they must migrate from the bulk. The result is that at cathodic sites pH increases (1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S) [3,4]. As a consequence, corrosive $HCO_{3(aq)}^{-3}$, $H_{(aq)}^{+}$, $CO_{3(aq)}^{2-}$, $HS_{(aq)}^{-}$ and $S_{(aq)}^{2-}$ ions were formed on the metal surface. These ions corroded the metal surface to form iron ions at the anodic sites. The anodic electrochemical half reaction is as follows [47]:



In the inhibition mechanism, the corrosion inhibitor BrCU was protonated in an acidic environment. As a result, the protonated form of BrCU electrostatically interacted with the metal surface. Second, BrCU

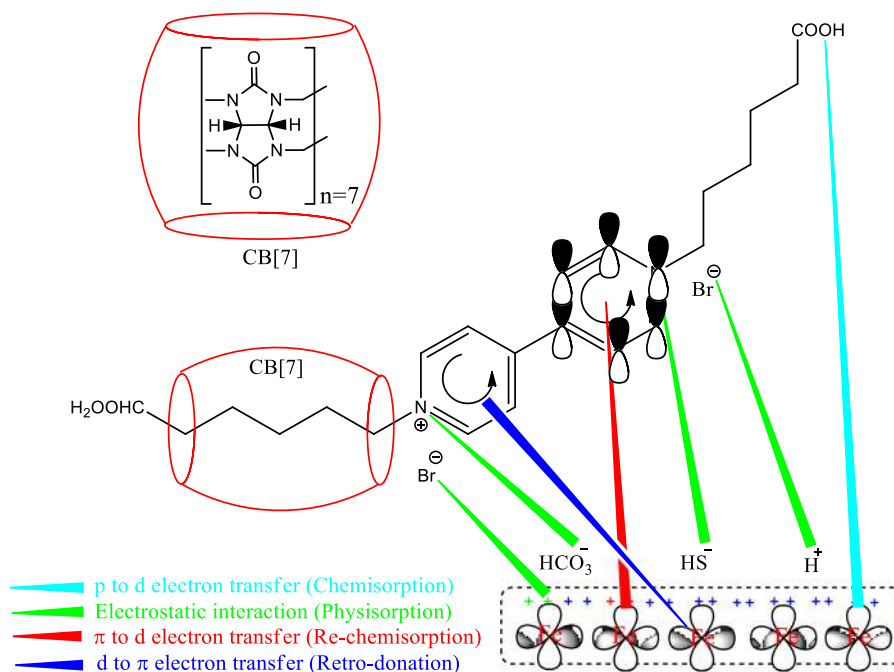


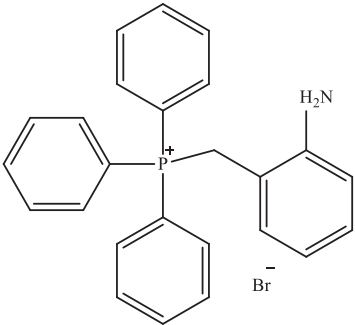
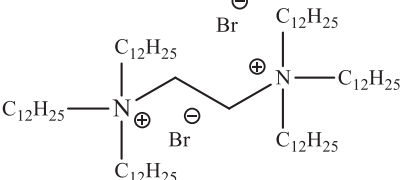
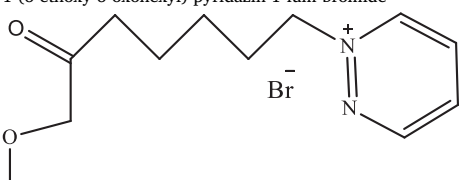
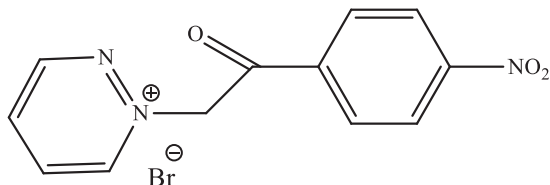
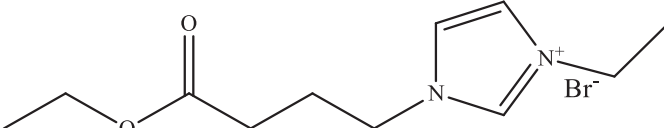
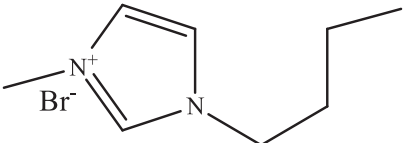
Fig. 14. Pictorial representation of the inhibition mechanism of BrCU on the steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S.

Table 9

Comparison of BrCU with ionic liquids inhibitors (*continued next page*).

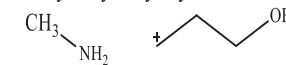
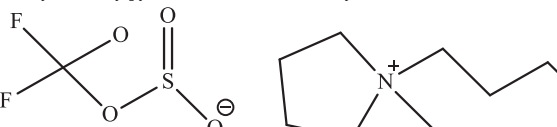
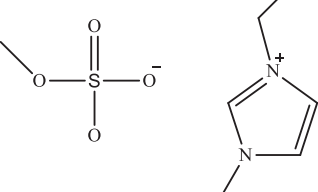
N ^o	Name of ionic liquids corrosion inhibitor	Corrosion solution type	Metal type	Inhibitor type and adsorption isotherm	Maximum inhibition efficiency, %	Year and ref.
Inhibitor in the acidic solution						
	Poly [3-butyl-1-vinylimidazolium bromide]	1 M HCl	Mild steel	Mixed-type/ Frumkin isotherm	96 % at 400 ppm	2019, [49]
	(4-Methoxybenzyl)-triphenylphosphonium bromide	0.5 M H ₂ SO ₄	Mild steel	Mixed-type/ Langmuir isotherm	99.56 % at 10 ⁻² M	2019, [50]

Table 9 (continued)

N ^o	Name of ionic liquids corrosion inhibitor	Corrosion solution type	Metal type	Inhibitor type and adsorption isotherm	Maximum inhibition efficiency, %	Year and ref.
	2-Aminobenzyl)triphenylphosphonium bromide	0.5 M H ₂ SO ₄	Mild steel	Mixed-type/ Langmuir isotherm	99.56 % at 10 ⁻² M	2018, [51]
						
N ^o	Name of ionic liquids corrosion inhibitor	Corrosion solution type	Metal type	Inhibitor type and adsorption isotherm	Maximum inhibition efficiency, %	Year and ref.
Inhibitor in the acidic solution						
	N1,N1,N1,N2,N2,N2-hexadodecylethane-1,2-diaminium bromide	1 M HCl	Carbon steel	–	90.55% at 5 × 10 ⁻³ M	2016, [52]
						
	1-(6-ethoxy-6-oxohexyl) pyridazin-1-ium bromide	1 M HCl	Mild steel	Anodic-type/ Langmuir isotherm	84% at 5 × 10 ⁻³ M	2018, [53]
						
	1-(2-(4-nitrophenyl)-2-oxoethyl) pyridazinium bromide	0.5 M H ₂ SO ₄	Carbon steel	Mixed-type/ Langmuir isotherm	91.67% at 5 × 10 ⁻³ M	2015, [54]
						
	3-(4-ethoxy-4-oxobutyl)-1-ethylimidazol-3-ium bromide	1 M HCl	Carbon steel	Mixed-type/ Langmuir isotherm	72.3% at 5 × 10 ⁻³ M	2011, [55]
						
	1-butyl-3-methylimidazolium bromide	2 M HCl	Mild steel	Mixed-type/ Langmuir isotherm	84% at 5 × 10 ⁻³ M	2015, [56]
						
N ^o	Name of ionic liquids corrosion inhibitor	Corrosion solution type	Metal type	Inhibitor type and adsorption isotherm	Maximum inhibition efficiency, %	Year and ref.

(continued on next page)

Table 9 (continued)

N ^o	Name of ionic liquids corrosion inhibitor	Corrosion solution type	Metal type	Inhibitor type and adsorption isotherm	Maximum inhibition efficiency, %	Year and ref.
Inhibitor in the saline solution						
	<i>N</i> -methyl-2-hydroxyethylammonium oleate 	0.01 M NaCl	AISI 1020 steel	Mixed-type/Langmuir isotherm	97% at 5 mmol/L	2019, [57]
	1-Butyl-1-methylpyrrolidinium trifluoromethylsulfonate 	3.5% NaCl	Mild steel	Langmuir isotherm	91.6% at 500 ppm	2015, [58]
	Ethyl sulfate-1-methyl-3-ethyl imidazolium 	3.5% NaCl	Q235 steel	—	87.3% at 200 ppm	2017, [59]
	Acidic-saline solution (Present work) BrCU	1 M NaCl saturated with CO ₂ and H ₂ S	Carbon steel	Mixed-type, Langmuir	97.54 % at 100 mg/L /0.06 mM	Present work

reacted with iron ions to form, $\text{InhFe}_{(\text{aq})}^{2+}$, which adsorbed on the metal surface. The inhibition reactions are as follows:

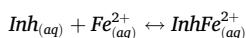
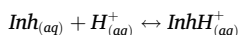
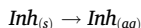


Fig. 14 describes the pictorial representation of the inhibition mechanism of BrCU on steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S. The obtained experimental and theoretical results suggested four types of inhibition in the overall mechanism. First, the p-electron pairs of the carboxyl functional groups were shared with the vacant d-orbitals of iron. Second, the Br anions electrostatically interacted with the hydrogen ions on the metal surface. In addition, the positively charged nitrogen ions electrostatically interacted with the metal cations on the metal surface. Third, the delocalized π -electrons of the benzoyl rings were transferred to the vacant d-orbitals of iron on the metal surface. Finally, some of the d-electrons of iron were re-shared to the benzoyl rings.

3.11. Inhibition comparison

Table 9 indicates the comparison of BrCU with ionic liquids inhibitors, which were recently studied. It is clear noted that the ionic liquids are good corrosion inhibitors for steel materials. The ionic liquids are mostly investigated in the acidic solutions such HCl and H₂SO₄. Some ionic liquids were studied in the saline solutions such 3.5% NaCl. These inhibitors are mainly mixed-type following Langmuir isotherm. Their inhibition performance is over 90–95% at medium concentrations. The ionic liquids were not investigated in the acidic-saline solu-

tion, in which the corrosion is large problem in the gas and oil industry. Present research work introduced new BrCU corrosion inhibitor for steel in acidic-saline solution (1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S). The experimental results confirmed that the BrCU is mixed-type related to Langmuir isotherm. Its maximum inhibition efficiency was 97.54 % at 100 mg/L/0.06 mM. Table 9 also shows that the BrCU is more efficient than other at low concentrations.

4. Conclusions

This research work is the first to introduce, novel BrCU as an excellent green corrosion inhibitor for the oil and gas industry. Its inhibition performance for carbon steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S was studied by thermodynamic and gravimetric analysis, EFM, EN, PDP, EIS, DFT, and SEM-EDX. The conclusions are as follows:

- BrCU is an excellent green corrosive inhibitor for carbon steel in 1 M NaCl saturated with CO₂ and H₂S, showing potential application in the gas and oil industry;
- Its maximum inhibition protection was 97.54% at 100 mg/L/0.06 mM;
- The adsorption thermodynamics were studied, and the results showed that BrCU adsorbed on the metal surface by physical and chemical methods based on the Langmuir isotherm;
- The PDP results suggested that BrCU was a predominantly anodic mixed-type inhibitor;
- The polarization resistance notably increased with increasing concentration;
- The EIS results demonstrated that BrCU controlled the corrosion processes by affecting the charge transfer mechanism;

- VII. The BrCU-formed protective film on the metal surface was thermodynamically stable at high temperature;
- VIII. The theoretical calculations were well correlated with the experimental findings.

CRedit authorship contribution statement

Elyor Berdimurodov: Writing – original draft, Conceptualization, Investigation, Visualisation. **Abduvali Kholikov:** Reviewing and Editing paper. **Khamdam Akbarov:** Reviewing and Editing paper. **Lei Guo:** Methodology, Software, Validation. **Savaş Kaya:** Software, Validation. **Konstantin P. Katin:** Software, Validation. **Dakeshwar Kumar Verma:** Reviewing. **Mohamed Rbaa:** Reviewing. **Omar Dagdag:** Reviewing. **Rajesh Haldhar:** .

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

The authors wish to acknowledge Ministry of higher and secondary specialized education of the Republic of Uzbekistan and Ministry of innovative development of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, Tianjin University, Tianjin, China, Karshi State University, Karshi, Uzbekistan.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2021.115794>.

References

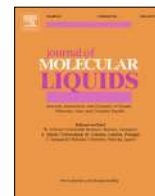
- J. Tan, L. Guo, H. Yang, F. Zhong, Y. El Bakri, Synergistic effect of potassium iodide and sodium dodecyl sulfate on the corrosion inhibition of carbon steel in HCl medium: a combined experimental and theoretical investigation, *RSC Adv.* 10 (2020) 15163.
- M. Rbaa, A. Hichar, O. Bazdi, Y. Lakhrissi, K. Ounine, B. Lakhrissi, Synthesis, characterization, and in vitro antimicrobial investigation of novel pyran derivatives based on 8-hydroxyquinoline, *Beni-Suef Univ. J. Basic Appl. Sci.* 12 (2019) 1–7.
- E. Berdimurodov, K. Akbarov, A. Kholikov, Electrochemical frequency modulation and reactivation investigation of thioglycolurils in strong acid medium, *Adv. Mater. Res.* 1154 (2019) 122–128.
- Lei Guo, Ruilai Zhang, Bochuan Tan, Wenpo Li, Hongyan Liu, Sizhan Wu, Locust Bean Gum as a green and novel corrosion inhibitor for Q235 steel in 0.5 M H₂SO₄ medium, *Journal of Molecular Liquids* 310 (2020) 113239.
- Omar Dagdag, Ahmed El Harfi, Mustapha El Gouri, Zaki Safi, Ramzi T. T. Jalgham, Nuha Wazzan, Chandrabhan Verma, E. E. Ebenso, U. Pramod Kumar, Anticorrosive properties of Hexa (3-methoxy propan-1,2-diol) cyclotri-phosphazene compound for carbon steel in 3% NaCl medium: gravimetric, electrochemical, DFT and Monte Carlo simulation studies, *Heliyon* 5 (2019) e01340.
- M. Rbaa, O. Bazdi, A. Hichar, Y. Lakhrissi, K. Ounine, B. Lakhrissi, Synthesis, Characterization and Biological Activity of new Pyran Derivatives of 8-Hydroxyquinoline, *Eurasian J. Anal. Chem.* 13 (2018) 19–30.
- E. Berdimurodov, J. Wang, A. Kholikov, K. Akbarov, B. Burikhonov, N. Umirov, Investigation of a new corrosion inhibitor cucurbiturils for mild steel in 10% acidic medium, *Adv. Eng. Forum, Trans Tech Publ.* 18 (2016) 21.
- L. Guo, B. Tan, X. Zuo, W. Li, S. Leng, X. Zheng, Eco-friendly food spice 2-Furfurylthio-3-methylpyrazine as an excellent inhibitor for copper corrosion in sulfuric acid medium, *J. Mol. Liq.* 317 (2020) 113915.
- M. Rbaa, P. Dohare, A. Berisha, O. Dagdag, L. Lakhrissi, M. Galai, A. Zarrouk, New Epoxy sugar based glucose derivatives as ecofriendly corrosion inhibitors for the carbon steel in 1.0 M HCl: Experimental and theoretical investigations, *J. Alloy. Compd.* 833 (2020) 154949.
- M. Rbaa, A. Hichar, P. Dohare, E.H. Anouar, Y. Lakhrissi, B. Lakhrissi, M. Berredjem, F. Almalki, V. Rastija, M. Rajabi, T. Ben Hadda, A. Zarrouk, Synthesis, Characterization, Biocomputational Modeling and Antibacterial Study of Novel Pyran Based on 8-Hydroxyquinoline, *Arab. J. Sci. Eng.* 16 (2020).
- E. Berdimurodov, A. Kholikov, K. Akbarov, I. Nakhatov, K.h. Jurakulova, U. Nigora, Nurbek., Adsorption isotherm and SEM investigating of cucurbit [n]urils based corrosion inhibitors with gossypol for mild steel in alkaline media containing chloride ions, *Adv. Eng. Forum, Trans Tech Publ.* 23 (2017) 13.
- Lei Guo, Youness El Bakri, Yu Rongrong, Jianhong Tan, El Mokhtar Essassi, El Mokhtar Essassi, Newly synthesized triazolopyrimidine derivative as an inhibitor for mild steel corrosion in HCl medium: an experimental and in silico study, *J. Mater. Res. Technol.* 9 (3) (2020) 6568–6578.
- M. Rbaa, F. Benhiba, M. Galai, A.S. Abousalem, M. Ouakki, C.H. Lai, A. Zarrouk, Synthesis and characterization of novel Cu (II) and Zn (II) complexes of 5-((2-Hydroxyethyl) sulfanyl) methyl-8-hydroxyquinoline as effective acid corrosion inhibitor by Experimental and Computational testings, *Chem. Phys. Lett.* 137771 (2020).
- Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, D. Nuriddinova, Polarization resistance parameters of anti-corrosion inhibitor of cucurbit [N] urils and thioglycolurils in aggressive mediums, *Adv. Eng. Forum, Trans Tech Publ.* 26 (2018) 74.
- Lei Guo, Ime Bassey Obot, Xingwen Zheng, Xun Shen, Yujie Qiang, Savas Kaya, Cemal Kaya, Theoretical insight into an empirical rule about organic corrosion inhibitors containing nitrogen, oxygen, and sulfur atoms, *Applied Surface Science* 406 (2017) 301–306.
- M. Rbaa, B. Lakhrissi, Novel oxazole and imidazole based on 8-Hydroxyquinoline as a Corrosion Inhibition of mild steel in HCl Solution: Insights from Experimental and Computational Studies, *Surf. Interfaces.* 15 (2019) 43–59.
- M. Rbaa, M. Galai, A.S. Abousalem, B. Lakhrissi, M.E. Touhami, I. Warad, A. Zarrouk, Synthetic, spectroscopic characterization, empirical and theoretical investigations on the corrosion inhibition characteristics of mild steel in molar hydrochloric acid by three novel 8-hydroxyquinoline derivatives, *Ionics (Kiel)* 13 (8) (2020) 1–20.
- Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Xu. Guobao, Aboubakr M. Abdullah, Morteza Hosseini, New anti-corrosion inhibitor (3ar,6ar)-3a,6a-di-ptolytetrahydroimidazo[4,5-d]imidazole-2,5(1 h,3h)-dithione for carbon steel in 1 M HCl medium: gravimetric, electrochemical, surface and quantum chemical analyses, *Arabian J. Chem.* 13 (2020) 7504–7523.
- Rachid Hissou, Omar Dagdag, Mohamed Berradi, Mehdi El Bouchti, Mohammed Assouag, Ahmed Elharfi, Development rheological and anti-corrosion property of epoxy polymer and its composite, *Heliyon* 5 (2019) e02789.
- Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Lei Guo, Inhibition properties of 4,5-dihydroxy-4,5-di-p-tolylimidazolidine-2-thione for use on carbon steel in an aggressive alkaline medium with chloride ions: Thermodynamic, electrochemical, surface and theoretical analyses, *J. Mol. Liq.* 327 (2021) 114813.
- M.M. Barakat, M.A. Deyab, M.I. Nessim, S.S. Abd El-Rehim, Q. Mohsen, The controlling role of new imidazole-based ionic liquids on the corrosion rate of steel rebars in the cement pore solution, *J. Mol. Liq.* 329 (2021) 115442.
- A.L. Chong, J.I. Mardel, D.R. MacFarlane, M. Forsyth, A.E. Somers, Synergistic corrosion inhibition of mild steel in aqueous chloride solutions by an imidazolium carboxylate salt, *ACS Sustain. Chem. Eng.* 4 (2016) 1746–1755.
- El-Shamy, K. Zakaria, M. Abbas, S.Z. El Abedin, Anti-bacterial and anti-corrosion effects of the ionic liquid 1-butyl-1-methylpyrrolidinium trifluoromethylsulfonate, *J. Mol. Liq.* 211 (2015) 363–369.
- A.K. Dermani, E. Kowsari, B. Ramezanzadeh, R. Amini, Utilizing imidazole based ionic liquid as an environmentally friendly process for enhancement of the epoxy coating/graphene oxide composite corrosion resistance, *J. Ind. Eng. Chem.* 79 (2019) 353–363.
- M.A. Deyab, Efficiency of cationic surfactant as microbial corrosion inhibitor for carbon steel in oilfield saline water, *J. Mol. Liq.* 255 (2018) 550–555.
- E. Kamali Ardakani, E. Kowsari, A. Ehsani, Imidazolium-derived polymeric ionic liquid as a green inhibitor for corrosion inhibition of mild steel in 1.0 M HCl: xperimental and computational study, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering aspects* (2019), <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.124195>.
- Saleh A. Ahmed, Mohamed I. Awad, Ismail I. Althagafi, Hatem M. Altass, Moataz Morad, Ahmed Alharbi, Rami J. Obaid, Newly synthesized indolium-based ionic liquids as unprecedented inhibitors for the corrosion of mild steel in acid medium, *J. Mol. Liq.* 291 (2019) 111356.
- Ruby Aslam, Mohammad Mobin, Ime B. Huda, Aeshah H. Obot, Alamri., Ionic liquids derived from α -amino acid ester salts as potent green corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl, *J. Mol. Liq.* 318 (2020) 113982.
- Natalya V. Likhanova, P. Arellanes-Lozada, O. Olivares-Xometl, H. Hernández-Cocolezzi, Irina V. Lijanova, J.E. Janette Arriola-Morales, Castellanos-Aguila, Effect of organic anions on ionic liquids as corrosion inhibitors of steel in sulfuric acid solution, *J. Mol. Liq.* 279 (2019) 267–278.
- Pengcheng Hu, Zhitao Wu, Junlin Wang, Yuqing Huang, Quanyou Liu, Shu-Feng Zhou, Corrosion inhibiting performance and mechanism of protic ionic liquids as green brass inhibitors in nitric acid, *Green Energy & Environment* 5 (2020) 214e222.
- Vladimir Sindelar, Serena Silvi, Samantha E. Parker, David Sobringsingh, Angel E. Kaifer, Proton and Electron Transfer Control of the Position of Cucurbit[n]uril Wheels in Pseudorotaxanes, *Adv. Funct. Mater.* 17 (2007) 694–701.
- C. Lee, W. Yang, R.G. Parr, Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density, *Phys. Rev. B* 37 (1988) 785.
- A.D. Becke, Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange, *J. Chem. Phys.* 98 (1993) 5648.
- R. Krishnan, J.S. Binkley, R. Seeger, J.A. Pople, Self-consistent molecular orbital methods. XX. A basis set for correlated wave functions, *J. Chem. Phys.* 72 (1980) 650.
- S. Grimme, J. Antony, S. Ehrlich, H. Krieg, A consistent and accurate *ab initio* parametrization of density functional dispersion correction (DFT-D) for the 94 elements H-Pu, *J. Chem. Phys.* 132 (2010) 154104.

- [36] M.W. Schmidt, K.K. Baldridge, J.A. Boatz, et al, General atomic and molecular electronic structure system, *J. Comput. Chem.* 14 (11) (1993) 1347–1363.
- [37] Chemcraft - graphical software for visualization of quantum chemistry computations. <https://www.chemcraftprog.com>
- [38] B.M. Bode, M.S. Gordon, Macmolplt: a graphical user interface for GAMESS, *J. Mol. Graphics Mod.* 16 (1998) 133–138.
- [39] Rachid Hsissou, Omar Dagdag, Said Abbout, Fouad Benhiba, Mohamed Berradi, Mehdi El Bouchti, Avni Berisha, Najat Hajjaji, Ahmed Elharfi, Novel derivative epoxy resin TGETET as a corrosion inhibition of E24 carbon steel in 1.0 M HCl solution. Experimental and computational (DFT and MD simulations) methods, *Journal of Molecular Liquids* 284 (2019) 182–192.
- [40] M. Rbaa, M. Fardiou, C. Verma, A.S. Abousalem, M. Galai, E.E. Ebenso, A. Zarrouk, 8-Hydroxyquinoline based chitosan derived carbohydrate polymer as biodegradable and sustainable acid corrosion inhibitor for mild steel: Experimental and computational analyses, *Int. J. Biol. Macromol.* 155 (2020) 645–655.
- [41] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Lei Guo, Aboubakr M. Abdullah, Mustafa Elik, A gossypol derivative as an efficient corrosion inhibitor for St2 steel in 1 M HCl + 1 M KCl: An experimental and theoretical investigation, *J. Mol. Liq.* 328 (2021) 115475.
- [42] Rachid Hsissou, Fouad Benhiba, Omar Dagdag, Mehdi El Bouchti, Khalid Nouneh, Mohammed Assouag, Samir Briche, Abdelkader Zarrouk, Ahmed Elharfi, Development and potential performance of prepolymer in corrosion inhibition for carbon steel in 1.0 M HCl: Outlooks from experimental and computational investigations, *Journal of Colloid and Interface Science* 574 (2020) 43–60.
- [43] M. Rbaa, F. Benhiba, R. Hsissou, Y. Lakhri, B. Lakhri, M.E. Touhami, A. Zarrouk, Green synthesis of novel carbohydrate polymer chitosan oligosaccharide grafted on d-glucose derivative as bio-based corrosion inhibitor, *J. Mol. Liq.* 114549 (2020).
- [44] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, I.B. Khamdam Akbarov, Lei Guo Obot, Thioglycoluril derivative as a new and effective corrosion inhibitor for low carbon steel in a 1 M HCl medium: Experimental and theoretical investigation, *J. Mol. Struct.* 1234 (2021) 130165.
- [45] Rajesh Haldhar, Dwarka Prasad, Indra Bahadur, Omar Dagdag, Avni Berisha, Evaluation of Gloriosa superba seeds extract as corrosion inhibition for low carbon steel in sulfuric acidic medium: A combined experimental and computational studies, *J. Mol. Liq.* 323 (2021) 114958.
- [46] E. Berdimurodov, A. Kholikov, K. Akbarov, L. Guo, Experimental and theoretical assessment of new and eco-friendly thioglycoluril derivative as an effective corrosion inhibitor of St2 steel in the aggressive hydrochloric acid with sulfate ions, *J. Mol. Liq.* 335 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116168>.
- [47] D. Kumar, M. Kazi, M.S. Alqahtani, R. Syed, E. Berdimurodov, N – hydroxybenzothioamide derivatives as green and efficient corrosion inhibitors for mild steel : Experimental, DFT and MC simulation approach, *J. Mol. Struct.* 1241 (2021) 130648.
- [48] A.R. Shahmoradi, M. Ranjbarghanei, A.A. Javidparvar, L. Guo, E. Berdimurodov, B. Ramezanzadeh, Theoretical (atomic-DFT&molecular-MD), surface/electrochemical investigations of walnut fruit green husk extract as effective-biodegradable corrosion mitigating materials of a steel electrode in 1M HCl electrolyte, *J. Mol. Liq.* (2021), <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116550>.
- [49] A.R. Shahmoradi, M. Ranjbarghanei, A.A. Javidparvar, L. Guo, E. Berdimurodov, Bahram Ramezanzadeh, Theoretical (atomic-DFT&molecular-MD), surface/electrochemical investigations of walnut fruit green husk extract as effective-biodegradable corrosion mitigating materials of a steel electrode in 1M HCl electrolyte, *J. Mol. Liq.* 338 (2021) 116550.
- [50] E. Kamali Ardakani, E. Kowsari, A. Ehsani, Imidazolium-derived polymeric ionic liquid as a green inhibitor for corrosion inhibition of mild steel in 1.0 M HCl: Experimental and computational study, *Colloids Surf., A* (2019) 124195.
- [51] M. Goyal, S. Kumar, I. Bahadur, E.E. Ebenso, H. Lgaz, I.-M. Chung, Interfacial adsorption behavior of quaternary phosphonium based ionic liquids on metalelectrolyte interface: electrochemical, surface characterization and computational approaches, *J. Mol. Liq.* 111995 (2019).
- [52] M. Goyal, H. Vashisht, S. Kumar, I. Bahadur, Anti-corrosion performance of ecofriendly inhibitor (2-aminobenzyl) triphenylphosphonium bromide ionic liquid on mild steel in 0.5 M sulfuric acid, *J. Mol. Liq.* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.04.043>.
- [53] S.M. Tawfik, Ionic liquids based gemini cationic surfactants as corrosion inhibitors for carbon steel in hydrochloric acid solution, *J. Mol. Liq.* 216 (2016) 624–635.
- [54] F. El-hajjaji, M. Messali, A. Aljuhani, M.R. Aouad, B. Hammouti, M.E. Belghiti, D.S. Chauhan, M.A. Quraishi, Pyridazinium-based ionic liquids as novel and green corrosion inhibitors of carbon steel in acid medium: electrochemical and molecular dynamics simulation studies, *J. Mol. Liq.* 249 (2018) 997–1008, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.11.111>.
- [55] M. Messali, A. Bousskri, A. Aejjar, R. Salghi, B. Hammouti, Electrochemical Studies of 1-(2- (4-nitrophenyl)-2- oxoethyl) pyridazinium bromide, On Carbon Steel Corrosion in Hydrochloric Acid Medium, *Int. J. Electrochem. Sci.* (2015), <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2340.3681>.
- [56] M.A.M. Ibrahim, M. Messali, Z. Moussa, A.Y. Alzahrani, S.N. Alamry, B. Hammouti, Corrosion inhibition of carbon steel by imidazolium and pyridinium cations ionic liquids in acidic environment, *Portugaliae, Electrochim. Acta* 29 (2011) 375–389, <https://doi.org/10.4152/pea.201106375>.
- [57] A. Yousefi, S. Javadian, N. Dalir, J. Kakemam, J. Akbari, Imidazolium-based ionic liquids as modulators of corrosion inhibition of SDS on mild steel in hydrochloric acid solutions: experimental and theoretical studies, *RSC Adv.* 5 (2015) 11697–11713, <https://doi.org/10.1039/C4RA10995C>.
- [58] T.E. Schmitzhaus, M.R. Ortega Vega, R. Schroeder, I.L. Muller, S. Mattedi, C. de F. Malfatti, An amino-based protic ionic liquid as a corrosion inhibitor of mild steel in aqueous chloride solutions, *Mater. Corros.* (2019).
- [59] A.M. El-Shamy, K. Zakaria, M.A. Abbas, S.Z. El Abedin, Anti-bacterial and anticorrosion effects of the ionic liquid 1-butyl-1-methylpyrrolidinium trifluoromethylsulfonate, *J. Mol. Liq.* 211 (2015) 363–369.



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Molecular Liquids

journal homepage: www.elsevier.com/locate/molliq

The recent development of carbon dots as powerful green corrosion inhibitors: A prospective review

Elyor Berdimurodov^{a,*}, Dakeshwar Kumar Verma^b, Abduvali Kholikov^c, Khamdam Akbarov^c, Lei Guo^{d,*}

^a Faculty of Natural Sciences, Karshi State University, Karshi 180100, Uzbekistan

^b Department of Chemistry, Government Digvijay Autonomous Postgraduate College, Rajnandgaon, Chhattisgarh 491441, India

^c Faculty of Chemistry, National University of Uzbekistan, Tashkent 100034, Uzbekistan

^d School of Materials and Chemical Engineering, Tongren University, Tongren 554300, China

ARTICLE INFO

Article history:

Received 29 June 2021

Revised 13 November 2021

Accepted 14 November 2021

Available online xxxx

Keywords:

Carbon dots

Corrosion inhibitor

Green nanomaterials

Acidic, saline, CO₂-saturated and microbiological corrosion

ABSTRACT

The corrosion of metallic materials in aggressively acidic, saline, CO₂-saturated saline and microbiological solutions is a continuous problem in the oil and gas industry. Using carbon dots (CDs) in corrosion protection is an ecological and environmentally efficient method because CDs have good water solubility, biocompatibility, low toxicity, excellent antibacterial properties, chemical stability, high thermal activity, and nonflammability. The inhibition performance of CDs was over 95–99% at low concentrations and medium temperatures. The CDs contain more pyrrole-like N, pyridine-N, graphitic N atoms and O atoms, in which the lone electron pairs promote CDs to become efficient corrosion inhibitors. The CDs formed rigid covalent bonds with the metal surface through π -electrons transfer. The CDs easily substituted with the pre-adsorbed water on the metal surface. In this review, the inhibition, adsorption, electrochemistry, surface morphology and structural characteristics of CDs for steel, copper and aluminium in aggressively acidic, saline, CO₂-saturated saline and microbiological solutions are reviewed and discussed.

© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.

Contents

1. Introduction	00
1.1. Causes of corrosion and problems of metallic materials	00
1.2. Corrosion inhibitors	00
1.3. Ionic liquids (ILs) as corrosion inhibitors	00
1.4. CDs: Properties, synthesis methods and application	00
2. Analysis of the corrosion protection performance of CQDs	00
2.1. Experimental methods	00
2.2. Theoretical calculation	00
3. Main part	00
3.1. CDs as corrosion inhibitors in the acidic solution	00
3.2. CDs as corrosion inhibitors in the saline solution	00
3.3. CDs as corrosion inhibitors in CO ₂ -saturated solution	00
3.4. CDs as corrosion inhibitors for microbiological corrosion	00

Abbreviations: **CDs**, Carbon dots; **NCDs**, Nitrogen-doped carbon dots; **TEM**, Transmission electron microscopy; **FTIR**, Fourier transform infrared spectroscopy; **EIS**, Electrochemical impedance spectroscopy; **PDP**, Potentiodynamic polarization; **XPS**, X-ray photoelectron spectroscopy; **SEM**, Scanning electron microscopy; **AFM**, Atomic force microscopy; **UV-vis**, Ultra-violet-visible spectroscopy; **OCP**, Open circuit potential; **LSCM**, Laser scanning confocal microscope; **SPM**, Scanning probe microscope; **SVET**, Scanning vibrating electrode technique; **DSC**, Differential scanning calorimetry; **CV**, Cyclic voltammetry; **η** , Corrosion inhibition efficiency; **MD simulation**, Molecular dynamic simulation; **IFM**, Infrared fluorescence microscopy; **HR-TEM**, High-resolution transmission electron microscopy; **XRD**, X-ray diffraction; **ΔG_{ads}** , Gibbs free energy of adsorption; **ΔH_{ads}** , Enthalpy of adsorption; **CoC**, Clash of Clans.

* Corresponding authors.

E-mail addresses: elyor170690@gmail.com (E. Berdimurodov), cqglei@163.com (L. Guo).

<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.118124>

0167-7322/© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.

4. Inhibition and adsorption mechanism of carbon quantum dots	00
5. Conclusions and future perspectives	00
Declaration of Competing Interest	00
Acknowledgements	00
References	00

1. Introduction

1.1. Causes of corrosion and problems of metallic materials

Corrosion in metals and alloys is an electrochemical reaction in which metallic surfaces degrade by reacting with an environmental constituent [1]. Reports have suggested that the annual GDP loss for both developed and developing countries is approximately 3.4% dollars about corrosion. For instance, South Africa, Japan and China lose approximately 9.6, 9.2, and 310 billion dollars, respectively. These losses contributed to 3.34% of the GDP for China, a developing country, and 2% of the GDP for Japan, a developed country [2,3]. Table 1 tabulates the loss of GDP due to corrosion worldwide. Moreover, wet corrosion, where electrochemical corrosion occurs in the presence of moisture, is one of the worst effects of corrosion behaviour. Aqueous electrolytes are used in various industries, such as the petroleum, gas and oil industries, and the main cause of corrosion is organic acids and H₂S gas. In marine industries, the main electrolytic causes of corrosion is seawater or NaCl. In various industries, iron, copper, aluminium and brass are usually used as the main metal materials. Hydrogen fluoride, nitric acid, sulfuric acid, hydrochloric acid and other strong acidic substances are usually used as electrolytic media in the process of descaling, acid cleaning, oleation and pickling to metal [4,5]. Degradation often occurs during the process of acidification, and the metal surface is transformed into its sulfide, chloride and oxide forms, resulting in metal corrosion [6]. Corrosion has a terrible effect on economic loss and personal safety. Therefore, it is necessary to adopt and develop advanced technologies to protect metal materials from corrosion. Corrosion inhibitors are considered to be the most effective technology to protect metal materials from corrosion. Initially, some inorganic salts, such as zinc salts, borates, chromates, phosphates, silicates and nitrates, were prominently used to protect metallic surfaces from corrosion [7]. All these inorganic salts reacted with the cations present in the metal surface and deposited them on the metal surface in the form of a crystalline layer that protected them from further corrosion. However, when choosing a suitable corrosion inhibitor to protect metallic materials from corrosion, key factors, such as economic factors, economic effects and ecological awareness, are considered.

Additionally, Table 2 tabulates the development of suitable corrosion inhibitors over the last few decades for aqueous corrosion media [8]. Corrosion inhibitors usually interact with metallic sur-

faces and are deposited as protective sheets on metal surfaces. The structural arrangement and chemical properties of the inhibitor molecule are the major factors that govern the adsorption mechanism of inhibitor molecules above the metal surface [9]. Researchers have focused on the development and synthesis of corrosion inhibitors that are cost effective, eco-friendly and have low toxicity owing to the toxic nature of inorganic salts. Therefore, the study of plant extracts [10], organic molecules [11], heterocyclic compounds [12], polymers, composites and nanomaterials [13] is very beneficial, but some of these compounds are toxic and environmentally threatening. Hence, chemists, engineers, researchers and academicians have focused their attention on carbon-bonding materials for the last few years. Of these, carbon quantum dots (CDs) are being used for corrosion inhibitors due to their rigidity, multiple applications, low cost, zero toxicity and greenness. Various CD-based materials such as nitrogen-doped CDs (N-CDs) [14], ionic liquid CDs (ILs-CDs) [15], polymer-based CDs (poly-CDs) [16] and SN-co doped CDs [17] have been used predominantly as corrosion inhibitors in previous studies. The current review describes CD-based materials as corrosion inhibitors in detail.

1.2. Corrosion inhibitors

Corrosion inhibitors are small doses of external materials that are added to aggressive media during descaling, acid pickling,

Table 2
Development of corrosion inhibitors for aqueous electrolytes [8].

S. No	Time edge	Need	Examples (inhibitor type)
1	Before 1960	Protection efficiency	Zinc salts, phosphates, borates, Chromates, silicates, nitrates and phosphates.
2	1960–1980	Economy	Molybdates, phosphono acids, Chelate molecules, polyphosphates, gluconates, soluble oils, carboxylates, cations and polyacrylates
3	1980–1995	Ecology	Natural inhibitors such as vitamins, biopolymers and tannins
4	1995–Present	Environmentally friendly	poly-functional organic molecules, encapsulation of inhibitors, organic/inorganic compounds for synergism and REM

Table 1

The loss of GDP due to corrosion worldwide (.). Source: <http://impact.nace.org/economic-impact.aspx>

Economic Region	Agriculture CoC USS billion	Industry CoC USS billion	Services CoC USS billion	Total CoC USS billion	Total GDP USS billion	CoC % GDP
United States	2.0	303.2	146.0	451.3	16,720	2.7%
India	17.7	20.3	32.3	70.3	1,670	4.2%
European Region	3.5	401	297	701.5	18,331	3.8%
Arab World	13.3	34.2	92.6	140.1	2,789	5.0%
China	56.2	192.5	146.2	394.9	9,330	4.2%
Russia	5.4	37.2	41.9	84.5	2,113	4.0%
Japan	0.6	45.9	5.1	51.6	5,002	1.0%
Four Asian Tigers + Macau	1.5	29.9	27.3	58.6	2,302	2.5%
Rest of the World	52.4	382.5	117.6	552.5	16,057	3.4%
Global	152.7	1446.7	906.0	2505.4	74,314	3.4%

and oil-well refining of metallic surfaces to protect the metal from corrosive attack [18]. Various types of corrosion inhibitors have been used prominently for the past few decades, and the property adsorption and inhibitor mechanism of some of the major corrosion inhibitors are described as follows. Organic compounds mainly consist of compounds containing acyclic and cyclic, aliphatic and aromatic carbons. Heteroatoms such as P-, S-, N-, and O-containing organic molecules are called heterocyclic compounds. However, organic compounds are considered some of the most prominent and effective corrosion inhibitors. The chemical reactivity and structured orientation of organic compounds are two important factors that make molecules suitable as corrosion inhibitors. Organic compounds containing functional groups such as $-OH$, $-OR$, $-NH_2$, $-NR_2$, $-NHR$, $-SR$, $-SH$, $-CN$, $-N=N$, $-COOH$, $-CO$, $-CHO$, $-CONH_2$, and $-COOR$ have been extensively used as corrosion inhibitors [19–23]. These functional groups possess various heteroatoms, such as N, O, P, and S, and multiple electron-rich bonds, such as alkenes, alkyls, and aromatic rings. Organic compounds, including those with electron-rich centres, behave like nucleophiles and interact with metal cations to form stable bonds. Previous studies suggested that the adsorption of inhibitor molecules on the metal surface has either a physisorption or chemisorption mechanism. In the physisorption mechanism, protonated, charged organic molecules are deposited on top of the metallic surface through an electrostatic bond and interact with the metallic surface through anions such as Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , and PO_4^{3-} . In the physisorption process, the inhibitor molecules on the metallic surface do not directly adsorb but protonated form reacts with the anions already present on the metal surface [24,25]. However, in chemisorption interactions, there is a direct interaction between the metallic surface and inhibitor molecules. During this interaction of metal ions with the functional groups and pi electrons present in the organic inhibitors, the inhibitor molecules behave like electron-rich nucleophiles, while the metal surface behaves like an electron acceptor due to its vacant 3d orbitals [11,12,26,27]. That is, the vacant 3d orbital of the metal behaves like an acid, and the organic molecules behave like bases due to the nonbonded electrons of the heteroatoms and the pi electrons. In this way, the inhibitor molecules accumulate on top of the metal surface and block all the active sites of the metal due to strong interactions and protect it from further attack by an aggressive electrolyte. Relevant research shows that amino acids, pharmaceutical drug molecules [28–31], plant extracts [25,32,33], neutral polymers and carbohydrates [13,34] are mainly used as sustainable and green organic corrosion inhibitors. Various heterocyclic compounds, such as coumarin derivatives [35], hydroxamic acids [36], pyrimidine derivatives [37], conducting polymers [38] and imidazoline [39], exhibit excellent inhibition properties. Organic inhibitors that use a one-step multicomponent reaction (MCR) pathway are achieved by microwave heating and ultrasonication techniques and are cost effective and eco-friendly. Thus, sustainable corrosion inhibitors can be prepared through MCRs, and US/MW combined techniques [40,41] have also been used prominently by some researchers.

1.3. Ionic liquids (ILs) as corrosion inhibitors

Ionic liquids (ILs), which have high chemical and thermal stability, zero toxicity, melting points lower than 100 °C, extremely low vapor pressure, high polarity and that are environmentally friendly are regarded as the second class of corrosion inhibitors that have recently attracted the attention of scientists and researchers [42]. Ionic liquids, as the name implies, contain both cations and anions. In comparison to conventional corrosion inhibitors, the vapor pressure of ionic liquids is high, meaning that they do not evaporate easily at high temperatures and are soluble in a strongly corrosive environment. Additionally, the structure of ionic liquids can be

easily modified, and various derivatives can be easily made to show many physicochemical properties, including ionic character, less volatility, greenness, nonflammability, and high thermal and chemical stability. Hence, ionic liquids as corrosion inhibitors are regarded as the forefront of the field compared to other corrosion inhibitors [3,43,44]. In addition to ILs, some other important materials, such as polymers, composites, self-healing materials, nanomaterials, carbon nanotubes (CNTs) [45,46], graphene [47], and metal complexes [48], have been used in previous studies for corrosion protection. The abovementioned corrosion inhibitors adsorb on the metal surface, primarily through electrostatic and chemical bonds, to form a thin protective layer. In this way, corrosion inhibitors interact with the 3d orbital of the metal from their active site and form stable bonds and then produce protective sheets to protect the metal surface from corrosion. The use of carbon-based materials such as carbon nanotubes (CNTs), carbon nanorods (CNRs), graphene and quantum dots (CDs) as corrosion inhibitors has arisen over the last few years. In addition, CDs are carbon-based nanomaterials that have specific and novel properties that are used for corrosion inhibition as well as multiple other applications.

1.4. CDs: Properties, synthesis methods and application

Carbon dots (CDs) are an emerging class of carbon-based nanomaterials with sizes ranging from 2 to 10 nm and have a zero-dimensional structure. Fig. 1 demonstrates the various allotropes of carbon, indicating their dimensional structural orientations. Some properties of CDs, such as photoluminescence behaviour, low toxicity, photoinduced electron transfer, thermal stability, inertness towards chemicals and good biocompatibility, make them unique. CDs can be fabricated by various techniques, such as ultrasonication (US) microwave irradiation (MW), hydrothermal reactions, laser ablation and electrochemical oxidation.

Using these methods, polymerization, oxidation chemical reaction, pyrolysis and carbonization are applied to produce CDs. CDs with oxygen-doped or nitrogen-doped functional groups behave as excellent semiconductors. Because of their semiconducting properties, CD nanoparticles are mainly applied in water pollution treatment, ion sensing, supercapacitors, photocatalysis membrane fabrication, heavy metal detection and biological imaging. Moreover, as a result of the high quantum confinement of their optoelectric and photoluminescent nature, CDs are fluorescent materials [49–51]. Due to their optical stability and quantum confinement character, they exhibit chemical inertness, high thermal stability, and high fluorescent and photoluminescent properties [52,53]. The fluorescent properties of CDs are also affected by the emissive properties of the carbon-based precursors of the raw materials. Raw materials such as carbohydrates, citric acids, and sugar contain a number of carbon precursors that are applied extensively for the fabrication of CDs. CDs have unique characteristics, such as semiconductor properties, photoluminescence and photoinduced electron transfer capabilities, and they are generally used in wastewater treatment [54], heavy metal detection [55] and removal of inorganic and organic substances. Additionally, CDs are carbon-based nanomaterials, and because of their properties, they can potentially be applied in photocatalytic processes [56], nanosciences [57], photoelectrochromic devices [58], sensor fabrication [59] and nanotechnologies [60] (Fig. 2).

Some recent review articles by various researchers have demonstrated the potential behaviours and wide applications of CDs in the various fields of science and technology. Zhang and coworkers (2016) reported their use in nitrate detection for food analysis [61], and Chatzimitakos et al. (2017) reported that the sensing the concentrations of tetrazine heterocyclic compounds in commercially available energy drinks [62]. Similarly, Moham-

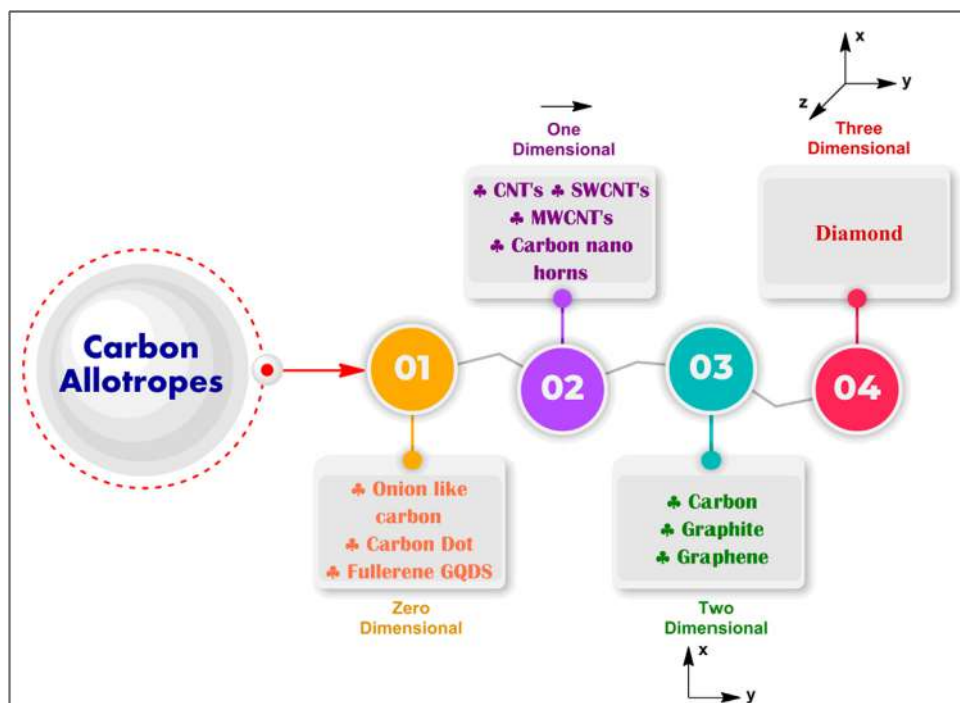


Fig. 1. Various allotropes of carbon.

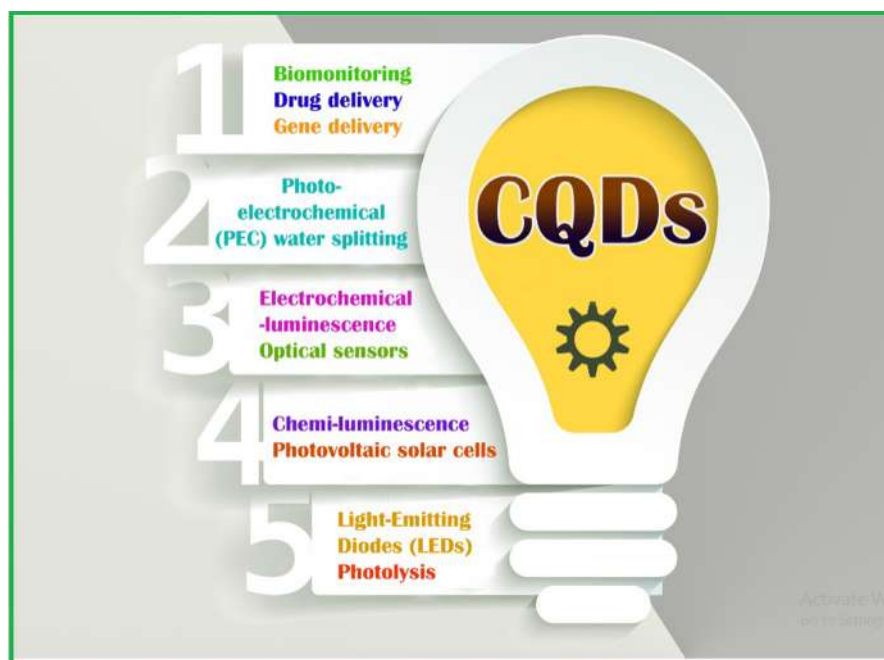


Fig. 2. Recent applications of carbon quantum dot-based materials.

mad et al. (2019) published a review article on food waste-based fabrication of CDs and their application towards food safety detection in samples [63] based on size. CDs containing extended π -electronic systems can also be used in energy storage devices, such as in anodes of potassium-ion [64] and lithium-ion batteries [65]. The photocatalytic properties of CDs can be enhanced owing to their activity towards visible light, as they can convert sunlight into the desired photocatalytic wavelength. Previous studies and investigations have reported that some important methods and techniques utilize numerous natural resources to fabricate CDs that

are purely carbon-based materials. Ascorbic acid, citric acid, food wastes, caustic soda, graphitic microparticles, ammonium citrate, gelatine, and humic acid are some important classes of natural materials applied extensively to fabricated CDs [66]. In general, natural or organic waste carbon sources are biodegradable, environmentally friendly, cost-effective and easily available for potential use in fabricating CDs. The properties of CDs, such as chemical behaviour, chemical structure, orientation, photoluminescence and quantum size, depend mainly on the nature of the fabrication method and the raw materials used [67]. The physicochemical

properties of CDs can also be tuned by altering the reaction condition, temperature, reaction time, precursor and pH of the medium [68]. Additionally, the fluorescent effects, chemical structure and physical properties of CDs can be improved by functionalization of the surface and chemical modification of inorganic and organic raw materials. Several methods for the fabrication of CDs [97] have been reported in previous investigations in which ultrasonication, microwave irradiation, carbonization, and hydrothermal and heating processes are predominant. Qiao G et al. (2019) used a hydrothermal process for the fabrication of CDs synthesized using 1,3 phenylenediamine and citric acid as raw materials (Fig. 3) [69].

2. Analysis of the corrosion protection performance of CQDs

2.1. Experimental methods

Traditional experimental methods are used on a large scale to determine corrosion and its mechanism in metallic materials such as metals and alloys. Major experimental techniques include weight loss (gravimetric/mass loss) measurement and electrochemical techniques such as potentiodynamic polarization (PDP), linear polarization (LPR) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). Weight loss measurements are likely the most widely used technique to measure corrosion inhibitors. The weight loss technique can be easily applied due to its simplicity, ease of performance, consistency and reliability, and it does not require well-equipped labs, instruments and chemicals. Corrosion is an electrochemical reaction based on a redox process that involves both cathodic and anodic reactions. Electrochemistry is a very fruitful and important technique to determine a material's corresponding electrochemical behaviour, kinetics and adsorption mechanism. EIS is an important tool in electrochemical analysis, by which the adsorptive nature and interfacial properties of inhibitor molecules can be measured during corrosion inhibition; these properties include polarization resistance (R_{ct}), double-layer capacitance (C_{dl}) and inhibitor efficiency. Parameters such as the corrosion current density (i_{corr}), corrosion potential (E_{corr}), Tafel indices, and cathodic and anodic Tafel slopes (β_a , β_c) can be calculated by the same PDP technique.

Shuyum et al. (2020) reported N-doped carbon dots for carbon steel corrosion in a H_2SO_4 medium. They applied techniques such as X-ray diffraction spectroscopy (XRD), transmission electron microscopy (TEM), Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy and electrochemical techniques for the evaluation of N-doped CDs as corrosion inhibitors for carbon steel. They reported a per-

centage inhibition efficiency of 97.8% at 30 mg/L N-CDs according to PDP analysis. Additionally, in their work, they reported that the values of β_a and β_c decreased gradually when the concentration of inhibitor was increased. The PDP results show that the techniques were excellent [14].

Similar work has also been reported by Vandana Saraswat and M. Yadav (2020) in which they used S, N co-doped CDs as potential corrosion inhibitors for MS in a 1 M HCl electrolyte. Techniques such as weight loss, electrochemical, XPS, XRD, SEM and AFM were applied in their investigation. According to the EIS measurements, CD1 and CD2 exhibited inhibition efficiencies of 94.4% and 90.8%, respectively, at their optimum concentrations [17]. Surface characterization techniques were used to measure the inhibition efficiency, adsorptive properties and interactions of metal surfaces; corrosion characterization techniques, FTIR, SEM, EDS, atomic force microscopy (AFM), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and XRD were used. By using these techniques, the morphological changes of the metal surface in the presence of an acidic solution were studied before and after the use of the inhibitors. In these studies, the use of SEM, FTIR and XRD was prominent. The chemical composition of the metallic surface was studied with the help of EDS. AFM and XPS techniques were used to study the bonding energy of the 3D metal surface changes and between the inhibitor and metal surfaces, respectively. Yuwei et al. (2020) reported the inhibition performance of N-doped citric acid-based CDs on an MS surface in a 1 M HCl electrolyte. They reported various techniques for the determination of the inhibition performance of CD materials, including electrochemical analysis, FTIR, XPS, SEM, and AFM. The results of the surface characterization techniques show excellent agreement with other studied techniques [70].

2.2. Theoretical calculation

Experimental methodologies show only the adsorption properties of an inhibitor. From experimental techniques, it is difficult to determine which part of the inhibitor molecule is more responsible for interacting with the metal surface. Molecular modelling and simulations of the metal surface play a vital role in understanding the actual atomistic interaction of corrosion.

Quantum- and atomistic-based simulations were performed to provide deeper insight into the corrosion inhibition mechanism on the molecular and atomic scales. In this regard, quantum chemistry-based calculation density function theory (DFT) has been applied extensively in the last few years. Similar molecular simulation-based analyses, molecular dynamic (MD) simulations

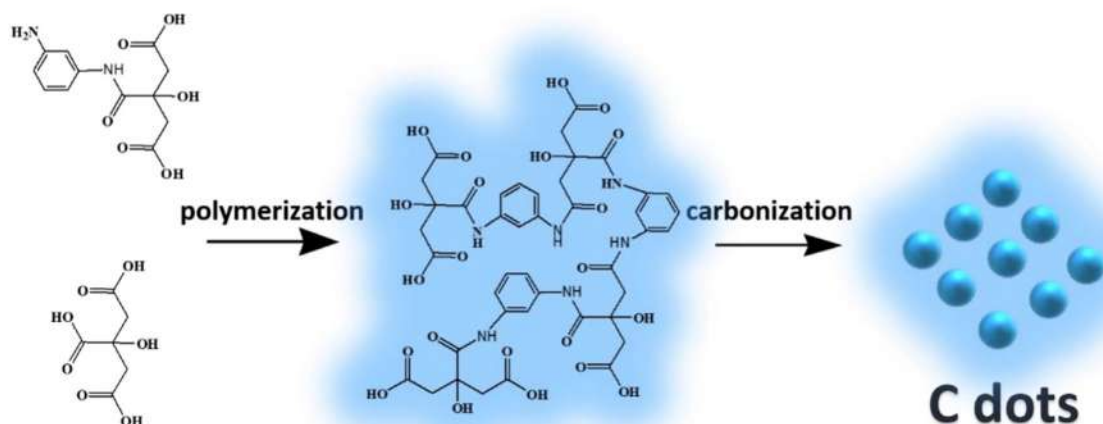


Fig. 3. Synthetic route of CD fabrication through carbonization and polymerization processes. (Copyright 2019, Elsevier [63]).

and Monte Carlo (MC) simulations, have also been applied. With the help of DFT, the frontier molecular orbitals (FMOs), the highest occupied molecular orbital (HOMO) and lowest unoccupied molecular orbital (LUMO), can be calculated. Other important global parameters, such as electronegativity (χ), global hardness (η), global softness (σ), dipole moment (μ) and energy gap (ΔE), can also be calculated using quantum calculations, and the related expressions are (Eqs. 1–6) [35,71]:

$$IE = -E_{HOMO} \quad (1)$$

$$EA = -E_{LUMO} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{1}{2}(IE - EA) = \frac{1}{2}(-E_{HOMO} + E_{LUMO}) \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{1}{\eta} \quad (4)$$

$$\chi = \frac{1}{2}(IE + EA) = \frac{1}{2}(-E_{HOMO} - E_{LUMO}) \quad (5)$$

$$\Delta N = \frac{\phi - X_{inh}}{2(\eta_{Fe_{110}} + \eta_{inh})} \quad (6)$$

where $\Phi_{Fe(110)} = 4.82$ eV and $\eta_{Fe(110)} = 0$ eV were used to determine the fraction of electron transfer (ΔN). Local reactivity sites that are electrophilic and nucleophilic attack can also be calculated by using the Fukui functions (Eq. (7) & (8)) [31]:

$$\text{Nucleophilic attack} \Rightarrow f_k^+ = P_k(N+1) - P_k(N) \quad (7)$$

$$\text{Electrophilic attack} \Rightarrow f_k^- = P_k(N) - P_k(N-1) \quad (8)$$

where $P_k(N)$, $P_k(N+1)$, and $P_k(N-1)$ are the neutral, anionic, and cationic Mulliken populations of the molecule, respectively.

Previous research suggests that molecules with higher HOMO values can easily donate electrons, whereas molecules with low LUMO values easily accept electrons through an electron-accepting mechanism [70]. The use of similar, more recent molecular simulations, such as Monte Carlo simulations and molecular dynamic simulations, provides a theoretical calculation of how corrosion inhibitors in the aqueous phase adsorb on the metal surface. MD and MC simulations are environmentally friendly, inexpensive, immersing techniques that determine the orientation and adsorption nature of the interactions between the inhibitor and the metal. Molecular dynamics (MD) is a theoretically based molecular modelling system in which the trajectory of a compound can be easily described by the classical Newtonian mechanism. Through the MD simulation, the transport properties and equilibrium of the classical complex body system can be calculated [72]. During the corrosion inhibition mechanism, the inhibitor molecule adsorbs above the metallic surface. During corrosion inhibition, the molecules adsorb above the metallic surface and protect the surface from corrosion by creating a protective layer. Therefore, the orientation of the inhibitor on the metal surface is an important consideration. If the molecule has a flat orientation on the metal surface, it adsorbs on more areas of the metal surface, while an inhibitor molecule with a vertical or nonplanar orientation is less efficient. When the inhibitor molecule adsorbs on the metal surface, energy develops in the form of heat, that is, it is an exothermic reaction. In this regard, in the MC simulation, the total energy can be defined as the sum of the inhibitor energy, deformation energy and adsorption energy [73] Eq. (9):

$$E_{total} = E_{inhibitor} + E_{rigid} + E_{def} \quad (9)$$

In a similar MD simulation, the interaction energy between the molecule and inhibitor molecule is computed with the following expression [74] Eq. (10):

$$E_{internal} = E_{total} - (E_{surface} + E_{solution} + E_{molecule}) \quad (10)$$

where each rotation contributes to the binding energy of the metal/molecule system, and the binding energy can be regarded as the negative of internal energy of the system; it can be expressed as [74] Eq. (11):

$$E_{Binding} = -E_{interaction} \quad (11)$$

Similarly, the more important energies of a complex system, including the torsion energy ($E_{torsion}$), bond length energy (E_{bond}) and van der Waals energy (E_{vander}), can be calculated from the MD simulation.

Quantum calculations and molecular modelling of carbon quantum dots (CDs) are not possible because CDs are zero-dimensional (0 D), but due to the organic complex molecules involved in the fabrication of CDs, their DFT, MD and MC simulation is possible. Lio et al. (2020) studied the anti-corrosion properties of N-CD-doped three materials in steel corrosion. They reported the E_{HOMO} (-0.1462 eV), E_{LUMO} (-0.0843 eV) and ΔE (0.0619 eV) of the N-CDs obtained from the DFT calculation, as well as the 188.47 kJmol $^{-1}$ obtained from the binding energy. Analysis of both the DFT and MD simulations shows that higher HOMO and $E_{Binding}$ energies of N-CDs resulted in the excellent inhibition properties of inhibitor molecules [75]. Relevant work has also been reported by Y. Ye et al (2020) in which they used ascorbic acid- and t-histidine-based NCD-doped materials for metal protection against corrosion in HCl electrolytes. They reported a higher value of E_{HOMO} -0.1481 eV and binding energy ($E_{binding}$) 190.85 kJ.mol $^{-1}$ for N-CD materials among all studied systems [76]. Fig. 4 indicates that the HOMO is more localized towards more electron-rich centres, whereas the LUMO is localized towards the electronegative and electron accepting groups.

3. Main part

3.1. CDs as corrosion inhibitors in the acidic solution

In the gas and oil industry, acidification is used to remove corrosion deposits inside metal pipes. During these processes, a more acidic solution (HCl and H₂SO₄) was used for acidification. As a result, the surface of metal materials were substantially corroded. Corrosion inhibitors were added to the acidification solution to protect the metal material from corrosion destruction. Currently, several types of corrosion inhibitors are used. Among them, CD corrosion inhibitors are more efficient and environmentally friendly. Recently, some research works related to CD corrosion inhibitors have been investigated (Table 3). For example, Vandana Saraswat and Mahendra Yadav synthesized S, N co-doped (CD1) and N doped (CD2). Their chemical structure was confirmed by TEM, Raman spectroscopy and FTIR analysis. The dimensions of CD1 and CD2 were between 1.63 nm and 2 nm. The protection degree of CD1 and CD2 for mild steel in 15% HCl was investigated by electrochemical, gravimetric and surface morphology analysis. It was confirmed that these CDs are environmentally friendly corrosion inhibitors; the maximum inhibition performances of CD1 and CD2 were 96.40 and 90.00% at 100 ppm, respectively. The obtained Langmuir adsorption isotherms confirmed the physisorption behaviour of selected CD inhibitors. The XPS results suggested that the heteroatoms of the selected CDs bind on the MS surface; this action is mainly responsible for the inhibition performance [17]. Cao et al. introduced N-doped functionalized carbon dots (N-CDs), which can act as excellent and environmentally friendly inhibitors. The elec-

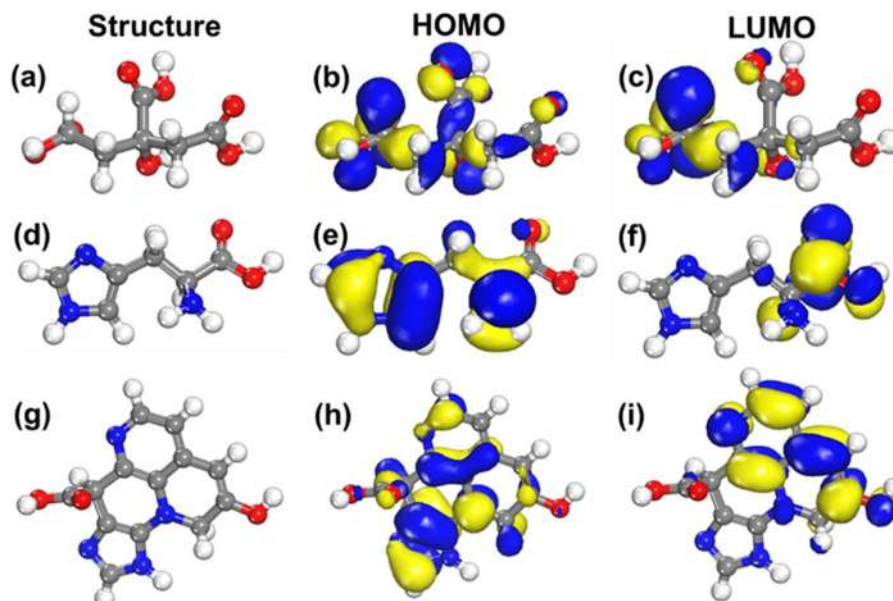


Fig. 4. The optimized geometry, LUMO and HOMO distributions of inhibitor molecules (a)(b)(c) CA, (d)(e)(f) L-His, (g)(h)(i) N-CDs (COPYRIGHT @ ELSEVIER 2020).

trochemical cathodic hydrogen evolution and anodic steel dissolution were importantly reduced by the presence of these NCDs. The Langmuir adsorption isotherms suggested that the N-CDs adsorb onto the steel surface by forming a barrier against corrosive species. Graphitic N is responsible for physical adsorption, while chemisorption is carried out through the pyridine and pyrrole-like N atoms [14]. JieLv et al. synthesised new N-doped carbon dots (cdh-CDs) from low-cost products such as urotropine, citric acid, and diethylenetriamine by microwave synthesis methodology. This method resulted in economically efficient cdh-CDs for use as corrosion inhibitors for the gas and oil industry. The study also stressed that the cdh-CDs are excellent anti-corrosion resistance molecules for steel materials in highly acidic, corrosive solutions, and that they also have water solubility, biocompatibility, low toxicity and are good optical agents [77]. Cui et al. used the microwave method to synthesize new nitrogen-doped carbon dots (NCDs) from citric acid monohydrate (CA-H₂O) and ethanolamine (EA). The electrochemical and weight loss methods demonstrated the excellent inhibition performance of NCDs. The presence of pyrrolic N in the N-CDs was mainly responsible for the inhibition action because the paired electrons in the nitrogen atoms are transferred to vacant d-orbitals of iron. As a result, the N-CDs strongly adsorbed on the metal surface to form a protective film, which can maximally insulate the metal surface from the corrosive solution and block the corrosion destruction of the metal surface [78]. Liu et al. introduced three new N-doped carbon dot (N-CD) inhibitors for steel metal samples in an acidic medium. It was found that (i) the maximum inhibition protection degrees of N-CDs were 94.23% (150 °C), 97.43% (180 °C) and 90.32% (210 °C) at 200 mg/L; (ii) N was successfully doped into the carbon dots in the form of pyridine-like N, pyrrole-like N and graphitic N, which are attributed to an increase in the inhibition performance; (iii) MD simulation calculation indicated that the N-CDs were strongly adsorbed at steel/solution interface in a parallel way [75]. Cen et al. first investigated the inhibition performance of new N and S co-doped carbon dots (N,S-CDs) for 5052 aluminium alloys in a more aggressive acidic medium. The obtained results confirmed that the N,S-CDs were excellent corrosion inhibitors for aluminium metal at low concentrations in acidic environments. The corrosion resistant film was formed on the aluminium surface by the diffusion and

agglomeration of N,S-CDs. Zeta potential analysis shows that the N,S-CDs are more stable in acidic media. It was also found that the nanoscale size of the CDs influenced the inhibition performance, which means that the velocity of the CDs decreased as the size increased [79]. Qiang et al. introduced new CDs for copper metal in acidic media. An anti-corrosion barrier of CDs on the metal surface was formed, resulting in the transportation of corrosion processes being blocked. It was found that (i) the studied CDs are cathodic inhibitors; (ii) the CDs electrostatically interact with the copper surface; and (iii) the mechanism of anodic (copper dissolution) and cathodic reactions (oxygen reduction) is influenced by the presence of CD corrosion inhibitors [80]. In subsequent research work, new nitrogen-doped carbon dots (NCDs) were synthesized using p-phenylenediamine (p-PD) and o-phenylenediamine (o-PD), which were ultrasonically dissolved in ethanol and then transferred into poly(tetrafluoroethylene) autoclaves. Finally, the reaction products were cooled to form p-CDs and o-CDs [81]. It was also indicated that the anodic current density was notably reduced in the presence of CDs. The p-CDs and o-CDs adsorbed on the steel surface by physical and chemical adsorption mechanisms. The p-CDs and o-CDs contained more nitrogen and aromatic rings, in which paired p-electrons and delocalized π -electrons were located. These properties are mainly responsible for the inhibition performance. Zhou et al. used a new micro-zone electrochemical exfoliation method for the large-scale fabrication of nitrogen-doped carbon quantum dots (N-CQDs) from a prebaked carbon anode (PCA) in ammonium bicarbonate electrolyte. This inhibitor is more efficient for copper surfaces in acidic media. It was also indicated that (i) the corrosion-electrochemical processes were controlled in the presence of corrosion inhibitor; (ii) N-CQDs reacted with the copper ions to form an active complex (N-CQDs/Cu_xO), which rapidly deposited on the metal surface; and (iii) it was easier to form a compact protective film of N-CQDs/Cu_xO due to the decreased steric hindrance and increased activity of the O and N atoms [82]. A new N-based CD corrosion inhibitor was synthesized through the hydrothermal method in n-butylamine and methacrylic acid precursors [83]. It was found that the corrosion current density the electrochemical impedance dramatically increased in the presence of N-based CD corrosion inhibitors. This

Table 3

CDs as corrosion inhibitors in the acidic solution.

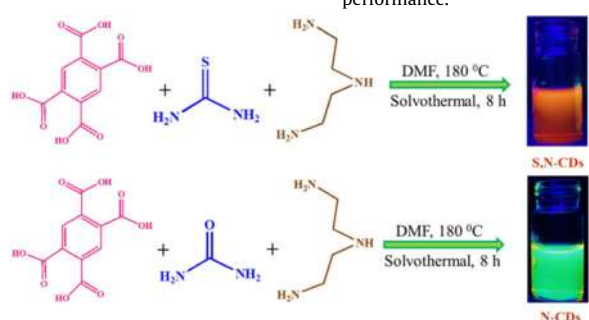
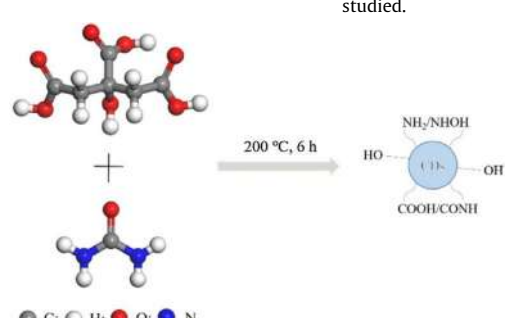
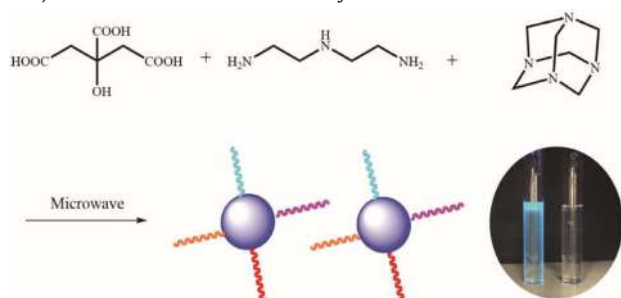
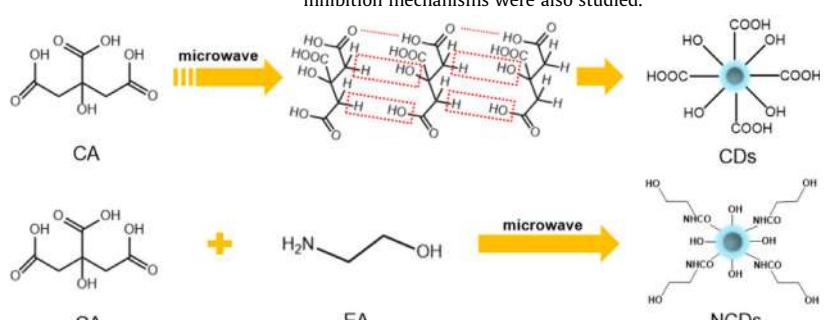
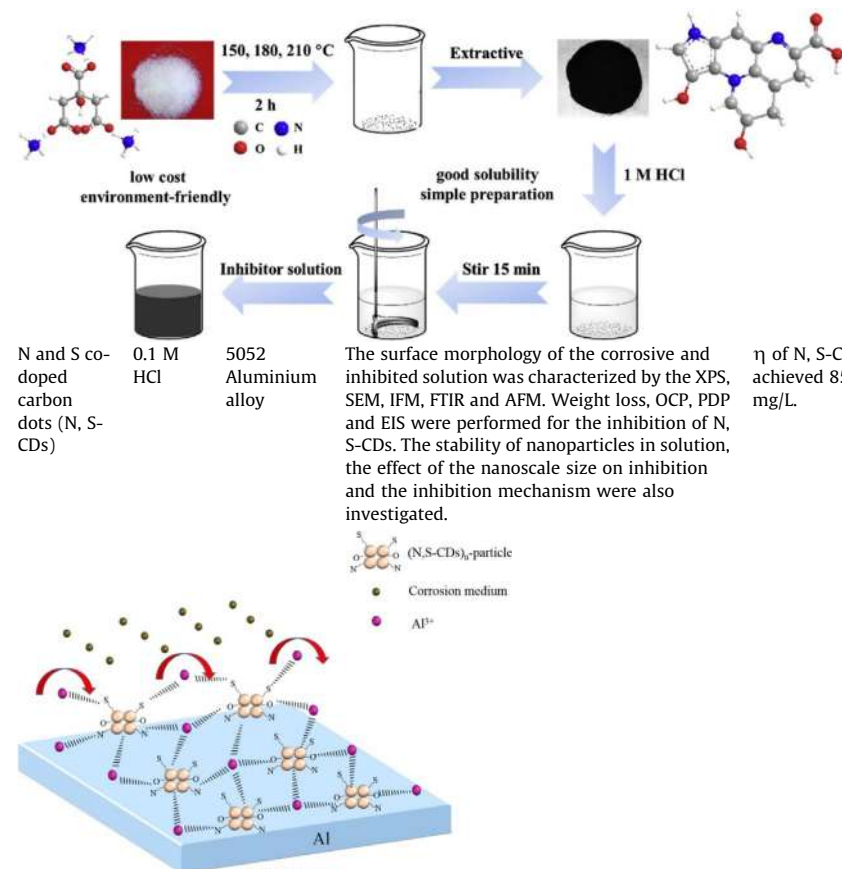
SN	Name	Acidic solution	Metal sample	Investigations/Techniques	Maximum protection degree (η)	Adsorption mechanism (isotherm and type)	Ref.
	Carbon quantum dots CD1 and CD2	15% HCl	Mild steel	Structural characterization of CDs was analysed by the TEM and FTIR; Raman spectroscopy was performed to examine the various states of the CDs; Gravimetric, kinetic, thermodynamic, EIS PDP, XPS, SEM and AFM methods were used to analyse the inhibition performance.	η % of CD1 and CD2 at 100 ppm is 96.4 and 90.00%, respectively at 303 K	The values of ΔG_{ads} and ΔH_{ads} suggested that the adsorption of CDs is physisorption. A Langmuir isotherm was used.	[17]
							
	Nitrogen-doped functionalized carbon dots (N-CDs)	0.5 M H_2SO_4	Carbon steel	FTIR, UV-vis, XRD, and TEM analysis were used for the structural analysis of N-CDs. EIS and PDP were performed to analyse the electrochemical properties of N-CDs on the metal surface. The corrosion morphology was tested by AFM, SEM and XPS. The adsorption type and inhibition mechanism were also studied.	η % of 97.8% at N-CDs 298 Kat 30 mg/L.	Langmuir, Freundlich, Temkin and Frumkin, models were examined. Physical and chemical adsorption occurred at the steel/solution interface.	[14]
							
3.	N-doped carbon dots (cdh-CDs)	1 M HCl	Carbon steel	FTIR, UV-vis, XRD, and TEM analysis were used for the structural analysis of cdh-CDs. Static weightless, PDP, EIS and adsorption isotherms were performed to analyse the inhibition characteristics.	η for cdh-CDs accounted for 81.2% at 600 ppm.	The interaction between the CDs and N80 carbon steel surface involves chemical and physical adsorption and follows Langmuir isotherm.	[77]
							

Table 3 (continued)

SN	Name	Acidic solution	Metal sample	Investigations/Techniques	Maximum protection degree (η)	Adsorption mechanism (isotherm and type)	Ref.
4.	Nitrogen-doped carbon dots (NCDs)	0.1 M HCl	Q235 carbon steel	Micro-FTIR for functional analysis; SPM and TEM for surface morphology analysis; XPS for elementary composition analysis; EIS and PDP for electrochemical tests; Weight loss method for thermodynamic measurements. Effect of temperature and concentration, adsorption isotherms and possible inhibition mechanisms were also studied.	η for NCDs was 89.98% at 500 ppm with 303 K.	The Langmuir adsorption isotherm was employed for the adsorption of NCDs on Q235 carbon steel, which involves chemisorption and physisorption. NCDs are mixed-type inhibitors.	[78]
							
1. 5.	Three kinds of N-doped carbon dots (N-CDs) inhibitors	1 M HCl	Steel	The structure of N-CDs was confirmed by the FTIR and UV-vis. Surface-functional analysis was performed by the XRD, Raman and XPS, TEM and SPM used for the surface morphology. Electrochemical behaviour, corrosion rate and morphology analysis and adsorption type analysis were also performed. The molecular simulation calculation employed for the theoretical characteristics.	η of N-CDs were 94.23% (150 °C), 97.43% (180 °C) and 90.32% (210 °C) at 200 mg/L, respectively.	The adsorption film was formed by a physicochemical interaction, which obeyed the Langmuir adsorption model.	[75]
							
	N and S co-doped carbon dots (N, S-CDs)	0.1 M HCl	5052 Aluminium alloy	The surface morphology of the corrosive and inhibited solution was characterized by the XPS, SEM, IFM, FTIR and AFM. Weight loss, OCP, PDP and EIS were performed for the inhibition of N, S-CDs. The stability of nanoparticles in solution, the effect of the nanoscale size on inhibition and the inhibition mechanism were also investigated.	η of N, S-CDs achieved 85.9% at 5 mg/L.	–	[79]

(continued on next page)

Table 3 (continued)

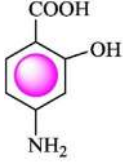
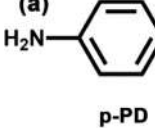
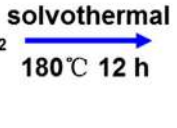
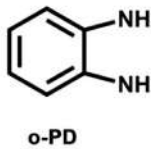
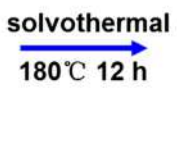
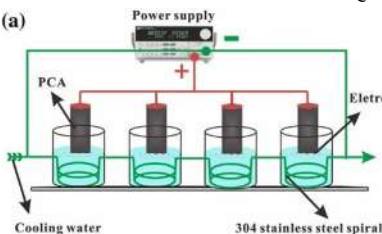
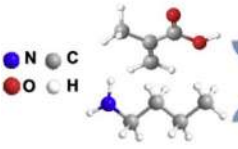
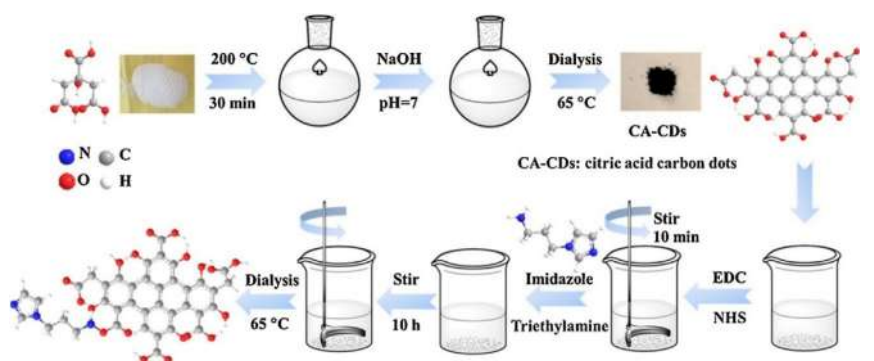
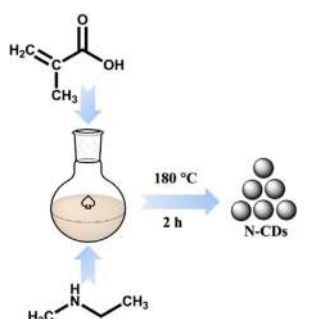
SN	Name	Acidic solution	Metal sample	Investigations/Techniques	Maximum protection degree (η)	Adsorption mechanism (isotherm and type)	Ref.
2. 6.	N-doped carbon dots (NCDs)	0.5 M H_2SO_4	Copper	The chemical structure of the NCDs was evaluated by FT-IR, Raman, and XPS, TEM and AFM were used for the surface morphology. Polarization curves, impedance tests, the influence of temperature, weight loss experiment, adsorption isotherm study and anticorrosion mechanism were studied.	η of NCDs was 91.1% at 50 mg/L.	The Langmuir isotherm model showed a mixed interaction (physisorption and chemisorption) at the copper/solution interface, while chemisorption played a major role.	[80]
							
	p-CDs and o-CDs	1 M HCl	Q235 carbon steel	The characterization of p-CDs and o-CDs was performed by the spectroscopic methods. Potentiodynamic polarization, electrochemical impedance spectroscopy, adsorption isotherm, analysis of the immersion time, SEM and EDX were performed to investigate the inhibition.	η for p-CDs and o-CDs was greater than 97% and changed slowly with rising immersion time.	The Langmuir adsorption isotherm showed that the absorption of the p-CDs and o-CDs involved both chemisorption and physisorption.	[81]
	(a) 						
							
	(b) 						
							
	Nitrogen-doped carbon quantum dots (N-CQDs)	1.0 mol/L sulfuric acid	Copper	HR-TEM and AFM were employed to analyse the morphology and distribution of N-CQDs. The chemical component and structure analyses of the N-CQDs were carried out by XPS, FTIR and Raman spectroscopy. The inhibition performance of the N-CQDs on copper foil, mechanism of the novel electrochemical process and inhibition performance of N-CQDs were researched.	η of N-CQDs was 96.32% at 150 mg/L.	Mixed type	[82]
	(a) 						
	N doped carbon dots (N-CDs)	1 M HCl	Q235 steel	Characterization of N-CDs FTIR, UV-vis, Raman and XPS spectra were performed to characterize the chemical structures of N-CDs. The electrochemical study, surface analysis, weight loss measurement and adsorption isotherm were performed.	η of N-CDs was 94.96% at 200 mg/L.	The Langmuir adsorption model showed that the adsorption type was physicochemical interaction at the metal/solution interface.	[83]
							
							

Table 3 (continued)

SN	Name	Acidic solution	Metal sample	Investigations/Techniques	Maximum protection degree (η)	Adsorption mechanism (isotherm and type)	Ref.
	Functionalized carbon dots (FCDs)	1 M HCl	Q235 steel	Structural analysis of FCDs, morphology analysis of FCDs, OCP analysis, EIS analysis, Tafel analysis, SVET analysis, corrosion morphology analysis, corrosion rate analysis and adsorption isotherms were performed.	η of FCDs was over 90% at 100 mg/L.	The Langmuir adsorption model was used. The adsorption mechanism was the physicochemical interaction at the steel/solution interface.	[84]
	 CA-CDs: citric acid carbon dots						
	N-doped carbon dots (CDs)	1 M HCl	Q235 steel	FTIR, UV-vis and XPS analysis of CDs was performed for functional characterization; TEM and SPM analysis were used to study the CD surface morphology; open circuit potential (OCP) analysis, EIS analysis, Tafel analysis, local corrosion analysis, Zeta potential analysis, weight loss analysis, corrosion morphology analysis, adsorption type analysis and protective mechanism analysis were used for inhibition analysis.	η of CDs was over 90.9% at 200 mg/L.	The Langmuir adsorption model was used; the adsorption type consisted of chemical and physical adsorptions at the steel/solution interface, which was also confirmed by XPS analysis.	[70]
	 pyridinic N atom pyrrolic N atom graphitic N atom						
	N-doped carbon dots	1 M HCl	Carbon steel	The structure was characterized by FTIR, UV-vis, and XPS spectroscopy. Electrochemical studies, weight loss measurement, corrosion morphology, product analysis and adsorption isotherms were performed.	η of N-doped carbon dots was 93.93% at 200 mg/L.	The adsorption mechanism of the prepared N-doped carbon dots on a steel surface involved physicochemical interactions, which strictly complied with the Langmuir adsorption model in both solutions.	[85]
	 N-CDs						

(continued on next page)

Table 3 (continued)

SN	Name	Acidic solution	Metal sample	Investigations/Techniques	Maximum protection degree (η)	Adsorption mechanism (isotherm and type)	Ref.
	N-doped carbon dots (N-CDs)	0.1 M HCl	Q235 steel	The structure of the N-CDs was analysed by FTIR, UV-Vis, XRF and XPS spectroscopy. OCP analysis, Tafel analysis, EIS analysis, corrosion rate analysis, corrosion morphology analysis, corrosion product analysis, Langmuir model analysis and an MD simulation were carried out.	η of N-CDs was 96.13% at 200 mg/L.	The adsorption methods of these inhibitors were chemisorption and physisorption at the steel/solution interface; the mechanism was confirmed by the Langmuir model.	[76]
	Functionalization of citric acid-based carbon dots	1 M HCl	Q235 steel	The structure was characterized by the FTIR, UV-vis, and XPS spectroscopy. Electrochemical studies and weight loss measurements were performed, and the corrosion morphology, products, and adsorption isotherm were analysed.	η of N-doped carbon dots was 91.1% at 200 mg/L.	The Langmuir adsorption model shows that the corrosion inhibition of IM-CDs followed a physicochemical adsorption mechanism.	[15]
	N-doped carbon dots	1 M HCl	Steel	The structure was characterized by the FTIR, UV-vis, and XPS spectroscopy. Electrochemical studies and weight loss measurements were performed, and the corrosion morphology, products, and adsorption isotherm were analysed.	94% at 200 mg/L	The Langmuir adsorption model indicates that the investigated N-doped carbon dots are mixed type.	[97]

result is due to the formation of an adsorbed film on the steel surface through diffusion and agglomeration. The chemical and physical adsorption mechanisms were dominant in these inhibition activities. In the following works, economically and environmentally efficient CDs were synthesized, and their high inhibition efficiency was confirmed. For instance, functionalized carbon dots (FCDs) were obtained by the conjugation of citric acid and imidazole carbon dots (CA-CDs) in [84]; new N-doped carbon dots (CDs) were acquired through the pyrolysis of ammonium citrate at 180 °C for 1, 2 and 3 h [70], new inhibitors (N-CDs) were synthesized by the hydrothermal method in ethyl(methyl)amine and methacrylic acid precursors [85], N-doped carbon dots (N-CDs) were formed through the reaction between citric acid and L-histidine [76], and the functionalization of citric acid-based carbon dots was modified with imidazole to create new CDs [15]. It was revealed that the OCP was nearly stable during the immersion time, showing the stability of the protective CD film on the metal surface. The CDs were effectively deposited on the metal surface in the acidic medium, which could protect the metal from corrosion destruction. The cathodic and anodic Tafel curves were importantly changed with the addition of CDs in the acidic medium,

suggesting that the cathodic hydrogen evolution and anodic iron dissolution were maximally blocked in the presence of CDs. The solution resistance and polarization resistance were considerably increased with the CDs, showing that the CDs are good polarization resistance molecules. XPS results confirmed [97] that γ -FeOOH, α -FeOOH and Fe_3O_4 and chloride corrosion ions on the metal surface were removed in the presence of CDs.

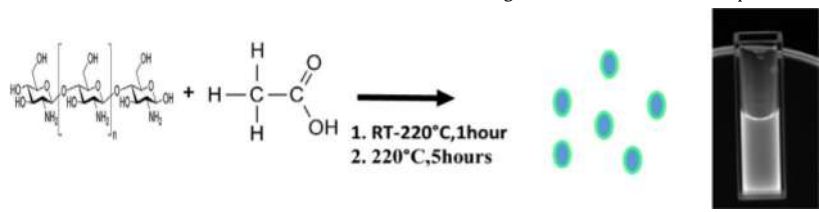
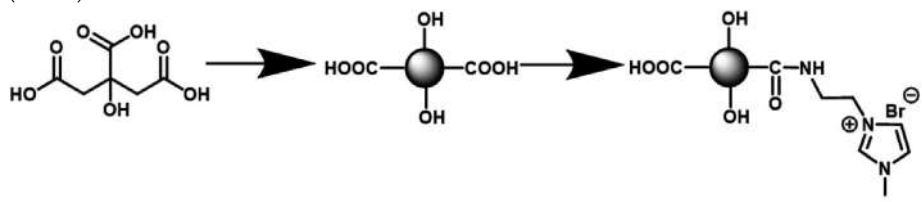
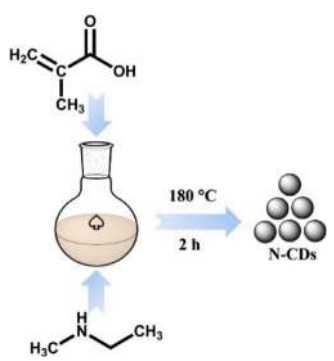
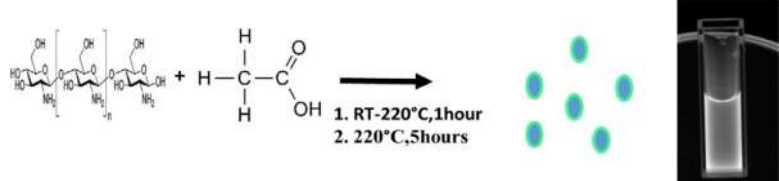
3.2. CDs as corrosion inhibitors in the saline solution

Metallic materials are easily corroded in saline environments because saline solutions contain chloride ions, which are aggressive, corrosive ions. These ions effectively adsorb on metal surfaces and react with the metal ions to form corrosive deposits. Underground water, sea water, and the aqueous phase of crude oil are more saline environments. The metallic materials in these sectors corrode in the saline medium. Currently, several corrosion inhibitors are used as more effective ways to protect metal from corrosive saline media. Environmentally friendly, effective and low-cost corrosion inhibitors are important tasks in modern industry. Therefore, some research has suggested that CDs can be used for

saline corrosion resistance (Table 4). For example, K. Keerthana and P. Muhamed Ashraf introduced a new CD corrosion inhibitor for carbon steel in 3.5% NaCl. The studied CDs had high chemical or thermal stability, low toxicity, high conductivity and were environmentally friendly corrosion inhibitors. These properties make CDs more efficient. Chitosan was modified with acetic acid to synthesize the CDs. The CV results confirmed that the oxidation peak of Fe_2O_3 appeared at -0.35 V in the corrosive medium, while a reduction peak was observed at -0.90 V. No oxidation and reduction

peaks were obtained in the presence of the CDs, indicating that the CD inhibitor formed blocked the corrosion on the metal surface [86]. Yang et al. modified citric acid-based carbon dots (CDs) with imidazole (IM-CDs) and investigated their inhibition performance for Q235 steel in saline medium (3.5 wt% NaCl). It was found that the hydrogen charge on the cathodic site was blocked with the presence of CDs. As a result, the overpotential of the hydrogen evolution reaction process was increased, and the cathodic process of acid corrosion was reduced. According to the electrochemical

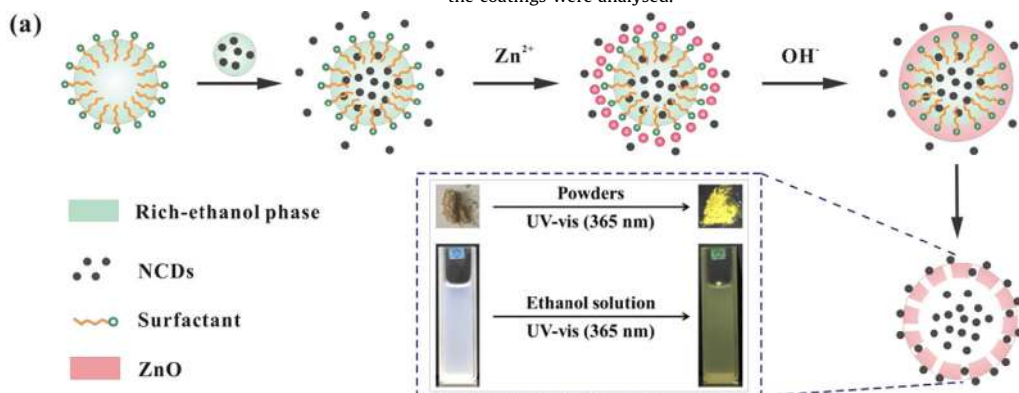
Table 4
CDs as corrosion inhibitors in saline solution.

SN	Name	Saline solution	Metal sample	Investigations/Techniques	Maximum protection degree (η)	Adsorption mechanism (Isotherm and type)	Ref.
	Carbon nanodots (CDs) of chitosan	3.5% NaCl	BIS 2062 carbon steel	UV-Visible and FTIR, surface morphology studies, DSC analysis, corrosion inhibition, the surface morphology of steel coated with CDs, electrochemical studies of boat building steel and EIS studies were performed.	–	–	[86]
							
	Functionalization of citric acid-based carbon dots with imidazole (IM-CDs)	3.5% NaCl	Q235 steel	Characterization of IM-CDs, electrochemical studies, surface analysis, adsorption isotherm analysis and weight loss measurements were performed.	η of N-doped carbon dots was 85.7% at 200 mg/L.	The Langmuir adsorption model shows the physicochemical adsorption of IM-CDs.	[15]
							
	N-doped carbon dots	3.5% NaCl	Carbon steel	Structural characterization, electrochemical studies, weight loss measurement, corrosion morphology analysis, product analysis and adsorption isotherm analysis were performed.	η of N-doped carbon dots was 88.96% at 200 mg/L.	The Langmuir adsorption model was used. The physical interaction was dominant.	[85]
							
	Modification of zinc molybdenum oxide (ZM) by carbon quantum dots (CDs)	3.5% NaCl	Carbon steel	The structures, morphologies, anti-corrosion performance and anticorrosion mechanisms were determined.	–	–	[87]
							

(continued on next page)

Table 4 (continued)

SN	Name	Saline solution	Metal sample	Investigations/Techniques	Maximum protection degree (η)	Adsorption mechanism (Isotherm and type)	Ref.
	NCD@ZnO MCs	5% NaCl	Steel	The microstructure and composition of N-CDs, the structure and release behaviour of NCD@ZnO MCs, the anti-corrosion resistance of NCD@ZnO MCs, the chemical composition of corrosive products and the corrosion protection mechanism of the coatings were analysed.	–	–	[88]



results, the Tafel curve shifted to the more positive potential direction in the inhibited solution than in the corrosive solution, demonstrating that the studied inhibitor greatly influenced the cathodic electrochemical reactions. The electrochemical results

also showed that the inhibition ability improved with increasing inhibitor concentration and immersion time. The Gibbs free energy values indicated the physicochemical adsorption mechanism of the CDs in saline medium [15]. Ye et al. suggested new CDs based on

Table 5

CDs as corrosion inhibitors in CO₂-saturated solutions.

SN	Name	Corrosion solution	Metal sample	Investigations/Techniques	Maximum protection degree (η)	Adsorption mechanism (Isotherm and type)	Ref.
1	N-doped carbon quantum dots (N-CQDs)	CO ₂ -saturated 3% NaCl	N80 steel	Characterization of N-CQDs, weight loss measurements, surface analysis, potentiodynamic polarization measurements, SEM analysis and EDS analysis were performed.	η of N-CQDs was 83.7% at 600 mg/L.	Mixed-type	[89]
2	N and S co-doped carbon dots (N, S-CDs)	CO ₂ -saturated 3% NaCl	Carbon steel	Characterization of N, S-CDs, weight loss measurements, XPS analysis, SEM analysis, AFM, contact angle measurements, open circuit potential measurements, potentiodynamic polarization, electrochemical impedance spectroscopy, and analyses of the microstate of N, S-CDs on the metal surface and the inhibition mechanism for N, S-CDs were performed.	η of N, S-CDs was 93% at 50 mg/L.	N, S-CDs is a mixed-type inhibitor, more evidently preventing the anodic reaction.	[91]

nitrogen-containing compounds for steel metallic materials in 3.5% NaCl. This corrosion inhibitor is more efficient in caustic medium, showing that the corrosive attack by Cl^- was blocked by physico-chemical adsorption. The CD molecule was easily protonated, and it electrostatically interacted with the metal surface. The surface morphology analysis shows that the average roughness was $1.063\ \mu\text{m}$ in the saline medium, while the average roughness was reduced to $0.763\ \mu\text{m}$ in the presence of CDs, indicating that the CDs improved the surface morphology by physical adsorption [85]. Liu et al. modified CDs with zinc molybdenum oxide (ZM) and investigated its inhibition efficiency for carbon steel in saline media [87]. This inhibitor contained many amine and hydroxyl functional groups, which made the CDs more efficient corrosion inhibitors. This result is due to the chemical interactions of these functional groups with the metal surface to form rigid chemical bonds between the metal surface and corrosion inhibitor. As shown in this research work, the film capacitance, electric double layer capacitance, film resistance, charge transfer resistance and solution resistance increased with the presence of the modification CDs in the saline medium, showing that the CD corrosion inhibitor has good polarization resistance for steel in the saline medium. The inhibition efficiency of the CDs was increased by protective layer shielding and photoelectron suppression. The corrosive attacks of the aggressive chloride ions and oxygen atoms were blocked with the formation of a protective film. The electron transportation on the metal surface was decreased, and as a result, the metal oxidation was reduced. CDs can enhance photoelectrons, and deposition of a large number of photoelectrons on the surface of steel substrates can effectively inhibit corrosion [88]. Recently, corrosion inhibitors have been encapsulated in nano-porous materials to enhance the inhibition performance. For example, Bao et al. synthesized new N-CDs and then capsulated them in ZnO nanocompounds to create NCD@ZnO MCs. The reason for the selection of ZnO is that ZnO nanocompounds have unique surface chemical properties and high structural tenability. In this work [88], the corrosion resistance properties of N-CD@ZnO MCs for steel metals in 5% NaCl solution were investigated. It was confirmed that the CDs with capsulated nanomaterials are excellent corrosion inhibitors in aggressive saline medium.

3.3. CDs as corrosion inhibitors in CO_2 -saturated solution

Metallic corrosion is a large problem in the aqueous phase of crude oil for CO_2 saturation in the water phase to form a more acidic medium. In addition, crude oil is a more saline medium. Therefore, metallic corrosion in CO_2 -saturated solutions is the biggest problem in the chemical industry. At present, several types of corrosion inhibitors are used for corrosion resistance in CO_2 -

saturated solutions. Among modern corrosion inhibitors, CDs are a new trend (Table 5). For example, Li et al. introduced N-doped carbon quantum dots (N-CQDs) into N80 steel in saturated CO_2 3% NaCl solution. The reasons for selecting N-CQDs included their amorphous solid structure, strong hydrophilicity, low toxicity, photoluminescence and high water solubility. They were obtained from urotropine salt, sulfamic acid, ethylenediamine tetraacetate and disodium. The inhibition performance of N-CQDs was researched by spectroscopic analysis of the surface, weight loss and electrochemical methods. As seen in the observed data, (i) the N-CQDs had more efficient corrosion resistance for N80 steel in the aggressive medium; (ii) this inhibitor importantly adsorbed on the metal surface to form the protective film, which insulated the iron from coming into contact with chloride ions. Surface morphology results suggested that N and S were observed on the surface of the carbon steel, demonstrating that N-CQDs can be adsorbed on the surface of carbon steel [89]. It was also revealed that the film capacitance and double-layer capacitance decreased while the charge transfer resistance rose in the presence of the N-CQDs. The lone pair electrons in the N-CQDs can coordinate with the orbitals of iron and air to adsorb on the surface of the carbon steel. Cen et al. synthesized N,S-CDs and investigated their inhibition performance for steel metal in CO_2 -saturated 3% NaCl [90]. The nitrogen atoms and hydroxyl and amino functional groups of the N,S-CDs support the chemisorption of inhibitors on the metal surface. The hydrophobic N,S-CD film was formed by agglomeration. N,S-CDs easily combine through electrostatic interactions and solid-state reactions due to intermolecular forces (including hydrogen bonds). Coordinate bonds were formed between the metal surface and the N,S-CDs through p-electron electron transportation between the d-orbitals and electron-rich nitrogen atoms.

3.4. CDs as corrosion inhibitors for microbiological corrosion

In the gas and oil industry, microbiological corrosion is a continuous problem. The microorganisms in the crude oil and gas corrode the inside of metallic pipes during crude oil transportation. In biological corrosion, bacteria are impactful organisms. For example, sulfate-reducing bacteria in crude oil easily corrode steel pipes [90]. At present, several antimicrobial methods are used to prevent metallic materials from undergoing microbiological corrosion. Chemical and mechanical changes and physical cleaning are the most commonly used methods in antimicrobial protection [92]. Current research suggests that chemical methods are more efficient than other methods. For instance, using biocides is an effective chemical method. A low amount of biocides can kill corrosive bacteria [92,93]. Currently, several types of biocides are used to protect steel materials from sulfate-reducing bacteria

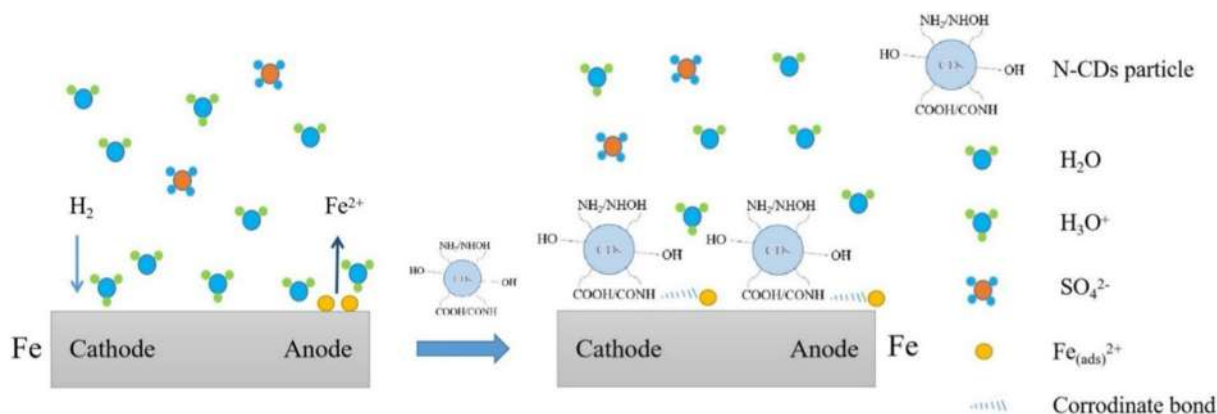


Fig. 5. Inhibition mechanism of CDs on the steel surface in an acidic medium [14].

[94]. Sara Taghavi Kalajahi et al. suggested the use of copper nanoparticle-doped carbon quantum dots (Cu/CQDs) as an anti-corrosion agent to protect against microbiological corrosion. The authors confirmed the nanostructure of Cu/CQDs by FTIR spectroscopy, XRD, EDS and SEM. In this work, the anti-corrosion performance of Cu/CQDs in sulfate-reducing bacterial solutions was investigated using electrochemical investigation methods (EIS and PDP). The obtained results confirmed that Cu/CQDs are more effective antibacterial agents for X60 steel in sulfate-reducing bacterial solutions at 50 ppm. The surface morphology results indicated that the Cu/CQDs formed biofilms on the metal surface, which could effectively insulate the steel surface from the biocorrosion solution and kill sulfate-reducing bacteria [95].

4. Inhibition and adsorption mechanism of carbon quantum dots

The electrochemical results confirmed that the CDs effectively influenced both the cathodic and anodic electrochemical reactions. The values of the Gibbs free energy suggested that the adsorption of CDs on the metal surface was spontaneous, while the standard enthalpy showed the endothermic nature of adsorption and inhibition [81]. Langmuir isotherms indicated that the CDs are mainly a mixed type of inhibitor, which means that cathodic hydrogen oxidation and anodic iron reduction are considerably blocked with the presence of CD inhibitors in both acidic and saline media. The surface morphology results suggested that the CDs formed a thin protective film on the metal surface, which effectively defended the metal surface from corrosion destruction [82]. Fig. 5 shows the pictorial representation of the inhibition processes of N-CDs on the steel surface in the acidic medium (0.5 M H_2SO_4). Hydrogen and sulfate ions are mainly responsible for corrosion processes on the steel surface. On the cathodic site, hydrogen was oxidized to evaluate hydrogen gas. Iron was reduced with sulfate ions to form iron sulfate salts. The hydrogen evolution and steel corrosion depend on the H_2SO_4 concentration and temperature, meaning that the rise in the concentration and temperature leads to an increase in the corrosion rate. In comparison [96], the catalytic oxidation and anodic reduction processes were maximally reduced in the presence of N-CDs. The N-CDs contained many amino, hydroxyl and carboxyl functional groups, which easily underwent chemical interactions with the metal surface through the formation of coordinate bonds. In addition, some heteroatoms of the N-CDs were protonated by the hydrogen ions to form the protonated form of N-CDs, which electrostatically interacted with the metal surface. This adsorption mechanism was physical adsorption; it could support the inhibition performance of N-CDs. The inhibition mechanism depended on the charge distribution and molecular structure of the N-CDs. The studied inhibitor contained pyrrole-like N, pyridine-N, graphitic N atoms and O atoms. The lone electron pairs of pyrrole-like N and pyridine-N promoted the chemical interactions of the corrosion inhibitors. The electron pairs were shared with the vacant 3d orbitals of iron to form covalent bonds. A shield was built by the carbon-rich hydrophobic structure of the N-CDs. As a result, the formation of a shield promoted the inhibition behaviour of the inhibitor by decreasing the corrosive attacks by sulfate and hydrogen ions [14].

5. Conclusions and future perspectives

In conclusion, CDs are excellent corrosion inhibitors for steel, copper and aluminium in aggressively acidic, saline, CO_2 -saturated saline and microbiological solutions. The electrochemical results confirmed that the CDs effectively influenced both cathodic and anodic electrochemical reactions, showing that cathodic

hydrogen oxidation and anodic iron reduction were considerably blocked in the presence of CD inhibitors in acidic, saline and CO_2 -saturated saline media. The values of Gibbs free energy suggested that the adsorption of CDs on the metal surface was spontaneous, while the standard enthalpy showed the endothermic nature of adsorption and inhibition. Langmuir isotherms showed that the CDs were mainly mixed-type inhibitors. The SEM and XPS results suggested that the CDs formed a stable protective film on the metal surface, which significantly defended the metal surface from corrosion destruction. The CDs contained more pyrrole-like N, pyridine-N, graphitic N atoms and O atoms, in which the lone electron pairs were mainly responsible for the inhibition performance of CDs. It has also been reported that CDs are more effective antibacterial agents for steel in sulfate-reducing bacterial solutions at 50 ppm. The surface morphology results signified that the CDs formed biofilms on the metal surface, which could effectively insulate the steel surface from the bio-corrosive solution and kill the sulfate-reducing bacteria. In the near future, CDs could play an important role in corrosion inhibitors because they are more efficient at low concentrations and are easily synthesized from low-cost local products. In addition, CDs have good water solubility, biocompatibility, low toxicity, excellent antibacterial properties, chemical stability, high thermal activity, and nonflammability. These properties could enable CDs to become dominant corrosion inhibitors in the near future.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

Authors thanks to Mengyue Zhu (School of Materials Science and Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China), Mohamed Rbaa (Laboratory of Organic Chemistry, Catalysis and Environment, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, PO Box 133, 14000, Kenitra, Morocco), Omar Dagdag (Laboratory of Industrial Technologies and Services (LITS), Department of Process Engineering, Height School of Technology, Sidi Mohammed Ben Abdallah University, P.O. Box 2427, 30000 Fez, Morocco), Rajesh Haldhar (School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, 712749, South Korea) for support this research.

References

- [1] J.R. Davis (Ed.), *Corrosion: Understanding the Basics*, ASM International, 2000.
- [2] M. Goyal, S. Kumar, I. Bahadur, C. Verma, E.E. Ebenso, Organic corrosion inhibitors for industrial cleaning of ferrous and non-ferrous metals in acidic solutions: a review, *J. Mol. Liq.* 256 (2018) 565–573.
- [3] C. Verma, E.E. Ebenso, M.A. Quraishi, Ionic liquids as green and sustainable corrosion inhibitors for metals and alloys: an overview, *J. Mol. Liq.* 233 (2017) 403–414.
- [4] X. Wang, H. Yang, F. Wang, An investigation of benzimidazole derivative as corrosion inhibitor for mild steel in different concentration HCl solutions, *Corros. Sci.* 53 (1) (2011) 113–121.
- [5] C. Verma, E.E. Ebenso, M.A. Quraishi, Corrosion inhibitors for ferrous and non-ferrous metals and alloys in ionic sodium chloride solutions: A review, *J. Mol. Liq.* 248 (2017) 927–942.
- [6] D. Daoud, T. Douadi, H. Hamani, S. Chafaa, M. Al-Noaimi, Corrosion inhibition of mild steel by two new S-heterocyclic compounds in 1 M HCl: experimental and computational study, *Corros. Sci.* 94 (2015) 21–37.
- [7] J. De Damborenea, A. Conde, M. Arenas, Corrosion inhibition with rare earth metal compounds in aqueous solutions, in: *Rare Earth-based Corrosion Inhibitors*, Elsevier, 2014, pp. 84–116.
- [8] E. KaHlmaHn, Routes to the development of low toxicity corrosion inhibitors for use in neutral solutions, A= Working Party Report Corrosion Inhibitors (1994) 12.

- [9] D.K. Verma et al., Gravimetric, electrochemical surface and density functional theory study of acetohydroxamic and benzohydroxamic acids as corrosion inhibitors for copper in 1 M HCl, *Results Phys.* 13 (2019) 102194.
- [10] D.K. Verma, F. Khan, Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid using extract of glycine max leaves, *Res. Chem. Intermed.* 42 (4) (2016) 3489–3506.
- [11] S.K. Saha, A. Dutta, P. Ghosh, D. Sukul, P. Banerjee, Adsorption and corrosion inhibition effect of Schiff base molecules on the mild steel surface in 1 M HCl medium: a combined experimental and theoretical approach, *PCCP* 17 (8) (2015) 5679–5690.
- [12] H. Lgaz, R. Salghi, K. Subrahmanya Bhat, A. Chaoui, Shubhalaxmi, S. Jodeh, Correlated experimental and theoretical study on inhibition behavior of novel quinoline derivatives for the corrosion of mild steel in hydrochloric acid solution, *J. Mol. Liq.* 244 (2017) 154–168.
- [13] S.A. Umoren, U.M. Eduok, Application of carbohydrate polymers as corrosion inhibitors for metal substrates in different media: a review, *Carbohydr. Polym.* 140 (2016) 314–341.
- [14] S. Cao et al., Nitrogen-doped carbon dots as high-effective inhibitors for carbon steel in acidic medium, *Colloids Surf., A* 616 (2021) 126280.
- [15] D. Yang, Y. Ye, Y. Su, S. Liu, D. Gong, H. Zhao, Functionalization of citric acid-based carbon dots by imidazole toward novel green corrosion inhibitor for carbon steel, *J. Cleaner Prod.* 229 (2019) 180–192.
- [16] H.D. Zhang, A.Y. Chen, B. Gan, H. Jiang, L.J. Gu, Corrosion protection investigations of carbon dots and polydopamine composite coating on magnesium alloy, *J. Magnesium Alloys* (2021), <https://doi.org/10.1016/j.jma.2020.11.021>.
- [17] V. Saraswat, M. Yadav, Carbon Dots as Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in HCl Solution, *ChemistrySelect* 5 (25) (2020) 7347–7357.
- [18] A. Fouda et al., Chalcone derivatives as corrosion inhibitors for carbon steel in 1 M HCl solutions, *Int. J. Electrochem. Sci* 9 (2014) 7038–7058.
- [19] S. Ramesh, S. Rajeswari, Corrosion inhibition of mild steel in neutral aqueous solution by new triazole derivatives, *Electrochim. Acta* 49 (5) (2004) 811–820.
- [20] R.M. Issa, M.K. Awad, F.M. Atam, Quantum chemical studies on the inhibition of corrosion of copper surface by substituted uracils, *Appl. Surf. Sci.* 255 (5) (2008) 2433–2441.
- [21] M. Behpour, S. Ghoreishi, N. Mohammadi, N. S. Oltani, M. Salavati-Niasari, *Corros. Sci.* 52 (2010) 4046–4057.
- [22] E. Berdimurodov et al., New anti-corrosion inhibitor (3ar, 6ar)-3a, 6a-di-p-tolyltetrahydroimidazo [4, 5-d] imidazole-2, 5 (1 h, 3h)-dithione for carbon steel in 1 M HCl medium: gravimetric, electrochemical, surface and quantum chemical analyses, *Arabian J. Chem.* 13 (10) (2020) 7504–7523.
- [23] E. Berdimurodov et al., Inhibition properties of 4, 5-dihydroxy-4, 5-di-p-tylimidazolidine-2-thione for use on carbon steel in an aggressive alkaline medium with chloride ions: Thermodynamic, electrochemical, surface and theoretical analyses, *J. Mol. Liq.* 327 (2021) 114813.
- [24] E. Berdimurodov et al., Thioglycoluril derivative as a new and effective corrosion inhibitor for low carbon steel in a 1 M HCl medium: Experimental and theoretical investigation, *J. Mol. Struct.* 1234 (2021) 130165.
- [25] A. Shahmoradi et al., Theoretical (atomic-DFT&molecular-MD), surface/electrochemical investigations of walnut fruit green husk extract as effective-biodegradable corrosion mitigating materials of a steel electrode in 1M HCl electrolyte, *J. Mol. Liq.* (2021) 116550.
- [26] R.K. Gupta, M. Malviya, C. Verma, N.K. Gupta, M.A. Quraishi, Pyridine-based functionalized graphene oxides as a new class of corrosion inhibitors for mild steel: an experimental and DFT approach, *RSC Adv.* 7 (62) (2017) 39063–39074.
- [27] P. Roy, A. Pal, D. Sukul, Origin of the synergistic effect between polysaccharide and thiourea towards adsorption and corrosion inhibition for mild steel in sulphuric acid, *RSC Adv.* 4 (21) (2014) 10607–10613.
- [28] G. Gece, Drugs: A review of promising novel corrosion inhibitors, *Corros. Sci.* 53 (12) (2011) 3873–3898.
- [29] C. Verma, D. Chauhan, M. Quraishi, Drugs as environmentally benign corrosion inhibitors for ferrous and nonferrous materials in acid environment: an overview, *J. Mater. Environ. Sci. (JMES)* 8 (11) (2017) 4040–4051.
- [30] E. Berdimurodov et al., Experimental and theoretical assessment of new and eco-friendly thioglycoluril derivative as an effective corrosion inhibitor of St2 steel in the aggressive hydrochloric acid with sulfate ions, *J. Mol. Liq.* 335 (2021) 116168.
- [31] D.K. Verma, M. Kazi, M.S. Alqahtani, R. Syed, E. Berdimurodov, S. Kaya, R. Salim, A. Asatkar, R. Haldhar, N-hydroxybenzothioamidederivatives as green and efficient corrosion inhibitors for mild steel: Experimental, DFT and MC simulation approach, *J. Mol. Struct.* 1241 (2021) 130648, <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130648>.
- [32] C. Verma, E.E. Ebenso, I. Bahadur, M.A. Quraishi, An overview on plant extracts as environmental sustainable and green corrosion inhibitors for metals and alloys in aggressive corrosive media, *J. Mol. Liq.* 266 (2018) 577–590.
- [33] S. Mo, H.-Q. Luo, N.-B. Li, Plant extracts as “green” corrosion inhibitors for steel in sulphuric acid, *Pal. Pap.* 70 (9) (2016) 1131–1143.
- [34] S.M. Khalil, G.M. Al-Mazaidh, N.M. Ali, DFT calculations on corrosion inhibition of Aluminum by some carbohydrates, *J. Biochem. Res. Rev* 14 (2016) 1–7.
- [35] D.K. Verma et al., Investigations on some coumarin based corrosion inhibitors for mild steel in aqueous acidic medium: Electrochemical, surface morphological, density functional theory and Monte Carlo simulation approach, *J. Mol. Liq.* 329 (2021) 115531.
- [36] D.K. Verma et al., Experimental and computational studies on hydroxamic acids as environmental friendly chelating corrosion inhibitors for mild steel in aqueous acidic medium, *J. Mol. Liq.* 314 (2020) 113651.
- [37] C. Verma et al., Corrosion inhibition of mild steel in 1M HCl by D-glucose derivatives of dihydropyrido [2, 3-d: 6, 5-d'] dipyrimidine-2, 4, 6, 8 (1H, 3H, 5H, 7H)-tetraone, *Sci. Rep.* 7 (1) (2017) 1–17.
- [38] S.P. Sitarum, J.O. Stoffer, T.J. O'Keefe, Application of conducting polymers in corrosion protection, *J. Coat. Technol.* 69 (3) (1997) 65–69.
- [39] L. Feng, H. Yang, F. Wang, Experimental and theoretical studies for corrosion inhibition of carbon steel by imidazole derivative in 5% NaCl saturated Ca (OH) 2 solution, *Electrochim. Acta* 58 (2011) 427–436.
- [40] Y. Peng, G. Song, Simultaneous microwave and ultrasound irradiation: A rapid synthesis of hydrazides, *Green Chem.* 3 (6) (2001) 302–304.
- [41] C. Verma, J. Haque, M.A. Quraishi, E.E. Ebenso, Aqueous phase environmental friendly organic corrosion inhibitors derived from one step multicomponent reactions: a review, *J. Mol. Liq.* 275 (2019) 18–40.
- [42] F. El-Hajjaji, M. Messali, A. Aljuhani, M.R. Aouad, B. Hammouti, M.E. Belghiti, D. S. Chauhan, M.A. Quraishi, Pyridazinium-based ionic liquids as novel and green corrosion inhibitors of carbon steel in acid medium: electrochemical and molecular dynamics simulation studies, *J. Mol. Liq.* 249 (2018) 997–1008.
- [43] Y. Guo, Z. Chen, Y. Zuo, Y. Chen, W. Yang, B. Xu, Ionic liquids with two typical hydrophobic anions as acidic corrosion inhibitors, *J. Mol. Liq.* 269 (2018) 886–895.
- [44] C. Verma, I.B. Obot, I. Bahadur, E.-S. Sherif, E.E. Ebenso, Choline based ionic liquids as sustainable corrosion inhibitors on mild steel surface in acidic medium: gravimetric, electrochemical, surface morphology, DFT and Monte Carlo simulation studies, *Appl. Surf. Sci.* 457 (2018) 134–149.
- [45] S. Sreevatsa, Carbon nanotube electronic structures as anti-corrosion coatings, 2009.
- [46] T. Rajyalakshmi, A. Pasha, S. Khasim, M. Lakshmi, M.V. Murugendrapa, N. Badi, Enhanced charge transport and corrosion protection properties of polyaniline-carbon nanotube composite coatings on mild steel, *J. Electron. Mater.* 49 (1) (2020) 341–352.
- [47] S. Böhm, Graphene against corrosion, *Nat. Nanotechnol.* 9 (10) (2014) 741–742.
- [48] A.R. Baboukani et al., Co complexes as a corrosion inhibitor for 316 l stainless steel in H2SO4 solution, *J. Mater. Sci. Chem. Eng.* 4 (9) (2016) 28–35.
- [49] B. Xue, Y. Yang, Y. Sun, J. Fan, X. Li, Z. Zhang, Photoluminescent lignin hybridized carbon quantum dots composites for bioimaging applications, *Int. J. Biol. Macromol.* 122 (2019) 954–961.
- [50] Z. Liang, J. Yang, C. Zhou, Q. Mo, Y. Zhang, Carbon quantum dots modified BiOBr microspheres with enhanced visible light photocatalytic performance, *Inorg. Chem. Commun.* 90 (2018) 97–100.
- [51] P. Nigam-Joshi, A. Mathias, A. Mishra, Synthesis of ecofriendly fluorescent carbon dots and their biomedical and environmental applications, 2018.
- [52] P.S. Saud, B. Pant, A.-M. Alam, Z.K. Ghouri, M. Park, H.-Y. Kim, Carbon quantum dots anchored TiO2 nanofibers: Effective photocatalyst for waste water treatment, *Ceram. Int.* 41 (9) (2015) 11953–11959.
- [53] S. Ghafary, S. Ranjbar, B. Larijani, M. Amini, M. Biglar, M. Mahdavi, M. Bakhshaei, M. Khoshneviszadeh, A. Sakhteman, M. Khoshneviszadeh, Novel morpholine containing cinnamoyl amides as potent tyrosinase inhibitors, *Int. J. Biol. Macromol.* 135 (2019) 978–985.
- [54] S.M. Usman Ali, O. Nur, M. Willander, B. Danielsson, A fast and sensitive potentiometric glucose microsensor based on glucose oxidase coated ZnO nanowires grown on a thin silver wire, *Sens. Actuators, B* 145 (2) (2010) 869–874.
- [55] P. Devi, P. Rajput, A. Thakur, K.-H. Kim, P. Kumar, Recent advances in carbon quantum dot-based sensing of heavy metals in water, *TrAC, Trends Anal. Chem.* 114 (2019) 171–195.
- [56] N.J. Vickers, Animal communication: when i'm calling you, will you answer too?, *Curr Biol.* 27 (14) (2017) R713–R715.
- [57] R. Yoo, A.T. Güntner, Y. Park, H.J. Rim, H.-S. Lee, W. Lee, Sensing of acetone by Al-doped ZnO, *Sens. Actuators, B* 283 (2019) 107–115.
- [58] K. Shen, G. Luo, J. Liu, J. Zheng, C. Xu, Highly transparent photoelectrochromic device based on carbon quantum dots sensitized photoanode, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 193 (2019) 372–378.
- [59] S. Pal, S. Paul, Conformational deviation of Thrombin binding G-quadruplex aptamer (TBA) in presence of divalent cation Sr²⁺: A classical molecular dynamics simulation study, *Int. J. Biol. Macromol.* 121 (2019) 350–363.
- [60] F.A.A. Manan, W.W. Hong, J. Abdullah, N.A. Yusof, I. Ahmad, Nanocrystalline cellulose decorated quantum dots based tyrosinase biosensor for phenol determination, *Mater. Sci. Eng., C* 99 (2019) 37–46.
- [61] H. Zhang et al., *ACS Sens.* 1 (2016) 875–881. Analyst Paper.
- [62] T. Chatzimitakos, A. Kasouni, L. Sygellou, A. Avgeropoulos, A. Trognan, C. Stalikas, Two of a kind but different: Luminescent carbon quantum dots from Citrus peels for iron and tartrazine sensing and cell imaging, *Talanta* 175 (2017) 305–312.
- [63] J. Mohammad, Molaei, A review on nanostructured carbon quantum dots and their applications in biotechnology, sensors, and chemiluminescence, *Talanta* 196 (2019) 456–478.
- [64] Y. Zhang, L. Yang, Y. Tian, L. Li, J. Li, T. Qiu, G. Zou, H. Hou, X. Ji, Honeycomb hard carbon derived from carbon quantum dots as anode material for K-ion batteries, *Mater. Chem. Phys.* 229 (2019) 303–309.
- [65] G. Resch, A. Held, T. Faber, C. Panzer, F. Toro, R. Haas, Potentials and prospects for renewable energies at global scale, *Energy Policy* 36 (11) (2008) 4048–4056.

- [66] M.C. Biesinger, B.P. Payne, A.P. Grosvenor, L.W.M. Lau, A.R. Gerson, R.S.C. Smart, Resolving surface chemical states in XPS analysis of first row transition metals, oxides and hydroxides: Cr, Mn, Fe, Co and Ni, *Appl. Surf. Sci.* 257 (7) (2011) 2717–2730.
- [67] F. Ye et al., A lysosome-targetable fluorescent probe for imaging trivalent cations Fe^{3+} , Al^{3+} and Cr^{3+} in living cells, *Spectrochim. Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc.* 222 (2019) 117242.
- [68] G. Kalaiyaran, J. Joseph, Cholesterol derived carbon quantum dots as fluorescence probe for the specific detection of hemoglobin in diluted human blood samples, *Mater. Sci. Eng., C* 94 (2019) 580–586.
- [69] G. Qiao, D. Lu, Y. Tang, J. Gao, Q. Wang, Smart choice of carbon dots as a dual-mode onsite nanopatform for the trace level detection of Cr2O7²⁻, *Dyes Pigm.* 163 (2019) 102–110.
- [70] Y. Ye et al., A high-efficiency corrosion inhibitor of N-doped citric acid-based carbon dots for mild steel in hydrochloric acid environment, *J. Hazard. Mater.* 381 (2020) 121019.
- [71] D.K. Verma et al., Computational Modeling: Theoretical Predictive Tools for Designing of Potential Organic Corrosion Inhibitors, *J. Mol. Struct.* 1236 (2021) 130294.
- [72] L. Guo, S. Kaya, I.B. Obot, X. Zheng, Y. Qiang, Toward understanding the anticorrosive mechanism of some thiourea derivatives for carbon steel corrosion: A combined DFT and molecular dynamics investigation, *J. Colloid Interface Sci.* 506 (2017) 478–485.
- [73] L. Guo, S.T. Zhang, T.M. Lv, W.J. Feng, Comparative theoretical study on the corrosion inhibition properties of benzoxazole and benzothiazole, *Res. Chem. Intermed.* 41 (6) (2015) 3729–3742.
- [74] S.K. Saha, A. Dutta, P. Ghosh, D. Sukul, P. Banerjee, Novel Schiff-base molecules as efficient corrosion inhibitors for mild steel surface in 1 M HCl medium: experimental and theoretical approach, *PCCP* 18 (27) (2016) 17898–17911.
- [75] Z. Liu, Y. Ye, H. Chen, Corrosion inhibition behavior and mechanism of N-doped carbon dots for metal in acid environment, *J. Cleaner Prod.* 270 (2020) 122458.
- [76] Y. Ye et al., A feasible method to improve the protection ability of metal by functionalized carbon dots as environment-friendly corrosion inhibitor, *J. Cleaner Prod.* 264 (2020) 121682.
- [77] J. Lv, L. Fu, B. Zeng, M. Tang, J. Li, Synthesis and Acidizing Corrosion Inhibition Performance of N-Doped Carbon Quantum Dots, *Russ. J. Appl. Chem.* 92 (6) (2019) 848–856.
- [78] M. Cui et al., Microwave Synthesis of Eco-friendly Nitrogen Doped Carbon Dots for the Corrosion Inhibition of Q235 Carbon Steel in 0.1 M HCl, *Int. J. Electrochem. Sci.* 16 (2021) 151019.
- [79] H. Cen et al., Carbon dots as effective corrosion inhibitor for 5052 aluminium alloy in 0.1 M HCl solution, *Corros. Sci.* 161 (2019) 108197.
- [80] Y. Qiang et al., Enhanced anticorrosion performance of copper by novel N-doped carbon dots, *Corros. Sci.* 161 (2019) 108193.
- [81] M. Cui et al., Novel nitrogen doped carbon dots for corrosion inhibition of carbon steel in 1 M HCl solution, *Appl. Surf. Sci.* 443 (2018) 145–156.
- [82] Q. Zhou, G. Yuan, M. Lin, P. Wang, S. Li, J. Tang, J. Lin, Y. Huang, Y. Zhang, Large-scale electrochemical fabrication of nitrogen-doped carbon quantum dots and their application as corrosion inhibitor for copper, *J. Mater. Sci.* 56 (22) (2021) 12909–12919.
- [83] Y. Ye et al., An effective corrosion inhibitor of N doped carbon dots for Q235 steel in 1 M HCl solution, *J. Alloy. Compd.* 815 (2020) 152338.
- [84] Y. Ye, D. Yang, H. Chen, A green and effective corrosion inhibitor of functionalized carbon dots, *J. Mater. Sci. Technol.* 35 (10) (2019) 2243–2253.
- [85] Y. Ye, Z. Jiang, Y. Zou, H. Chen, S. Guo, Q. Yang, L. Chen, Evaluation of the inhibition behavior of carbon dots on carbon steel in HCl and NaCl solutions, *J. Mater. Sci. Technol.* 43 (2020) 144–153.
- [86] A.K. Keerthana, P.M. Ashraf, Carbon nanodots synthesized from chitosan and its application as a corrosion inhibitor in boat-building carbon steel BIS2062, *Appl. Nanosci.* 10 (4) (2020) 1061–1071.
- [87] X.-R. Liu et al., Research on correlation between corrosion resistance and photocatalytic activity of molybdenum zinc oxide modified by carbon quantum dots pigments, *Dyes Pigm.* 175 (2020) 108148.
- [88] Y. Bao, Y. Yan, Y. Wei, J. Ma, W. Zhang, C. Liu, Salt-responsive ZnO microcapsules loaded with nitrogen-doped carbon dots for enhancement of corrosion durability, *J. Mater. Sci.* 56 (8) (2021) 5143–5160.
- [89] J. Li, J. Lv, L. Fu, M. Tang, X. Wu, New Ecofriendly Nitrogen-Doped Carbon Quantum Dots as Effective Corrosion Inhibitor for Saturated CO₂ 3% NaCl Solution, *Russ. J. Appl. Chem.* 93 (3) (2020) 380–392.
- [90] M.M. Eid, K.E. Duncan, R.S. Tanner, A semi-continuous system for monitoring microbially influenced corrosion, *J. Microbiol. Methods* 150 (2018) 55–60.
- [91] H. Cen, Z. Chen, X. Guo, N. S co-doped carbon dots as effective corrosion inhibitor for carbon steel in CO₂-saturated 3.5% NaCl solution, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 99 (2019) 224–238.
- [92] D. Enning, J. Garrelfs, Corrosion of iron by sulfate-reducing bacteria: new views of an old problem, *Appl. Environ. Microbiol.* 80 (4) (2014) 1226–1236.
- [93] S. Kakooei, M.C. Ismail, B. Ariwahjoedi, Mechanisms of microbiologically influenced corrosion: a review, *World Appl. Sci. J.* 17 (4) (2012) 524.
- [94] W.-C. Tseng, T.-J. Wu, Y.-J. Chang, H.-W. Cheng, T.-Y. Fang, Overexpression and characterization of a recombinant L-ribose isomerase from *Actinotalea fermentans* ATCC 43279, *J. Biotechnol.* 259 (2017) 168–174.
- [95] S.T. Kalajahi, B. Rasekh, F. Yazdian, J. Neshati, L. Taghavi, Green mitigation of microbial corrosion by copper nanoparticles doped carbon quantum dots nanohybrid, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27 (32) (2020) 40537–40551.
- [96] E. Berdimurodov et al., A gossypol derivative as an efficient corrosion inhibitor for St2 steel in 1 M HCl + 1 M KCl: An experimental and theoretical investigation, *J. Mol. Liq.* 328 (2021) 115475.
- [97] J. Luo, X. Cheng, C. Zhong, Y.W. Xinhua Chen, H. Ye, H.C. Zhao, Effect of reaction parameters on the corrosion inhibition behavior of N-doped carbon dots for metal in 1 M HCl solution, *J. Mol. Liq.* 338 (2021) 116783.



Novel gossypol–indole modification as a green corrosion inhibitor for low–carbon steel in aggressive alkaline–saline solution

Elyor Berdimurodov^{a,b,*}, Abduvali Kholikov^b, Khamdam Akbarov^b, Lei Guo^{c,d,**}, Savaş Kaya^e, Konstantin P. Katin^f, Dakeshwar Kumar Verma^g, Mohamed Rbaa^h, Omar Dagdagⁱ, Rajesh Haldhar^j

^a Faculty of Natural Sciences, Karshi State University, Karshi 180100, Uzbekistan

^b Faculty of Chemistry, National University of Uzbekistan, Tashkent 100034, Uzbekistan

^c School of Materials and Chemical Engineering, Tongren University, Tongren 554300, China

^d School of Oil and Natural Gas Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China

^e Cumhuriyet University Health Services Vocational School, Department of Pharmacy, 58140 Sivas, Turkey

^f National Research Nuclear University "MEPhI", Kashirskoe Shosse 31, Moscow 115409, Russian Federation

^g Department of Chemistry, Government Digvijay Autonomous Postgraduate College, Rajnandgaon, Chhattisgarh 491441, India

^h Laboratory of Organic Chemistry, Catalysis and Environment, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, PO Box 133, 14000, Kenitra, Morocco

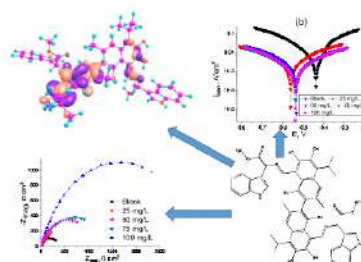
ⁱ Institute of Nanotechnology and Water Sustainability, College of Science, Engineering and Technology, University of South Africa, Johannesburg, South Africa

^j School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, 712749, South Korea

HIGHLIGHTS

- Gossypol–indole modification is green and powerful corrosion inhibitor.
- The maximum inhibition efficiency of GIM was 96.01% at 100 mg/L/0.112 mM.
- GIM is mixed-type corrosion inhibitor.
- Corrosion–cathodic and –anodic activities of low–carbon steel in aggressive alkaline–saline environment are significantly blocked with GIM.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Keywords:

Low–carbon steel
Corrosion inhibitor
Gossypol–indole modification
Alkaline–saline solution
DFT
MD simulation

ABSTRACT

The corrosion of low–carbon steel in aggressive alkaline–saline environments is a very large problem. Protecting low–carbon steel from corrosion in aggressive alkaline–saline solutions using green inhibitors is a very important task in industry. However, there are no studies related to low–carbon steel corrosion in aggressive alkaline–saline environments. Green type corrosion inhibitors are an interesting topic of research. However, currently, the studied type inhibitors are not efficient at low concentrations, and there are no studies on them in aggressive alkaline–saline environments in regard to steel corrosion. In this research work, a novel gossypol–indole modification (GIM) is introduced as a green corrosion inhibitor for low–carbon steel in an aggressive alkaline–saline environment. This inhibitor is a large, highly planar structural molecule that is more water soluble than other inhibitors. Its inhibition behavior is stable at high temperatures, and it contains a large number of electron–rich heteroatoms. All of these properties make it an excellent corrosion inhibitor. The inhibition performance of the novel gossypol–indole modification for low–carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl is fully

* Corresponding author at: Faculty of Natural Sciences, Karshi State University, Karshi 180100, Uzbekistan.

** Corresponding author at: School of Materials and Chemical Engineering, Tongren University, Tongren 554300, China.

E-mail addresses: elyor170690@gmail.com (E. Berdimurodov), cqglei@163.com (L. Guo).

characterized by thermodynamic, gravimetric, electrochemical frequency modulation (EFM), potentiodynamic polarization (PDP), electrochemical impedance spectroscopy (EIS), density functional theory (DFT), molecular dynamics (MD) simulations, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectrometry (EDX) methods. The results confirm that the novel gossypol-indole modification is an excellent inhibitor, with a maximum inhibition efficiency of 96.01% at 100 mg/L and 0.112 mM. The adsorption behavior follows the Langmuir isotherm. Electrochemical studies have indicated that this modified is a mixed-type corrosion inhibitor, and the theoretical investigations correlate well with the experimental results.

Nomenclature

GIM	Gossypol-indole modification	E_{total}	Energy of the entire system
EFM	Electrochemical frequency modulation	$E_{\text{inh+solu}}$	Total energy of the inhibitor and solution
PDP	Potentiodynamic polarization	St2	Low-carbon steel (Number 2 mark)
EIS	Electrochemical impedance spectroscopy	η_{Grav}	Degree of protection
DFT	Density functional theory	CR_{Grav}	Corrosion rate
MD simulations	Molecular dynamics simulations	θ_{Grav}	Degree of surface coverage
SEM	Scanning electron microscopy	W_0	Mass losses of the metal sample in the corrosive solution
EDX	Energy dispersive X-ray spectrometry	W_{inh}	Mass losses of the metal sample in the inhibited solution
R_{ct}^0	Charge transfer resistances in the inhibitor-free solution	η_{EIS}	Inhibition protection by EIS
η_{PDP}	Inhibition protection by PDP	R_{ct}^i	Charge transfer resistances in the inhibitor-containing solution
i_{PDP}^0	Corrosion current densities in the corrosive solution by PDP	B3LYP	Three-parameter Lee-Yang-Parr correlation function by Becke
i_{PDP}^i	Corrosion current densities in the inhibited solution by PDP	6-311 G*	Gaussian basis sets
IE_{EFM}	Inhibition protection by EFM	ΔH_a	Enthalpy
$i_{\text{corr}}^{\text{inh}}$	Corrosion currents in the solution with inhibitor by EFM	ΔS_a	Entropy
i_{corr}^0	Corrosion currents in the solution without inhibitor by EFM	h	Planck constant ($6.626 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$)
C_{inh}	Inhibitor concentration	N	Avogadro number (6.12×10^{23})
K_{ads}	Equilibrium constant of the adsorption-desorption processes	R^2	Regressive coefficient
ΔH_{ads}^0	Standard enthalpy of adsorption	E_a	Activation energy
R_s	Solution resistance	ΔG_{ads}^0	Standard Gibbs energy of adsorption
CPE	Constant phase element	ΔS_{ads}^0	Standard entropy of adsorption
R_{ct}	Charge transfer resistance	Y_0	Magnitude of the CPE
f	AC frequency	i	Imaginary unit
ω_{max}	Maximum angular frequencies	ω	Angular frequency,
ε^0	Dielectric constant in vacuum	n	Phase shift (CPE exponent)
d	Distance between the two layers	C_{dl}	Double-layer capacitance
χ^2	Chi-square value	ε	Dielectric constant of solution
E_{corr}	Corrosion potential	A	Diameter of the surface area
β_a	Tafel anodic slope	OCP	Open-circuit potential
β_c	Tafel cathodic slope	LUMO	Lowest unoccupied molecular orbital
MEP	Molecular electrostatic potential	HOMO	Highest occupied molecular orbital
$\omega(+)^{\text{DFT}}_{\text{Inh}}$	Electrodonating power	FMO	Frontier molecular orbital analysis
$\omega(-)^{\text{DFT}}_{\text{Inh}}$	Electroaccepting power	$E_{\text{HOMO}}^{\text{DFT}}(\text{Inh})$	HOMO energy
$\mu_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$	Electronic chemical potential	$E_{\text{LUMO}}^{\text{DFT}}(\text{Inh})$	LUMO energy
$\omega_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$	Electrophilicity index	$\alpha_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$	α -polarizability
$I_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$	Molecular ionization potential	$A_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$	Electron affinity
$\sigma_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$	Chemical softness	$\varepsilon_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$	Nucleophilicity
$\beta_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$	β -polarizability	$\chi_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$	Electronic negativity
$\Delta N_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$	Fraction of electrons transferred from the inhibitor molecule to the metal surface (related to Koopmans's theory)	$\eta_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$	Chemical hardness
f_k^{high}	Most nucleophilic attack sites	$\gamma_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$	γ -polarizability
f_k^0	Most neutral attack sites	$\Delta\psi_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$	Metal-inhibitor interaction energy
$P_k(N)$	Neutral molecules	f_k^{high}	Most electrophilic attack sites
RDF	Radial distribution function	$P_k(N+1)$	Anionic molecules
N_A	Probability of finding particle A	$P_k(N-1)$	Cationic molecules
ρ_B	Particle density of B	$g(r)$	Length of the link
$\text{\AA}$	Angstrom	N_B	Probability of finding particle B
		r	Radius
		E_{ads}	Adsorption energy
		$E_{\text{surf+solu}}$	Total energy of the Fe(110) surface and solution without the inhibitor
		E_{solu}	Potential energy of the solvent molecules

1. Introduction

Low-carbon steel is a highly used material in industry. This is because this material is cost effective and easily manipulated [1–3]. The cost of low-carbon steel corrosion in aggressive alkaline-saline environments is a major problem in industry. The corrosion of metal materials poses biological, environmental, economic, and ecological dangers. Therefore, the protection of steel materials from corrosion destruction in alkaline-saline environments is a very important task in industry [4–7]. Low-carbon steel easily reacts with the surrounding environment to form corrosion deposits. For instance, low-carbon steel-based pipes, metal constructs and metal-concrete are used in underground or marine environments. In this case, alkaline and saline solutions are mainly responsible for destructive corrosion [8–12].

Currently, metals in solution environments are protected from corrosion using organic corrosion inhibitors. In this case, an organic corrosion inhibitor is added to a corrosive environment, and this corrosion inhibitor adsorbs on the metal surface to form a protective thin film [13,14]. The formed protective film on the metal surface insulates the metal surface from the corrosive solution; as a result, metal corrosion is maximally diminished. Corrosion inhibitors are water soluble and good adsorbents on metal surfaces in corrosive solutions. Corrosion inhibitors have two components. The first part is the head, which contains polar functional groups ($-\text{OH}$, $-\text{OCH}_3$, $-\text{SH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{C}\equiv\text{N}-$), heteroatoms (phosphorus, nitrogen, oxygen and nitrogen) and aromatic rings. This part is mainly responsible for chemical or physical adsorption and chemical or electrostatic interactions on the metal surface [15–17]. This part contains more electron-rich and π -electron systems, which are transferred to free d-orbitals to form rigid chemical bonds on a metal surface. The second part is the backbone, which contains aliphatic rings or tails. This result contributes to the enhanced adsorption behavior of the corrosion inhibitor. The backbone part also insulates the steel from the solution. Consequently, the number of contact sites of the solution on the metal surface decrease, and metal corrosion is maximally reduced [18–21].

Currently, green corrosion inhibitors are used to protect carbon steel from corrosion destruction. Green inhibitors are environmentally friendly, meaning that they are biodegradable and do not poison or influence the environment [22]. At present, green macromolecules are excellent corrosion inhibitors for steel in aggressive aqueous environments. The corrosion inhibitors have complex structures and large planar molecules. In addition, more polar functional groups and aromatic rings are located in their molecular structures [23,24]. These properties allow inhibitors to provide excellent surface coverage and act as protective molecules for steel surfaces. Additionally, inhibitors are water soluble in polar solutions, and the more polar functional groups ($-\text{OH}$, $-\text{COOH}$, and protonated $-\text{S}^+\text{H}$, $-\text{N}^+\text{H}_2$, $-\text{C}\equiv\text{N}^+-$) in their structure increase their solubility [25,26]. Recently, some research groups have investigated corrosion inhibitors for use with steel materials in different aggressive media. For example, Sundaram et al. studied anti-diabetic based biomolecules, namely, acarbose, voglibose and miglitrol, as environmentally friendly corrosion inhibitors for mild steel in 700 ppm NaCl solution. These biomolecules are mixed-type corrosion inhibitors and significantly protect mild steel from corrosion in saline environments [27]. Haruna et al. researched the expired metformin as an efficient corrosion inhibitor for steel in a 15% HCl solution. It was suggested that this expired inhibitor is a cathodic-type inhibitor because cathodic hydrogen evolution is considerably reduced in its presence [28]. Razineh Farahati et al. recommended that the D-penicillamine effectively protects mild steel from acidic corrosion by forming a protective thin film on the metal surface, which is thermodynamically stable and not soluble in a more acidic environment [29,30]. Palaniappan et al. studied the corrosion inhibition behavior of unused expired clinical drugs, namely, rabeprazole sodium, domperidone and benfotiamine, for mild steel in a 3.5% NaCl solution. It was shown that the inhibition efficiency of these inhibitors was over 90%, and that they

acted as mixed-type corrosion inhibitors [31]. The tramadol drug was suggested as a good corrosion inhibitor for aluminium metal in a 1 M HCl solution. It was found that tramadol is a mixed inhibitor but is mainly an anodic-type inhibitor. This inhibitor adsorbed on the aluminium surface, and the pitting corrosion of Al was significantly reduced [32–34]. Additionally, pioglitazone [35], dexamethasone [36], dapson [37] and rosuvastatin [38] have been researched as corrosion inhibitors for steel materials in aggressive acidic media. However, currently, the studied type inhibitors are not efficient at low concentrations, and there are no studies on them in aggressive alkaline-saline environments in regard to steel corrosion. Furthermore, the studied inhibitors are small inhibitors and not highly soluble [39].

The novelty of this investigative work is that it is the first to use a novel and green gossypol-indole modification (GIM) as an excellent corrosion inhibitor for low-carbon steel in aggressive alkaline-saline solution (1 M NaOH + 1 M NaCl). The inhibition properties of GIM are fully characterized by thermodynamic, gravimetric, electrochemical frequency modulation (EFM), potentiodynamic polarization (PDP), electrochemical impedance spectroscopy (EIS), density functional theory (DFT), molecular dynamics (MD) simulations, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectrometry (EDX) methods. The importance and advantages for the selection of GIM highlights with the perspective of green chemistry are as follows: (a) it is green and environmental friendly; (b) it is large, highly water soluble, and contains large planar structural molecules and a large number of electron-rich heteroatoms; (c) the gossypol and indole rings in their molecular structure promote efficient corrosion inhibition; (d) it is highly efficient at low concentrations; (e) its inhibition behavior is stable at high temperatures; and (f) it is an antibacterial, antimicrobial, anti-tumour, anti-inflammatory, anticonvulsant and analgesic agent [40]. These properties make this inhibitor an excellent inhibitor for low-carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl. In the present research work, 1 M NaOH + 1 M NaCl testing solution was chosen. The significance for this selection is that the carbon steel corrosion in aggressive alkaline-saline media. This is biggest problem for steel pipes in underground system. Some salts of alkaline and earth alkaline metals (K, Na, Ca and other) are mainly chemical compounds of underground water. They are responsible for more alkaline-saline corrosion environment. Therefore, 1 M NaOH + 1 M NaCl testing solution is aggressive alkaline-saline medium, and it was employed as a working solution.

1.1. Comparison of the inhibition efficiency with early research

The novelty of the presently studied green corrosion is followings: (i) the gossypol ring is more powerful inhibition center; (ii) the indole modification make gossypol ring become excellent adsorption centers; (iii) it is the first to use a novel and green GIM as an excellent corrosion inhibitor for low-carbon steel in aggressive alkaline-saline solution (1 M NaOH + 1 M NaCl). Table 1 shows that currently, several research groups have studied the inhibition processes on steel surfaces in 3–3.5% 5% NaCl salinity media. The investigated corrosion inhibitors (Table 1) are good adsorbents on steel surfaces in saline solutions, and their degree of inhibition protection 0% are approximately 70–90% at moderate concentrations. They are mainly anodic-dominant mixed-type inhibitors related to the Langmuir isotherm. The corrosion of low-carbon steel in aggressive alkaline-saline solutions is a serious issue, but there are no studies related to low-carbon steel. This research is the first to suggest that the GIM molecule is an excellent corrosion inhibitor for low-carbon steel in aggressive alkaline-saline (1 M NaOH + 1 M NaCl) solution. It is confirmed that the GIM inhibitor is an anodic-dominant mixed-type inhibitor according to the Langmuir isotherm. This means that the GIM inhibitor first blocks the anodic electrochemical reactions and then the cathodic processes by adsorbing on the metal surface. The inhibition efficiency is 96.01% at 100 mg/L and 0.112 mM. Thus, the GIM inhibitor is a more efficient corrosion inhibitor than the others listed in Table 1. This is because the GIM inhibitor is large and contains

many electron-rich heteroatoms. The abundance of hydroxyl functional groups in the gossypol rings highly contribute to the GIM molecule being a good inhibitor.

2. Experimental section

2.1. Low-carbon steel sample and test solution

Low-carbon steel is the main metal source in the chemical industry. Its corrosion in aggressive alkaline-saline media is a major problem. Therefore, low-carbon steel (St2) was selected for this research. It was purchased from the “Chermetcom” trading company, Russian Federation, Moscow. Its elementary composition was as follows: ~98% Fe, 0.3% Cu, 0.3% Ni, 0.3% Cr, 0.25–0.5% Mn, 0.05% S, 0.09–0.15% C, 0.05–0.15% Si, 0.008% N, 0.04% P and 0.08% As [41–45]. Next, 1 M NaOH + 1 M NaCl was selected as the aggressive alkaline-saline corrosion solution. It was prepared according to the following procedure: 40 g of NaOH and 58.5 g of NaCl mixed in 1 L of distilled water.

2.2. Gossypol-indole modification (GIM) inhibitor

A gossypol-indole modification (GIM) inhibitor was selected as the corrosion inhibitor. Its structural characteristics and synthesis methodology are fully described in [40]. The molecular structure is described in Fig. 1. This structure contains two indole and gossypol rings, in which the heteronitrogen atoms and hydroxyl functional groups support the GIM inhibitor as an excellent corrosion inhibitor. The p-electron pairs in the heteroatoms and π -electrons in the aromatic rings are transferred to the free d-orbitals of iron to form rigid covalent bonds.

2.3. Thermodynamic and gravimetric tests

A 3 cm × 3 cm × 0.1 cm low-carbon steel sample was selected for thermodynamic and gravimetric analyses. The experiments were carried out in inhibitor-free and inhibitor-containing 1 M NaOH + 1 M NaCl solutions at various temperatures (303, 313, 323 and 333 K) and inhibitor concentrations (25, 50, 75 and 100 mg/L). Before the experiment, the metal sample was immersed in the test solution for 76 h. After that, the immersed metal sample was removed from the solution and dried. Finally, the mass of the dried metal sample was calculated three times, and then the average mass of the metal sample was determined. The average mass of the metal coupon was used to estimate the thermodynamic and gravimetric parameters. The degree of protection (η_{Grav} , at%), corrosion rate (CR_{Grav} , atmg/cm² h) and degree of surface

coverage (θ_{Grav}) of the GIM corrosion inhibitor for low-carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl were estimated with Eqs. (1–3) [46–48]:

$$\eta_{Grav} = \left(1 - \frac{W_{inh}}{W_0}\right) \times 100 \quad (1)$$

$$CR_{Grav} = \frac{W_{inh} \text{ or } W_0}{At} \quad (2)$$

$$\theta_{Grav} = 1 - \frac{W_{inh}}{W_0} \quad (3)$$

where W_0 and W_{inh} are the mass losses of the metal sample in the corrosive and inhibited 1 M NaOH + 1 M NaCl solutions, respectively [49–51].

2.4. Electrochemical tests

A Gamry PC5 galvanostat/IFC1000-06177 potentiostat (USA) was applied to measure the electrochemical data. Gamry Echem Analyst 6.22 software was used to fit the obtained electrochemical data [52–55]. In the electrochemical experiments, a three-electrode cell assembly including a reference electrode (saturated calomel), counter electrode (platinum) and working electrode (low-carbon steel) was applied. Before the experiment, the working electrode was dipped and then immersed in the inhibitor-free and inhibitor-containing 1 M NaOH + 1 M NaCl solutions for 76 h. During immersion, the potential on the electrode surface stabilized.

EIS electrochemical tests were performed with the EIS300-electrochemical impedance software package from 100 kHz to 0.01 Hz at an AC voltage amplitude of 10 mV_{rms}. The inhibition protection (η_{EIS} , at%) of the GIM corrosion inhibitor was obtained from Eq. (4) [17].

$$\eta_{EIS}, \% = \frac{R_{ct}^i - R_{ct}^o}{R_{ct}^i} \times 100\% \quad (4)$$

where R_{ct}^i and R_{ct}^o are the charge transfer resistances in the inhibitor-containing and inhibitor-free 1 M NaOH + 1 M NaCl solutions, respectively.

The PDP analyses were carried out in a potential range of −0.250–0.250 V with a 2 s sample period and a 1 mV/s scan rate. The open-circuit potential (OCP) was calculated before PDP analysis. The inhibition efficiency (η_{PDP} , at%) of the GIM corrosion inhibitor from EFM analysis was derived from Eq. (5) [56–58].

Table 1

Comparison of the GIM inhibitor with various types of inhibitors in aggressive alkaline-saline solution.

N ^o	Inhibitor name	Type of solution	Type of metal	Nature of adsorption	C _{inh}	η , %	Year, Ref. (s)
1	Acarbose, voglibose and miglito drugs	700 ppm NaCl	Mild steel	Anodic-type, Langmuir	125 ppm	82–86%	2020, [27]
2	Rabeprazolesodium, domperidone and benfotiamine drugs	3.5% NaCl	Mild steel	Mixed-type, Langmuir	200 ppm	58–63%	2019, [31]
3	2-(2-Heptadecyl-4, 5-dihydro-1 H-imidazole-1-yl) ethanol	7.5% NH ₄ Cl	Carbon steel	Mixed-type, Langmuir	0.5 mM	90%	2020, [53]
4	3-Methoxypropyl-amine	3.5% NaCl	X80 steel	Mixed-type, Langmuir	9 g/L	93%	2020, [55]
5	Terebinth extracts	3% NaCl	Carbon steel	Anodic-type, Langmuir	3000 ppm	86.4%	2020, [56]
6	N,N'-((Ethane-1,2-diylbis(azanediyl))bis(ethane-2,1-diyl))bis(quinoline-2-carboxamide)	3.5% NaCl	Mild steel	Mixed-type, Langmuir	700 ppm	70%	2020, [57]
7	Aminotriazolethiol-functionalized chitosan	3.5% NaCl	Stainless steel	Cathodic-type, Langmuir	100 mg/L	97.8%	2020, [59]
8	Peganum harmala (called Esfand) seeds	3.5% NaCl	Carbon steel	Mixed-type, Temkin	1000 ppm	93.2%	2020, [62]
9	GIM inhibitor	1 M NaOH + 1 M NaCl	Low carbon steel	Mixed-type, Langmuir	100 mg/L / 0.112 mM	96.01%	Present work

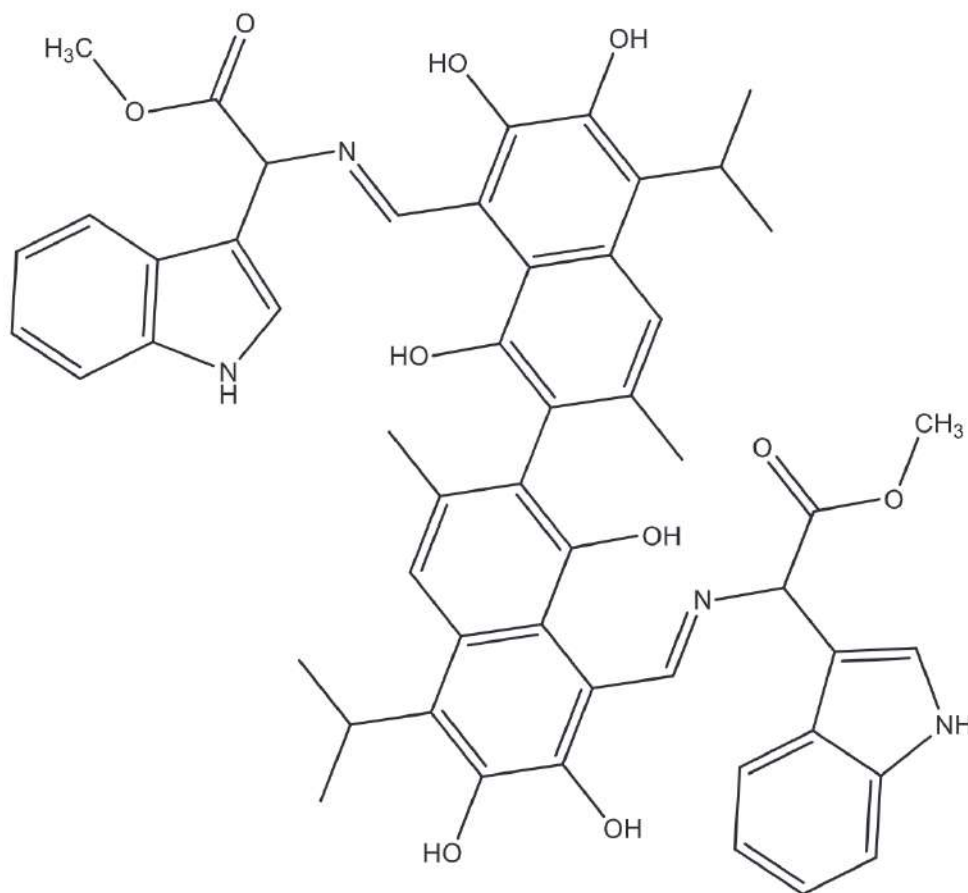


Fig. 1. Molecular structure of the GIM inhibitor.

$$\eta_{PDP}, \% = \frac{i_{PDP}^0 - i_{PDP}^i}{i_{PDP}^0} \times 100\% \quad (5)$$

where i_{PDP}^0 and i_{PDP}^i are the corrosion current densities in the corrosive and inhibited 1 M NaOH + 1 M NaCl solutions, respectively.

The 140-EFM software package was applied to measure the EFM data with a 10 mV amplitude and 2 Hz and 5 Hz sine wave potential perturbation signals. The inhibition efficiency (IE_{EFM} at %) of the selected inhibitor from the EFM analysis was measured according to Eq. (6) [59–63].

$$IE_{EFM}, \% = \frac{I_{corr}^0 - I_{corr}^{inh}}{I_{corr}^0} \times 100 \quad (6)$$

where I_{corr}^{inh} and I_{corr}^0 are the corrosion currents in the 1 M NaOH + 1 M NaCl solution with and without inhibitor, respectively.

2.5. Surface analysis

The surface morphology of the corroded and inhibited steel surface in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution was investigated with SEM and EDX tests (HITACHI TM3000, Hitachi Company, Tokyo, Japan). Before the experiment, the steel sample was immersed in an inhibitor-free and inhibitor-containing (100 mg/L GIM) 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. Afterwards, the immersed metal sample was removed from the solution and washed with alcohol and distilled water. Next, the washed metal sample was dried with acetone. To finish, the dried metal sample was examined with DFT and EDX analyses [6,17].

2.6. Theoretical investigation

The inhibition mechanism of GIM was theoretically investigated with density functional theory (DFT) and B3LYP (three-parameter Lee–Yang–Parr correlation function by Becke) exchange–corrected functional [43,44], 6-311 G** basis sets [45] and + D3 Grimme's dispersion corrections [46] in GAMESS-US [49] software (the molecular charge is 0). Before performing the quantum chemical calculations, the GIM molecule was optimized. The optimized structure of the GIM inhibitor was visualized with ChemCraft [50] and Macmolplt [51] software. The geometric optimization, hyperpolarizability and polarizability results (dipole moment in Debye; electric field in Hartree/e*bohr) were also obtained [46].

2.7. Molecular dynamics (MD) simulation

The adsorption of the GIM inhibitor on the steel surface was investigated using the Forcite module implemented in Materials Studio software. The calculations were conducted in a simulation box ($27.3 \times 27.3 \times 33.1 \text{ \AA}^3$) with periodic boundary conditions, which consisted of an Fe(110) substrate and a solvent layer (with 800 H_2O + 1 GIM molecule). We chose the Fe(110) surface because of its highly stabilized and packed structure, and this issue has been explored in detail in our previous work [52]. The Fe(110) substrate was presented with a five-layer slab model in each layer representing an (11×11) unit cell. The simulated system was performed with an Andersen thermostat, NVT ensemble, a simulation time of 1000 ps and a time step of 1.0 fs. In the molecular dynamic simulation, the Andersen thermostat is widely performed, especially, in corrosion science. The temperature was controlled at 303 K by the Andersen thermostat. The Andersen thermostat is an important role in MD simulation for maintaining constant temperature

conditions. It is attributed to sampling configurations from a canonical (constant-temperature) ensemble instead. A modification of the basic molecular dynamics scheme with the purpose of maintaining the temperature constant (on average) is called a thermostat algorithm (Andersen thermostat) [21,26]. The COMPASS II force field was adopted in this MD simulation. It is also widely used in corrosion research. The COMPASS II force field is the next-developed generation of the COMPASS force field. It is significantly employed in MD simulation for drug- and polymer-like molecules. The selected corrosion inhibitor is similar to drug- and polymer-like molecules. Validation against enthalpies, crystal and liquid densities, molecular properties, indicating that the quality of COMPASS is preserved and the same quality of prediction is achieved for the additional coverage.

3. Results and discussion

3.1. Gravimetric analyses

3.1.1. Influence of concentration

The concentration is a key element for identifying the inhibitory properties of inhibitors. Gravimetric analysis was performed on metal coupons with various concentrations (25, 50, 75 and 100 mg/L) of the GIM inhibitor and at various temperatures (303–333) in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. The obtained results are shown in Table 2. The concentration significantly influences the inhibition performance. An increase in concentration is responsible for an increase in the inhibition efficiency ($\eta_{Grav.}$) and degree of coverage ($\theta_{Grav.}$) of the inhibitor at all temperatures. This is because the large concentration is attributed to an increase in the number of inhibitor molecules that are available and the additional inhibitor molecules adsorbed at vacant sites on the metal surface, resulting in a large part of the metal surface being covered with the inhibitor-formed protective film. It is also indicated that the increase in concentration is the reason for the decrease in the corrosion rate ($CR_{Grav.}$) of the metal. The maximum $\eta_{Grav.}$ occurs at 100 mg/L with a value of 96.01%, and the minimum $CR_{Grav.}$ occurs at 100 mg/L with a value of 0.061 mg/cm²h in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. This is due to the formation of the protective film on the steel by the adsorption of inhibitor. This protective layer effectively protected the steel from the aggressive chloride and hydroxyl ions.

3.1.2. Influence of temperature

Gravimetric experiments were conducted at 303, 313, 323 and 333 K. The change in temperature is a key indicator used to identify the inhibition performance of the GIM inhibitor at different concentrations

Table 2
Gravimetric parameters of the GIM inhibitor.

C_{inh} , mg/L/mM	Temperature, K	$CR_{Grav.}$, mg/cm ² h	$\eta_{Grav.}$, %	$\theta_{Grav.}$
Blank	303	1.53	–	–
25/0.0028		0.277	81.89	0.8189
50/0.056		0.215	85.95	0.8595
75/0.084		0.143	90.65	0.9065
100/0.112		0.061	96.01	0.9601
Blank	313	1.69	–	–
25/0.0028		0.311	81.6	0.816
50/0.056		0.259	84.67	0.8467
75/0.084		0.196	88.4	0.884
100/0.112		0.125	92.6	0.926
Blank	323	1.85	–	–
25/0.0028		0.363	80.37	0.8037
50/0.056		0.321	82.65	0.8265
75/0.084		0.27	85.41	0.8541
100/0.112		0.207	88.81	0.8881
Blank	333	2.02	–	–
25/0.0028		0.442	78.12	0.7812
50/0.056		0.41	79.7	0.797
75/0.084		0.368	81.78	0.8178
100/0.112		0.315	84.41	0.8441

in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. The obtained results are presented in Table 2. Generally, it is clearly evident that the inhibitory properties of the GIM inhibitor changed with increasing temperature at all concentrations. For example, the values of $\eta_{Grav.}$ and $\theta_{Grav.}$ decreased slowly with increasing solution temperature. The values of $\eta_{Grav.}$ of the inhibitor decreased from 96.01% to 84.41% at 100 mg/L as the temperature was increased from 303 K to 333 K, confirming that the inhibition performance of the GIM inhibitor was nearly stable at high temperatures. This means that the inhibitor-formed protective film on the metal surface is rigid in the aggressive corrosive medium and effectively insulates the metal surface from any free aggressive chloride and hydroxyl ions at high temperatures. On the other hand, the inhibition efficiency of the GIM inhibitor decreased slowly at high temperature. This is because this inhibitor adsorbs on the metal surface in physical and chemical ways. The physical adsorption performance of the inhibitor decreased with increasing temperature. The physical method involves electrostatic interactions between the metal surface and inhibitor molecules, and this interaction is destroyed at high temperatures.

3.2. Thermodynamics of activation

In this research work, the thermodynamics of the activation of 1 M NaOH + 1 M NaCl solution without and with the GIM inhibitor at different concentrations and temperatures were studied by the gravimetric method. A change in temperature influences the thermodynamics of activation; this impact is identified in Eq. (7), which is called the Arrhenius equation [15].

$$CR_{Grav.} = A \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (7)$$

In the above equation, E_a is the activation energy in kJ/mol, R is the universal gas constant (8.314 J/mol·K), T is the temperature at K, and A is the Arrhenius pre-exponential factor.

The activation energies of the 1 M NaOH + 1 M NaCl solution without and with GIM inhibitor at different concentrations and temperatures were found according to the Arrhenius plots ($\log CR_{Grav.}$ versus $1000/T$), which are shown in Fig. 18. These plots give the slope, which was used to estimate the values of E_a based on slope = $(-E_a/2.303 R)$. The obtained results are listed in Table 3. As indicated in the table, the values of R^2 in the Arrhenius plots were near 1, confirming that these plots are the best for estimating the value of E_a . Generally, the activation energy is larger in the corrosive solution than in the inhibited solution. This result confirmed that the substitution processes between the GIM inhibitor and pre-adsorbed water molecules required more energy. This condition is the reason for the lower activation energy. The inhibitor formed an energetic block against the corrosion process. It is also indicated that the higher activation energy in the corrosive solution is responsible for the high corrosion rate. An increase in concentration affects the change in activation energy. For example, the E_a is 10.5 kJ/mol at 25 mg/L and 16.23 kJ/mol at 100 mg/L. Because the activation energy depends on an increase in the mass of the inhibitor, the obtained activation energy results confirm that the inhibitor effectively replaces the pre-adsorbed water molecules on the steel surface and insulates the metal surface from the corrosive environment.

Table 3
Activation parameters for the GIM inhibitor.

Parameters	Blank	25 mg/L/ 0.0028 mM	50 mg/L/ 0.056 mM	75 mg/L/ 0.084 mM	100 mg/L/ 0.112 mM
E_a , kJ/mol	31.44	10.5	12.43	14.4	16.23
ΔH_a , kJ/mol	65.26	26.22	33.3	40.57	47.65
ΔS_a , kJ/mol T	114.41	−93.81	−74.67	−55.15	−36.97
$E_a - \Delta H_a$	33.82	15.72	20.87	26.17	31.42

The changes in enthalpy (ΔH_a) and entropy (ΔS_a) are correlated with the corrosion rate. This correlation is described in Eq. (8) and is called the transition-state equation. The values of ΔH_a and ΔS_a of the corrosive and inhibited 1 M NaOH + 1 M NaCl solutions were estimated according to slope = $-\Delta H_a/2.303R$ and intercept = $[\log \frac{R}{S_{Nh}} + \left(\frac{\Delta S_a}{2.303R}\right)]$ from the plots of $\log CR_{Grav}/T$ against $1000/T$ (Fig. 2S). The resulting data are listed in Table 3.

$$CR_{Grav} = \frac{RT}{Nh} \exp\left(\frac{\Delta S_a}{R}\right) \exp\left(-\frac{\Delta H_a}{RT}\right) \quad (8)$$

In the above equation, h is the Planck constant ($6.626 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$) and N is the Avogadro number (6.12×10^{23}) [16].

As indicated in the observed data, the R^2 value is near 1, confirming that these transition-state plots are the best for estimating ΔH_a and ΔS_a for both the corrosive and inhibited solutions. Additionally, the values of ΔH_a are positive in both the corrosive and inhibited solutions. This indicates that the corrosion and inhibition processes in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution are endothermic, namely, these processes adsorb additional energy. It is also indicated that the ΔH_a value is higher in the corrosive medium than in the inhibited medium. This is because metal dissolution adsorbs more energy. The presence of the inhibitor decreases metal dissolution, and the ΔH_a value decreases. The change in enthalpy depends on the increase in concentration. This is because the inhibitor forms a complex with iron ions in the solution, and this action requires additional energy; as a consequence, the increase in concentration is responsible for the increase in additional energy. Moreover, the values of ΔS_a are positive in the inhibitor-free 1 M NaOH + 1 M NaCl solution, indicating that metal dissolution, hydrogen evolution and the formation of corrosive products on the metal surface are unstable; thus, the disorderliness is very high in the reactants. However, the ΔS_a value is negative in the presence of the inhibitor. This act confirms that the decrease in the disorderliness takes place from the reactants to the activated complex, which form the modification between the inhibitor and iron ions; thus, the formation of the inhibitor-iron complex is more stable than its dissociation. It is also indicated in the observed data that the difference between the activation energy and enthalpy is large for both the corrosive and inhibited alkaline chloride solutions. This is due to the dissolution of steel, and the inhibition performance and adsorption rate of the GIM inhibitor in the 1 M NaOH + 1 M NaCl solution being unimolecular in nature, similar to Laidler [25].

3.3. Adsorption isotherms

The corrosion of steel in the 1 M NaOH + 1 M NaCl solution is a surface phenomenon, and the inhibitor protects the steel surface from the aggressive ions in the corrosive solution by adsorbing on the steel surface. In these processes, corrosion occurring on the metal surface is blocked by the formation of a protective film on the metal surface; this film also insulates the metal surface from a corrosive environment. In corrosion science, various types of isotherms have been utilized to identify adsorption mechanisms. In this research paper, the Langmuir (Fig. 3S), Frumkin (Fig. 4S) and Temkin (Fig. 5S) isotherms were studied and used to describe the adsorption mechanism. These isotherms are defined according to Eqs. (9–11) [15,25].

$$\text{Langmuir: } \frac{C_{inh}}{\theta_{Grav}} = \frac{1}{K_{ads}} + C_{inh} \quad (9)$$

$$\text{Frumkin: } \frac{\theta_{Grav}}{1 - \theta_{Grav}} \exp(-2f\theta_{Grav}) = K_{ads} C_{inh} \quad (10)$$

$$\text{Temkin: } \exp(f\theta_{Grav}) = K_{ads} C_{inh} \quad (11)$$

In the above equations, K_{ads} is the equilibrium constant of the adsorption-desorption processes of inhibition and θ_{Grav} is the degree of surface coverage.

As illustrated in the obtained figures, the regression coefficient (R^2) is close to 1 for the Langmuir isotherm (Fig. 3S), confirming that compared to the Frumkin (Fig. 4S) and Temkin (Fig. 5S) isotherms, this isotherm is the best fit to measure the thermodynamic parameters. The obtained data are presented in Table 4. The values of K_{ads} for the GIM inhibitor at various temperatures are found from the intercept of the fitted lines in the Langmuir isotherms. Generally, it is clear that the values of K_{ads} are positive, indicating that the adsorption of the inhibitor on the metal surface is highly feasible. The values of K_{ads} for the GIM inhibitor are 343.64 M^{-1} at 303 K, 416.67 M^{-1} at 313 K, 500 M^{-1} at 323 K and 598.8 M^{-1} at 333 K in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. This indicates that the high rate of adsorption of the inhibitor, and this rate increases with increasing temperature. Thus, the adsorption ability is greater than that of desorption at all temperatures.

In the following part of adsorption thermodynamics, the obtained values of K_{ads} are employed to calculate the change in the standard Gibbs energy of adsorption (ΔG_{ads}^0) according to Eq. (12):

$$\Delta G_{ads}^0 = -2.303RT \log(55.55K_{ads}) \quad (12)$$

where 55.55 is the molar concentration of water in the studied solution [19].

Inhibitor molecules are linked to the metal surface by chemical or physical interactions. This interaction is identified by the values of ΔG_{ads}^0 . Generally, a value of ΔG_{ads}^0 under 20 kJ/mol indicates physical sorption. In this sorption mechanism, the more protonated sites in the inhibitor molecule are electrostatically linked with a negatively charged metal surface. A value of ΔG_{ads}^0 over 40 kJ/mol indicates chemical sorption. In this mechanism, the inhibitor forms rigid chemical bonds with vacant d-orbitals on the metal surface. In this research, the free energies of the GIM inhibitors are -24.82 at 25 mg/L, -26.14 at 50 mg/L, -27.47 at 75 mg/L and -28.82 at 100 mg/L (Table 4). These values confirm that GIM is a mixed-type inhibitor. This means that the inhibitor adsorbs on the metal surface by both physical and chemical adsorption mechanisms. The inhibitor chemically interconnects with the metal surface to form chemical bonds between the inhibitor and metal surface. In addition, the inhibitor electrostatically interconnects with the metal surface to form weak electrostatic bonds between the inhibitor and metal surface. It is also revealed that the negative values of the standard free energy for the GIM inhibitor are responsible for the spontaneous adsorption of this molecule on low-carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution.

3.4. Adsorption thermodynamics

In terms of the adsorption thermodynamics of this research, the adsorption characteristics of the GIM inhibitor on the low-carbon steel surface is characterized by changes in the standard enthalpy (ΔH_{ads}^0) and standard entropy (ΔS_{ads}^0) of adsorption. These values are calculated from Eq. (13). Fig. 6S shows the plots of ΔG_{ads}^0 versus temperature for the GIM inhibitor. The ΔH_{ads}^0 value is calculated from ΔH_{ads}^0 = an intercept, and ΔS_{ads}^0 is measured from slope = $-\Delta S_{ads}^0$. The obtained data are presented in Table 4.

$$\Delta G_{ads}^0 = \Delta H_{ads}^0 - T\Delta S_{ads}^0 \quad (13)$$

The value of ΔH_{ads}^0 is positive (15.57 kJ/mol), confirming that the adsorption of the GIM inhibitor on low-carbon steel in the aggressive

Table 4
Thermodynamic parameters of GIM adsorption.

Temperature, K	K_{ads} , M^{-1}	ΔG_{ads}^0 , kJ/mol	ΔH_{ads}^0 , kJ/mol	ΔS_{ads}^0 , J/mol K
303	343.64	-24.82	15.57	133.3
313	416.67	-26.14		
323	500	-27.47		
333	598.8	-28.82		

alkaline-containing chloride-ion solution is endothermic. It is also determined that the value of ΔS_{ads}° is positive (133.3 J/mol), indicating that an increase in entropy occurs as a result of inhibitor adsorption and an increase in the disorder of the GIM inhibitor molecules during their adsorption on the low-carbon steel surface in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. These entropy values also indicate that this stable adsorption film is formed on the metal surface due to the substitution between the inhibitor and pre-adsorbed water molecules on the metal surface.

3.5. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) measurements

The electrochemical kinetics of the low-carbon steel interface/1 M NaOH + 1 M NaCl electrolyte in the absence and presence of the GIM inhibitor at various concentrations were investigated by EIS. The Nyquist plots and the Bode and phase angle plots are presented in Figs. 2 and 3, respectively. What stands out from the obtained Fig. 2 is that the Nyquist plots contain single depressed semi-circles for both the corrosive and inhibited solutions, confirming that the corrosive and inhibitory processes are controlled by the charge transfer mechanism. As carefully observed in Fig. 2, the size of the semi-circles is larger in the inhibitor-containing solution than in the inhibitor-free solution. This is due to the inhibitor forming a protective film on the metal surface, which can effectively diminish the number of contact regions between the metal interface and the hydroxyl and chloride ions; as a result, the formation of corrosive products and the destruction of the metal were maximally reduced. The diameter of the semi-circles increase with increasing inhibitor concentration, demonstrating that increasing the GIM inhibitor concentration increases its inhibitory performance. It is also revealed that the obtained Nyquist capacitive loops are similar and slightly concave, suggesting that the metal surface is more heterogeneous in the corrosive medium. In contrast, the surface heterogeneity is improved in the presence of inhibitor. From Fig. 2, it is also stated that the depressed Nyquist capacity loops are cited at peak frequency in the inhibitor-containing solution, suggesting that the double capacitance on the low-carbon steel interface/NaOH and NaCl electrolytes is lower with the addition of inhibitor.

According to the Bode and phase angle plots (Fig. 3(a, b)), only one phase downward is clearly observed, at approximately 1 kHz, demonstrating that it is a time constant related to the electric double layer on the low-carbon steel interface/1 M NaOH + 1 M NaCl electrolyte. This behavior is responsible for the relaxation processes during charge transfer between the anodic and cathodic regions. Second, it can be clearly seen that the absolute amount of EIS log Z_{mod} considerably increases with increasing inhibitor concentration, indicating that the capacitance increases due to the formation of protective film on the metal surface. Another point is that the value of log Z_{mod} is larger in the

inhibited solution than in the corrosive solution, while its values increase with increasing concentration. This result is attributed to the better anti-corrosive inhibitor of steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. From Fig. 3b, it is noted that the negative values of the phase angle ($-Z_{phz}$) shift towards a more negative phase when the inhibitor is added to the corrosive medium. The phase angle is -43.46° at 7 log Hz in the corrosive medium. In comparison, the phase angle decreases in the presence of the inhibitor. The maximal phase angle that is achieved is -66.5° at 8 log Hz with 100 mg/L. This negative shift in the phase angle confirms that the inhibitor-formed protective film enhances the charge transfer resistance between the anodic and cathodic electrochemical reactions. As a result, the metal corrosion is maximally diminished.

The EIS parameters for the blank and GIM inhibitor at various concentrations in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution were measured using the equivalent circuit model, which is described in Fig. 8S. The resulting EIS data are listed in Table 5. The employed equivalent circuit model includes the solution resistance (R_s), charge transfer resistance (R_{ct}) and constant phase element (CPE), which are described in Eq. (14) [8]:

$$Z_{CPE} = Y_0^{-1}(i\omega)^{-n} \quad (14)$$

where Y_0 is the magnitude of the CPE, i is the imaginary unit, $\omega = 2\pi f$ (ω is the angular frequency, f is the AC frequency), and n shows the phase shift (CPE exponent).

The maximum angular frequencies (ω_{max}) are used in Eq. (15) to estimate the values of the double-layer capacitance (C_{dl}).

$$C_{dl} = Y_0^{-1}(\omega_{max})^{1/n} \quad (15)$$

As shown in Table 5, the values of R_{ct} and R_s are higher in the inhibitor-containing solution than in the inhibitor-free solution. This is due to the inhibitor forming an anti-polarizing obstacle for hindering electrochemical corrosion on the metal surface. It is also noted that the value of C_{dl} is significantly reduced with an increase in the degree of surface coverage. The decrease in C_{dl} is responsible for the decrease in the dielectric constant (ϵ) and increase in the distance between the two layers (d) according to Eq. (16):

$$C_{dl} = \frac{\epsilon\epsilon^0}{d}A \quad (16)$$

where ϵ^0 is the dielectric constant in vacuum and A is the diameter of the surface area [18].

These results confirm that the inhibitor replaces the pre-adsorbed water molecules on the metal surface, confirming that the electrical conductivity of the corresponding solution decreases. As Table 4 shows, an increase in concentration causes a decrease in Y_0 , demonstrating that the GIM inhibitor easily substitutes the adsorbed water molecules on the metal surface. The significance of the n factor obtained from electrochemical impedance spectroscopy is that the values of n are close to unity, which shows a decrease in the surface heterogeneity of low-carbon steel in the presence of the inhibitor and its excellent adsorption on the steel surface. The n is a measure of surface heterogeneity. For a whole number of $n = -1, 0, 1$. It is suggested that if $n < 1$, then it accounts for a deviation from ideal capacitance. The measured values of n are represented in Table 4. Its value explains the surface performance of the metal/electrolyte interface. As can be shown from Table 4, the values of n are lower than one, which accounts for a deviation from ideal capacitance. It is indicated that the values of n are near to 0.8–0.9, showing that the semi-rings of obtained Nyquist plots are depressed. It is also highlighted from the obtained values of n is that the existence of surface roughness and surface inhomogeneity on the studied low-carbon steel/electrolyte interface after immersion time may be the cause of slight deviation from the ideal capacitance. These results are also confirmed from the SEM and EDX surface morphology experiments. The chi-square test (χ^2) was adopted to show the accuracy of the EIS data fitting. Table 4 reveals that the values of χ^2 are very low in all cases, confirming that the EIS fitting data is very accurate. The last point from

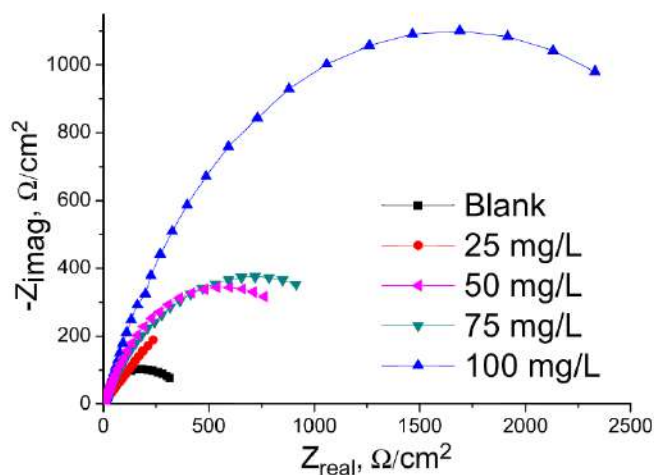


Fig. 2. Nyquist plots of the blank and GIM inhibitor samples.

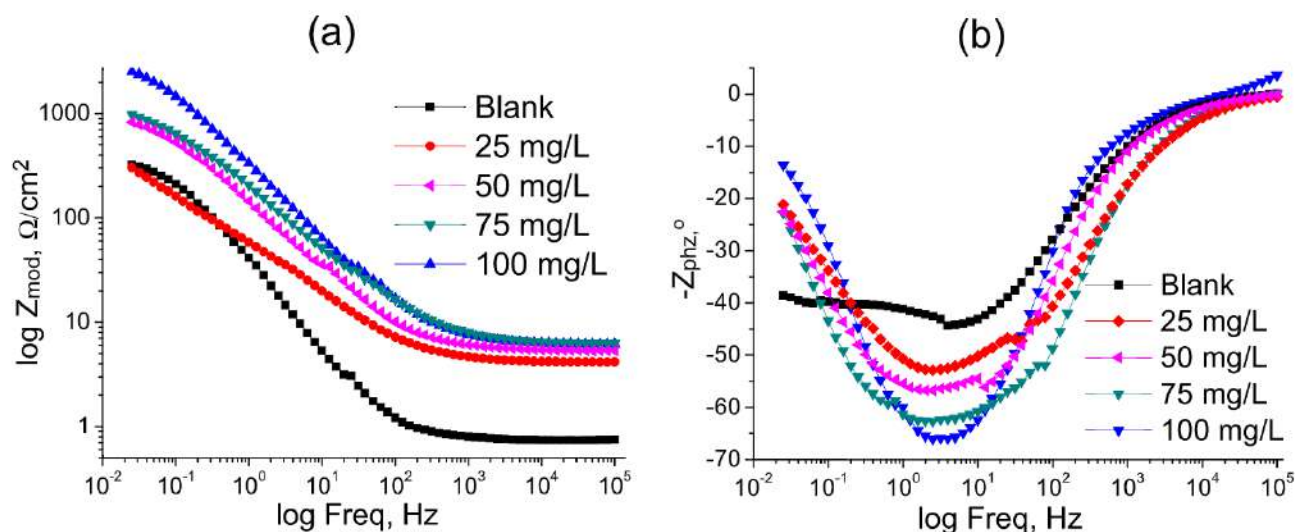


Fig. 3. (a) Bode and (b) phase angle plots of the blank and GIM inhibitor samples.

Table 5

EIS data for low-carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl without and with the GIM inhibitor.

C_{inh} , mg/L	Blank	25 mg/L/0.0028 mM	50 mg/L/0.056 mM	75 mg/L/0.084 mM	100 mg/L/0.112 mM
R_{ct} , Ω/cm^2	87.64 ± 3.51	765.1 ± 35.79	1163 ± 22.07	1407 ± 28.32	3671 ± 76.83
R_s , Ω/cm^2	$0.65 \pm 4.72 \times 10^{-3}$	$3.86 \pm 26.83 \times 10^{-3}$	$5.27 \pm 31.67 \times 10^{-3}$	$6.08 \pm 40.98 \times 10^{-3}$	$6.13 \pm 37.96 \times 10^{-3}$
Y_0 , $\text{S}\cdot\text{s}^{n/2}/\text{cm}^2$	$19.24 \times 10^{-3} \pm 307.4 \times 10^{-6}$	$6.51 \times 10^{-3} \pm 67.97 \times 10^{-6}$	$1.818 \times 10^{-3} \pm 17.32 \times 10^{-6}$	$1.43 \times 10^{-3} \pm 14.47 \times 10^{-6}$	$0.764 \times 10^{-3} \pm 64.41 \times 10^{-6}$
n	$0.842 \pm 3.04 \times 10^{-3}$	$0.857 \pm 2.68 \times 10^{-3}$	$0.861 \pm 2.34 \times 10^{-3}$	$0.863 \pm 1.47 \times 10^{-3}$	$0.872 \pm 2.01 \times 10^{-3}$
C_{dl} , $\mu\text{F}/\text{cm}^2$	103.08	69.32	67.71	55	47.31
η_{EIS} , %	–	88.54	92.46	93.77	97.61
X^2	1.631×10^{-3}	4.117×10^{-3}	1.587×10^{-3}	0.907×10^{-3}	2.119×10^{-3}

Table 4 is that the obtained EIS data confirm that the maximum inhibition efficiency of the GIM inhibitor is 97.61% at 100 mg/L in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution.

3.6. Open-circuit potential measurements

To perform electrochemical analyses, it is important to reach a stable open-circuit potential (OCP) of the low-carbon steel electrode. The OCP indicates the potential distinction between the reference and working electrodes in the case of zero net current flow. The plots of OCP versus

time are important for identifying the behavior of the protective film on the working electrode. Fig. 4a shows the OCP-time curves of the blank sample and of samples containing the GIM inhibitor at various concentrations. As shown in Fig. 4a, the potential wave increases in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution without the inhibitor, confirming that the salt deposits on the metal surface are soluble and unstable in the corresponding environment. In contrast, the potential wave remains stable in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution with the inhibitor, indicating that the GIM inhibitor forms a protective film on the metal surface that is more stable in aggressive alkaline solutions containing chloride ions. An

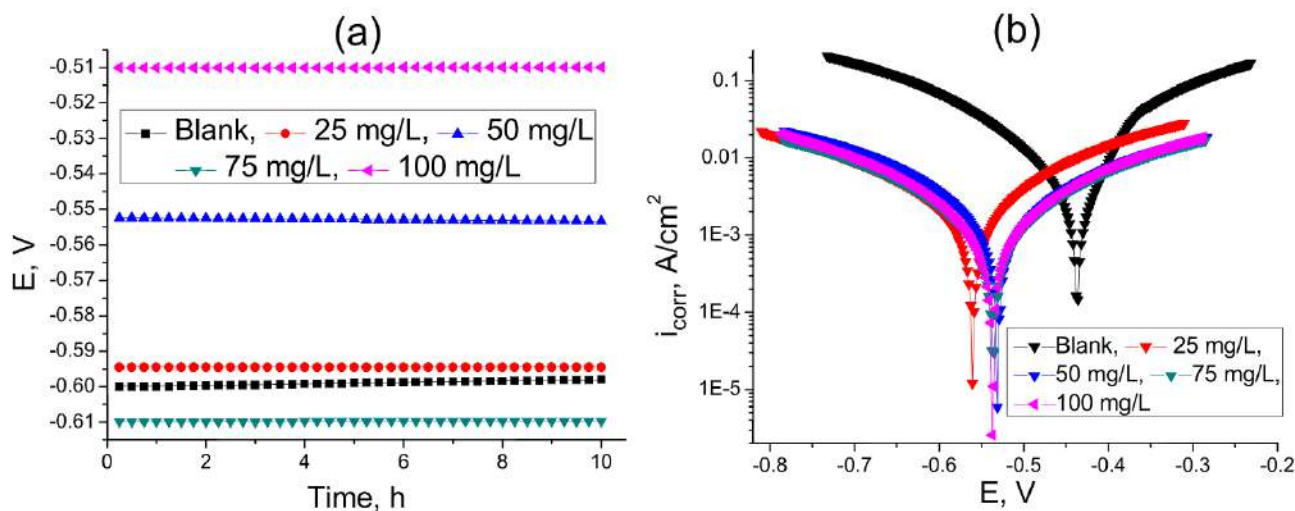


Fig. 4. (a) OCP and (b) polarization curves for the blank and GIM inhibitor samples.

increase in concentration is responsible for the development of the protective film.

3.7. Potentiodynamic polarization (PDP) measurements

The impact of the GIM inhibitor on the polarization behavior of low-carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl was investigated by the PDP method. Fig. 4b shows the PDP curves for the low-carbon steel working electrode in 1 M NaOH + 1 M NaCl in the absence and presence of the GIM inhibitor at various concentrations. As shown in Fig. 4b, the cathodic and anodic PDP curves shift to lower corrosion density regions, confirming that the inhibitor efficiency influences both cathodic hydrogen evolution and anodic steel dissolution. This decreasing trend depends on the increase in concentration. Hydroxyl and chloride ions are more polarized ions on the steel surface; as a result, they polarize the metal surface. The GIM inhibitor is an excellent anti-polarizing molecule on the steel surface. Therefore, this inhibitor importantly protects the metal surface from the polarizing attack of hydroxyl and chloride ions.

The electrochemical kinetic parameters, including the corrosion potential (E_{corr}), corrosion current density (i_{corr}), and Tafel anodic (β_a) and cathodic (β_c) slopes, were estimated from the obtained PDP curves (Fig. 4b); the resulting data are listed in Table 6. What stands out from the observed data is that i_{corr} accounts for 70.95 mA/cm² in the inhibitor-free 1 M NaOH + 1 M NaCl solution, confirming that the corrosion rate is very high; as a result, a large part of the metal electrode corrodes in the aggressive alkaline solution. In contrast, i_{corr} sharply decreases in the presence of the inhibitor, and its value depends on the increase in concentration. For example, the i_{corr} is 7.51 mA/cm² at 25 mg/L, 5.21 mA/cm² at 50 mg/L, 3.27 mA/cm² at 75 mg/L and 1.36 mA/cm² at 100 mg/L. This demonstrates that the GIM inhibitor importantly formed an anti-polarizing obstacle for the corrosive ions. Increasing the concentration enhances the anti-polarization performance of the inhibitor. Consequently, cathodic and anodic metal dissolution are diminished. The next feature in Table 6 is that the potential difference between the corrosive and inhibited solutions is lower than 85 mV in all concentration ranges, which confirms that the GIM inhibitor is a mixed-type inhibitor for steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. It is also revealed in Table 6 that the β_a and $-\beta_c$ values for the selected working electrode change considerably in the presence of the inhibitor. This means that the inhibitor can control both the cathodic and anodic electrochemical reactions on the metal surface by adsorbing the inhibitor to form a protective film. PDP experiments confirm that the maximum inhibition efficiency of the GIM inhibitor is 98.08% at 100 mg/L. These results indicate that the hydroxyl functional groups in the gossypol rings play a significant role in developing the protective behavior of the inhibitor. In addition, the donor-acceptor interactions between the aromatic ring and vacant d-orbitals of iron also support the inhibition efficiency.

Table 6
PDP Tafel properties of the blank and GIM inhibitor.

Parameter	C_{inh} , mg/L				
	Blank	25 mg/L /0.0028 mM	50 mg/L /0.056 mM	75 mg/L /0.084 mM	100 mg/L /0.112 mM
i_{corr} , mA/ cm ²	70.95	7.51	5.21	3.27	1.36
E_{corr} , mV	-438	-558	-533	-537	-539
β_a , mV/ decade	132.52	254.39	284.43	241.6	251.87
$-\beta_c$, mV/ decade	183.62	305.18	251.3	268.54	248.63
CR_{PDP} , mpy	68.51	1.78	1.34	0.81	0.42
η_{PDP} , %	–	89.41	92.65	95.39	98.08

3.8. Electrochemical frequency modulation measurements

The electrochemical frequency modulation (EFM) method was employed to study the electrochemical kinetics of the low-carbon steel working electrode in the corrosive and inhibited 1 M NaOH + 1 M NaCl solutions with various concentrations (25, 50, 75 and 100 mg/L) of the GIM inhibitor. Fig. 7S shows the EFM intermodulation spectra for the blank and GIM inhibitor-containing 1 M NaOH + 1 M NaCl solutions. It is noticeable from the observed data that the EFM spectra are cited in more negative current areas for the inhibited solution than for the corrosive solution, confirming that the inhibitor decreases the current flow between the cathode and anode. In a corrosive system, the current flows faster between the anode and cathode. However, the presence of an inhibitor decreases this current flow. The hydroxyl and chloride ions support the current flow, and an increase in the number of these ions is the reason for metal corrosion. The gossypol rings in the GIM inhibitor are more polar and good adsorbents on the steel surface; these rings effectively block the anodic and cathodic current flow. The relationship between the current and frequency in the EFM intermodulation spectra (Fig. 7S) depends on the increase in concentration. For example, fluctuations in the EFM spectra were cited at approximately 1E-8 log A at 25 mg/L, 1E-8.5 log A at 50 mg/L, 1E-8.75 log A at 75 mg/L and 1E-8.9 log A at 100 mg/L. This is because the degree of surface coverage of the inhibitor on the metal surface increases with increasing concentration, and the high degree of adsorption is responsible for the good protective film on the metal surface. This protective film on the metal surface is also attributed to insulating the metal surface from the aggressive alkaline solution with chloride ions.

In the next part of the EFM measurements, the kinetic parameters for the blank and GIM inhibitor samples were estimated from the intermodulation peak currents in the EFM spectra (Fig. 7S). Causality factors (2) and (3) were estimated to determine the accuracy of the obtained EFM data.

Table 7 lists the values of I_{corr} , CR_{EFM} , β_c , β_a , IE_{EFM} , and causality factors (2) and (3) for the blank sample and samples with the GIM inhibitor at various concentrations in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. As shown in Table 7, the corrosion current is 881.31 μ A for the blank and 53.55 μ A for the 25 mg/L GIM inhibitor, indicating that the corrosive destruction of steel decreases in the presence of the inhibitor. The values of the corrosion current depend on the change in concentration. For example, the I_{corr} is 42.81 μ A at 75 mg/L, 26.52 μ A at 75 mg/L and 16.71 μ A at 100 mg/L. The CR_{EFM} is also higher in the inhibitor-free solution than in the inhibitor-containing solution. The inhibitor dramatically decreases the corrosion rate from 408.61 mpy to 36.53 mpy at 100 mg/L. It should be noted that the addition of an inhibitor impacts the values of β_c and β_a for the metal working electrode. This indicates that the GIM inhibitor considerably blocks both cathodic and anodic corrosion by forming a protective thin film on the steel surface in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. The resulting EFM data confirm that the IE_{EFM} for the GIM inhibitor is 93.92% at 25 mg/L, 95.14% at 50 mg/L, 96.99% at 75 mg/L and 98.1% at 100 mg/L. Therefore, the protective ability of the selected inhibitor is excellent for steel in the aggressive alkaline solution with chloride ions. In EFM theory, the theoretical values of causality factors (2) and (3) are equal to 2 and 3, respectively. In this experiment, the values of causality factors (2) and (3) in Table 7 are close to 2 and 3, respectively. This result confirms that the accuracy of the observed EFM data is high.

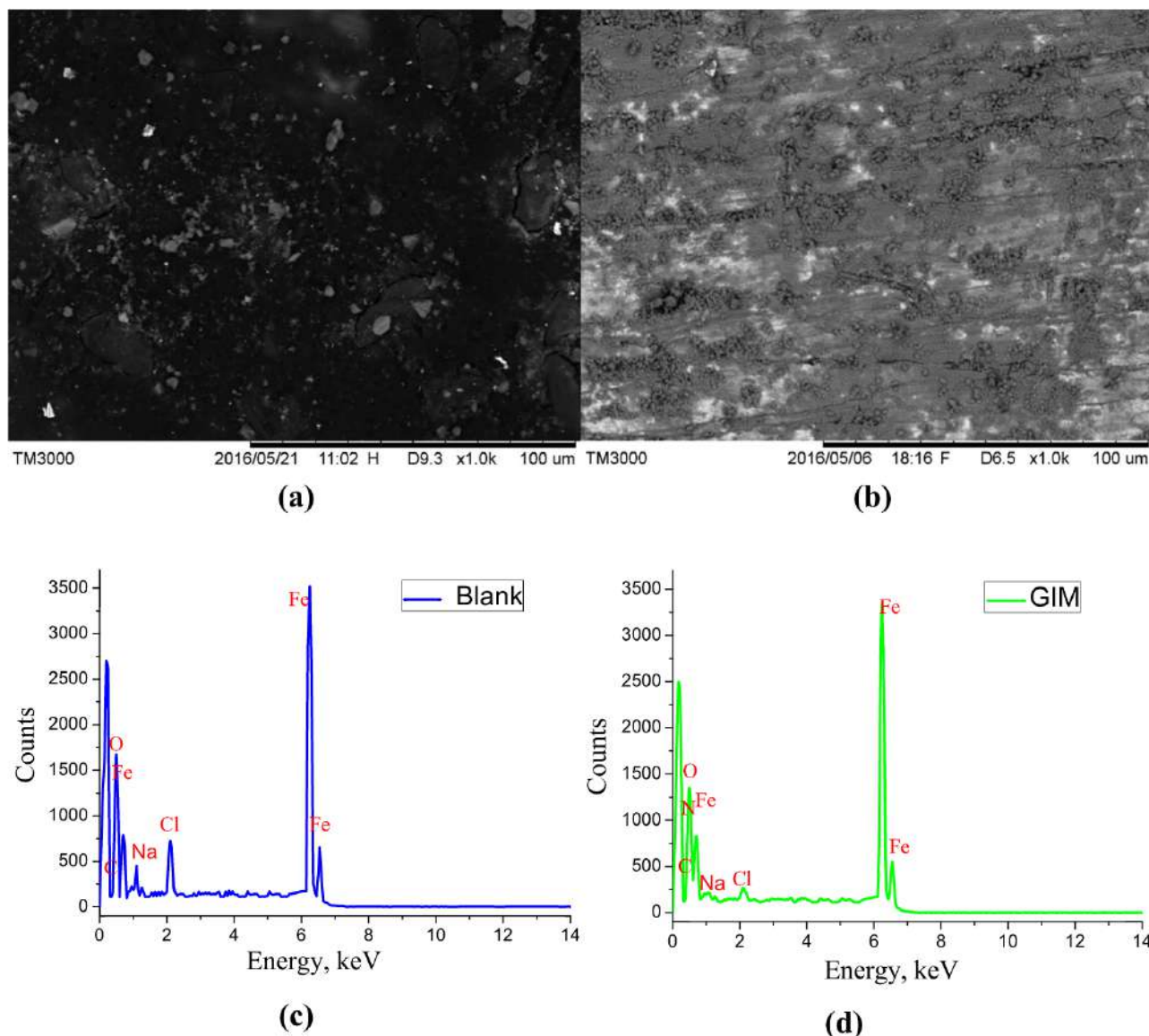
3.9. Surface measurements

Fig. 5 shows the SEM micrographs of the steel after 76 h of immersion in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution without and with 100 mg/L GIM inhibitor. Fig. 5a clearly shows that the surface of the low-carbon steel metal coupon is seriously scratched and destroyed because the corrosive solution is aggressive and the highly active hydroxyl, chloride and hydrogen ions corrode the metal surface at a high rate. In addition,

Table 7

EFM data for the blank sample and samples with the GIM inhibitor at various concentrations in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution.

C_{inh} , mg/L	I_{corr} , μA	CR_{EFM} , mpy	β_A , mV/decade	$-\beta_C$, mV/decade	IE_{EFM} , %	Causality factor (2)	Causality factor (3)
Blank	881.31	408.61	256.43	403.62	–	1.98	2.96
25	53.55	116.34	181.21	276.53	93.92	1.99	2.98
50	42.81	89.46	175.24	230.54	95.14	2.01	3.01
75	26.52	55.61	120.84	206.37	96.99	2.01	3.02
100	16.71	36.53	111.27	175.42	98.1	1.98	2.98

**Fig. 5.** SEM images of the (a) blank sample and (b) sample with 100 mg/L GIM inhibitor in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. EDX spectra of the (c) blank sample and (d) sample with 100 mg/L GIM inhibitor in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution.

corrosion deposits, including $FeCl_3$, $Fe(OH)_3$ and NaCl salts, cover the metal surface. These salt layers are good sorbents for the corrosive ions and support the corrosive destruction of the metal. Fig. 5b shows that the surface morphology of the steel coupon is significantly improved in the presence of 100 mg/L GIM inhibitor. Therefore, the addition of inhibitor is the reason for the large decrease in the corrosive destruction of the metal coupon and the removal of salt deposits from the surface of the metal. This is because the inhibitor is effectively adsorbed on the metal surface; as a consequence, the metal surface is insulated from the corrosive environment.

On the other hand, the EDX spectra in Fig. 5c and d demonstrate the elementary analysis of the steel surface in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution without and with the GIM inhibitor, respectively. It is clearly evident in Fig. 5c that the percentage of Fe is lower because Fe is oxidized; as a result, some part of the metal surface is corroded and destroyed. The presence of oxygen increases because it reacts with Fe; consequently, iron oxides form on the metal surface. The Cl and Na ions adsorb on the metal surface and corrode it; as a result, the spectra of the Cl and Na ions are shown in Fig. 5c. In contrast, the presence of the GIM inhibitor decreases the concentration of chloride and oxygen ions on the

metal surface; as a consequence, the spectra of Cl and Na ions decreases, as shown in Fig. 5d. These results confirm that the GIM inhibitor forms a protective film on the steel surface; this film effectively insulates the metal surface from an aggressive alkaline environment with chloride ions.

3.10. Theoretical calculations

3.10.1. Optimization of the GIM inhibitor

The structure of the GIM inhibitor was optimized before the DFT calculation. The optimized structure of the GIM inhibitor is represented in Fig. 9S. It is clear from the obtained results that the GIM inhibitor has a large planar structure. The hydroxyl, amino, methoxy and benzoyl rings are mainly responsible for enhancing its corrosion inhibition. The large planar structure is also attributed to an increase in its inhibition performance. The GIM inhibitor is water soluble with a good planar structure. The length and angles of the chemical bonds in the hydroxyl, amino and methoxy functional groups increase due to the large planar

structure. As a result, the GIM inhibitor easily reacts with iron ions to form active complexes, which rigidly adsorb onto a metal surface to form a protective film. In addition, free electron pairs are easily shared from the more polarized inhibitor structure to the vacant d-orbitals of iron.

3.10.2. Frontier molecular orbitals of the GIM inhibitor

Frontier molecular orbital analysis (FMO) indicates the electron distribution in the LUMO and HOMO of the GIM inhibitor. Fig. 6 describes the LUMO and HOMO of the optimized GIM inhibitor. The LUMO electron distribution is positioned around the gossypol rings and amino groups, indicating that the donor electrons are mainly cited around the HOMO regions. The localized electrons in the HOMO regions are easily shared from the inhibitor molecule to the d-orbitals of iron. Additionally, the GIM inhibitor is protonated through the HOMO regions. Notably, the HOMO regions are the chemical adsorption centers, indicating that GIM inhibitor is adsorbed on the metal surface through the HOMO regions. On the other hand, the LUMO regions are positioned

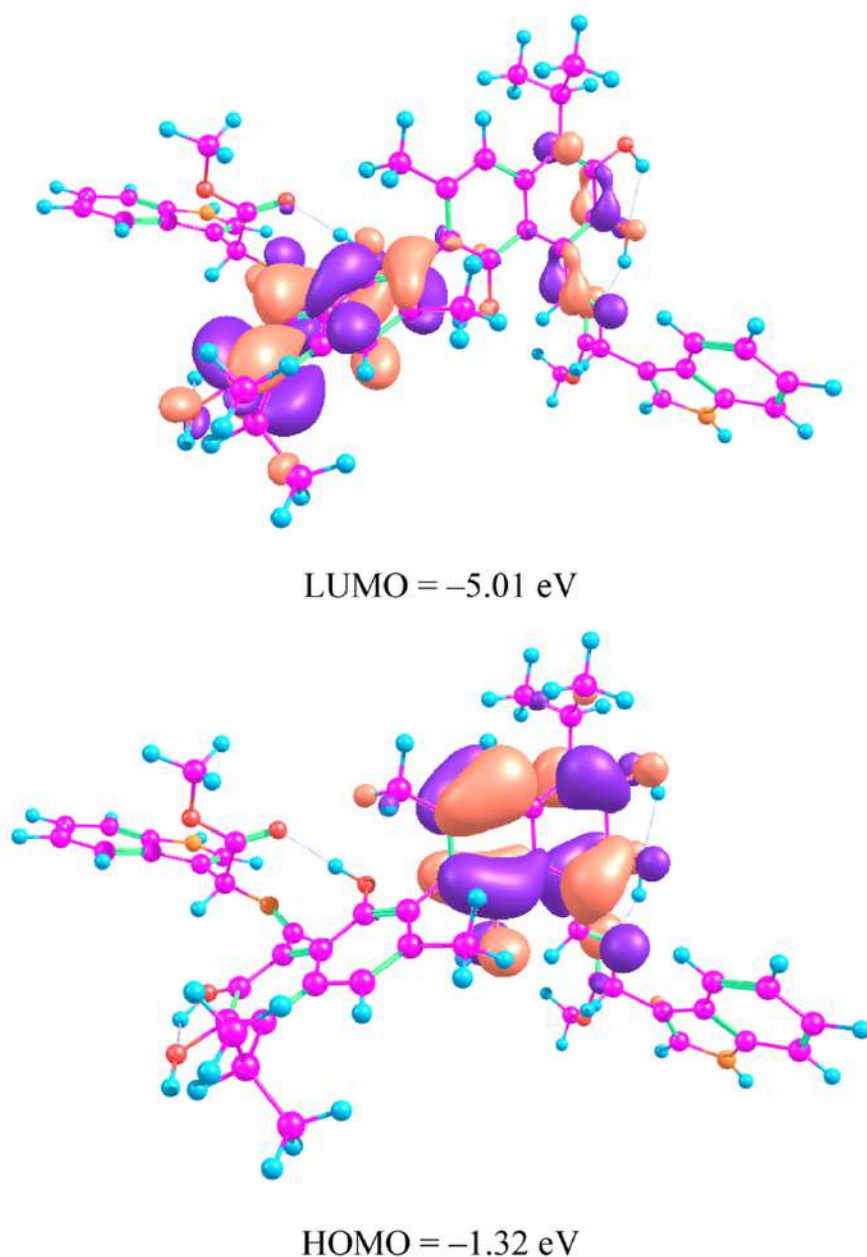


Fig. 6. Frontier orbitals of the GIM molecule: HOMO (bottom) and LUMO (top). Gap = 3.69 eV. Visualized with ChemCraft software [41].

around the indole rings, showing that electroaccepting actions occur in the LUMO regions. The GIM inhibitor electrostatically interacts with the metal surface through the LUMO regions.

3.11. Molecular electrostatic potentials of the GIM inhibitor

The molecular electrostatic potential (MEP) represents the most favorable electrophilic and nucleophilic attack regions of the optimized structure. In this research work, the MEP for the optimized GIM structure is found, and the obtained results are shown in Fig. 7. The nucleophilic and electrophilic regions of GIM are red and green, respectively. Overall, what stands out from the obtained results is that the MEP is more nucleophilic molecules. This observation contributes to its enhanced inhibition performance. It should be emphasized that the nucleophilic attack positions are positioned around the nitrogen and oxygen atoms in MEP, which means that the nucleophilic regions are responsible for the adsorption performance of the GIM inhibitor.

3.12. Reactivity indicators of the GIM inhibitor

The energy difference between the HOMO (E_{HOMO}^{DFT}) and LUMO (E_{LUMO}^{DFT}) of the optimized GIM structure was determined to estimate the values of the reactivity indicators, such as the electrodonating power ($\omega(+)^{DFT}$), electroaccepting power ($\omega(-)^{DFT}$), α – polarizability (α^{DFT}), electronic chemical potential (μ_{inh}^{DFT}), electron affinity (A_{inh}^{DFT}), electrophilicity index (ω_{inh}^{DFT}), nucleophilicity (ϵ_{inh}^{DFT}), molecular ionization potential (I_{inh}^{DFT}), electronic negativity (χ_{inh}^{DFT}), chemical softness (σ_{inh}^{DFT}), chemical hardness (η_{inh}^{DFT}), β – polarizability (β_{inh}^{DFT}), γ – polarizability (γ_{inh}^{DFT}), fraction of electrons transferred from the inhibitor molecule to the metal surface (ΔN_{inh}^{DFT}) (related to Koopmans's theory) and metal–inhibitor interaction energy ($\Delta\psi_{inh}^{DFT}$) using Eqs. (17–31) [4–6,8,11]. The estimated values of the above reactivity indicators are summarized in Table 8.

$$\Delta E_{inh}^{DFT} = E_{LUMO}^{DFT} - E_{HOMO}^{DFT} \quad (17)$$

$$I_{inh}^{DFT} = -E_{HOMO}^{DFT} \quad (18)$$

$$A_{inh}^{DFT} = -E_{LUMO}^{DFT} \quad (19)$$

$$\omega(+)^{DFT} = (I_{inh}^{DFT} \times 3A_{inh}^{DFT})^2 + (16(I_{inh}^{DFT} - A_{inh}^{DFT})) \quad (20)$$

Table 8

Values of the reactivity indicators of the GIM inhibitor.

Parameter	Parameter values in eV
E_{HOMO}^{DFT}	−1.32
E_{LUMO}^{DFT}	−5.01
ΔE_{inh}^{DFT}	3.69
I_{inh}^{DFT}	1.32
A_{inh}^{DFT}	5.01
μ_{inh}^{DFT}	−3.165
χ_{inh}^{DFT}	3.165
η_{inh}^{DFT}	−1.845
σ_{inh}^{DFT}	−0.542
α_{inh}^{DFT}	−2.71
$\omega(+)^{DFT}$	334.57
$\omega(-)^{DFT}$	3483.45
ϵ_{inh}^{DFT}	699.33
β_{inh}^{DFT}	88
γ_{inh}^{DFT}	0.433×10^3
ϵ_{inh}^{DFT}	−0.36
ΔN_{inh}^{DFT}	−1.04
$\Delta\psi_{inh}^{DFT}$	−0.51
Dipole moment, Debye	4.316

$$\omega(-)^{DFT} = (3I_{inh}^{DFT} \times 3A_{inh}^{DFT})^2 + (16(I_{inh}^{DFT} - A_{inh}^{DFT})) \quad (21)$$

$$<\alpha_{inh}^{DFT}> = 1/3[a_{xx} + a_{yy} + a_{zz}] \quad (22)$$

$$<\beta_{inh}^{DFT}> = 1/3[\beta_{xxx} + \beta_{yyy} + \beta_{zzz}] \quad (23)$$

$$<\gamma_{inh}^{DFT}> = 1/3[\gamma_{xxxx} + \gamma_{yyyy} + \gamma_{zzzz}] \quad (24)$$

$$\omega_{inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{inh}^{DFT})^2}{2\eta_{inh}^{DFT}} \quad (25)$$

$$\sigma_{inh}^{DFT} = \frac{1}{\eta} \quad (26)$$

$$\eta_{inh}^{DFT} = \frac{1}{2}(I_{inh}^{DFT} - A_{inh}^{DFT}) \quad (27)$$

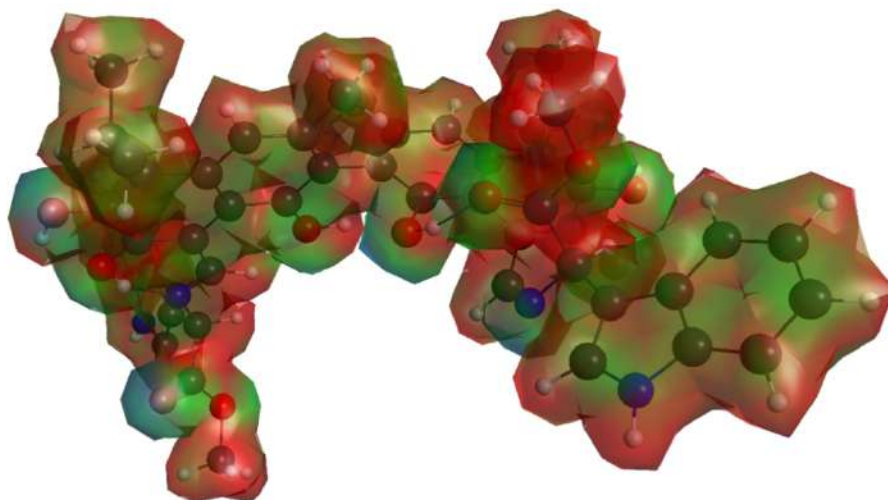


Fig. 7. MEP of the GIM molecule. Visualized with wxnacmolplt software [42].

$$\varepsilon_{inh}^{DFT} = \frac{1}{\omega_{inh}^{DFT}} \quad (28)$$

$$\chi_{inh}^{DFT} = -\mu_{inh}^{DFT} = \frac{1}{2} \left(I_{inh}^{DFT} + A_{inh}^{DFT} \right) \quad (29)$$

$$\Delta N_{inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Fe} - \chi_{inh}^{DFT})}{2(\eta_{Fe} + \eta_{inh}^{DFT})} \quad (30)$$

$$\Delta \psi_{inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Fe} - \chi_{inh}^{DFT})}{4(\eta_{Fe} + \eta_{inh}^{DFT})} \quad (31)$$

In the above equations, η_{Fe} is 0 eV/mol and χ_{Fe} is 7 eV/mol [18,21].

The most notable feature is that the energetic difference between the LUMO and HOMO for the GIM inhibitor is 0.30 eV; this value is very low, confirming that the GIM inhibitor is a more reactive and polar molecule. Its more reactive behavior supports its reaction with iron ions and its adsorption on a metal surface. It is also revealed that the values of the electrodonating power, electroaccepting power, α – polarizability, electronic chemical potential, electron affinity, electrophilicity index, nucleophilicity, molecular ionization potential, electronic negativity, chemical softness, chemical hardness, β – polarizability and γ – polarizability suggest that the inhibition performance of the GIM inhibitor is excellent and depends on these reactivity parameters. It is also recommended that the estimated values of the reactivity indicators are key factors for identifying the inhibition characteristics. Another interesting point in Table 8 is that the obtained values of ΔN_{inh}^{DFT} and $\Delta \psi_{inh}^{DFT}$ indicate that (i) the fraction of electron transfer from the inhibitor molecule to the metal surface is large, showing that the GIM inhibitor rapidly interacts chemically with the metal surface to form a protective adsorption film and (ii) the metal–inhibitor interaction energy is high, indicating that the GIM inhibitor effectively interacts electrostatically with the metal surface. These indicators are responsible for the chemical and physical interactions of the GIM inhibitor on the metal surface. Table 1S presents the polarizabilities of the GIM molecule (dipole moment in Debye; electric field in Hartree/e*bohr), signifying that the GIM inhibitor is highly soluble and more polar in acidic electrolytes.

3.13. Fukui indices of the GIM inhibitor

The values of the Fukui indices of the GIM inhibitor are summarized in Table 2S. The most favorable local molecular reactive regions of the GIM inhibitor are described by the Fukui indices. Table 2S shows the most nucleophilic (f_k^+ high), electrophilic (f_k^+ high) and neutral (f_k^0 high) attack sites in the GIM molecule. The values of f_k^+ , f_k^- and f_k^0 calculated by Mulliken population analysis (MPA) and Fukui functions, namely, $f_k^+ = D$ (neutral molecule) – D (cation) and $f_k^- = D$ (anion) – D (neutral molecule); additionally, $f_k^0 = (D$ (anion) – D (cation))/2, where D (a.u.) is the total electron density of each nucleus using Eqs. (32–34).

$$f_k^+ = P_k(N+1) - P_k(N) \quad (32)$$

$$f_k^- = P_k(N) - P_k(N-1) \quad (33)$$

$$f_k^0 = P_k(N+1) - P_k(N-1) \quad (34)$$

where $P_k(N+1)$, $P_k(N)$ and $P_k(N-1)$ are anionic, neutral and cationic molecules, respectively.

According to the data shown, the values of f_k^- are large for the 11 O, 35 C, 36 N, 42 C, 49 O and 58 O atoms, indicating that these atoms are adsorption centers and are responsible for the chemical interaction between the corrosion inhibitor and metal surface. In comparison, the 3 O, 8 C, 21 O, 24 C, 28 C, 35 C, 36 N, 38 C, 39 N and 49 O atoms are more electrophilic centers, indicating that these atoms promote the inhibition activities of the GIM inhibitor. It is also noted that the presence of more neutral atoms effectively insulates the metal surface from the electrolyte

solution.

3.14. Molecular dynamics simulation

The interaction between the GIM inhibitor and the steel surface was studied by MD simulations. The whole investigated system reaches equilibrium when both the temperature and energy are balanced. Fig. 8a displays the most stable adsorption configurations (top and side views) of the GIM inhibitor on the Fe(110) surface. Clearly, the inhibitor tends to be adsorbed on the Fe(110) surface in parallel mode to obtain the maximum coverage. Fig. 8b shows the density field distribution of the GIM inhibitor on the Fe(110) substrate, and we can assume that a dense barrier layer can be formed in three-dimensional space to resist the erosion caused corrosive particles. Fig. 8c shows the three-dimensional relative concentration distributions of the GIM inhibitor during the MD process. Clearly, the C(001) direction (i.e., z-axis) exhibits the highest relative concentration value, which reconfirms the parallel adsorption configuration. The radial distribution function (RDF), $g(r)$, illustrates the length of the link. This parameter is defined as the probability of finding particle B within the range around particle A [13,18], as shown in Eq. (35):

$$g_{AB}(r) = \frac{1}{\langle \rho_B \rangle_{local}} \times \frac{1}{N_A} \sum_{i \in A} \sum_{j \in B} \frac{\delta(r_{ij} - r)}{4\pi r^2} \quad (35)$$

where ρ_B represents the particle density of B averaged over all shells around particle A. The peak between 1 and 3.5 Å is attributed to chemisorption, while physisorption is connected with peaks larger than 3.5 Å. The radial distribution function of the centroid of the GIM inhibitor is shown in Fig. 8d, and clearly, the bond length of the Fe (surface)–inhibitor (3.127 Å) is less than 3.5 Å, which indicates that chemisorption is dominant in the investigated adsorption system.

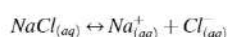
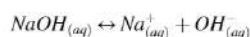
The strength of the inhibitor adsorbed on the metal surface can be evaluated by the adsorption energy (E_{ads}), which was calculated according to Eq. (36):

$$E_{ads} = E_{total} - (E_{surf+solu} + E_{inh+solu}) + E_{solu} \quad (36)$$

where E_{total} is the energy of the entire system, $E_{surf+solu}$ represents the total energy of the Fe(110) surface and solution without the inhibitor, $E_{inh+solu}$ stands for the total energy of the inhibitor and solution, and E_{solu} is the potential energy of the solvent molecules. Generally, a more negative value of E_{ads} suggests a stronger adsorption strength between an inhibitor molecule and a metal surface. The obtained E_{ads} value of the GIM inhibitor is –1216.4 kJ/mol. A negative value indicates the stability of the adsorptive system; thus, spontaneous adsorption can be expected. In short, our theoretical results satisfactorily account for the experimental findings.

3.15. Corrosion and inhibition mechanisms

The corrosion processes on the low-carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution are complex phenomena. The studied corrosive medium is an aggressive alkaline (pH=13.8) solution. NaOH and NaCl form $OH_{(aq)}^-$ and $Cl_{(aq)}^-$ ions, which are mainly responsible for alkaline corrosion. Notably, hydrogen gas is observed at the cathodic site. The corrosion reactions are as follows:



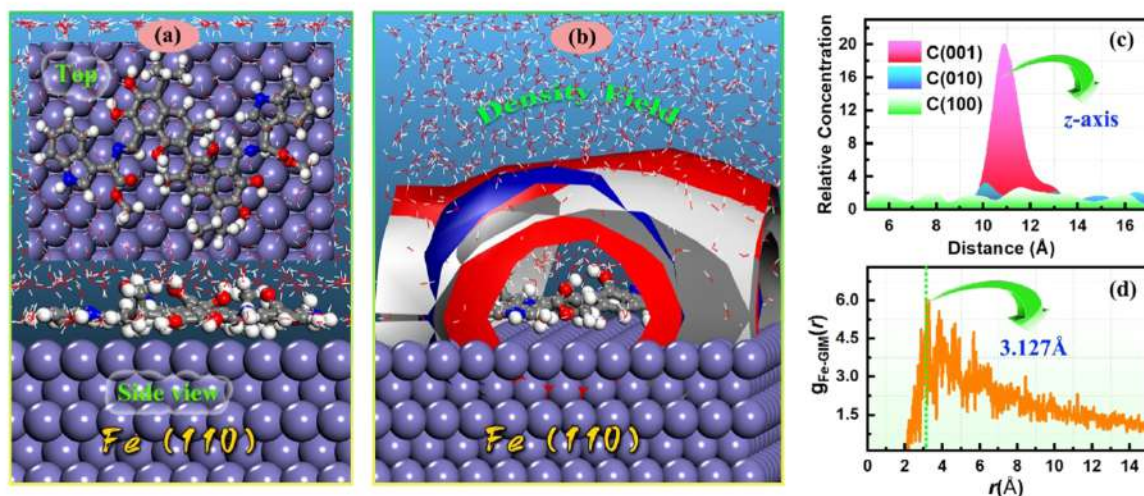
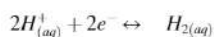
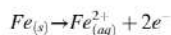


Fig. 8. (a) Equilibrium snapshots, (b) density field distribution, (c) relative concentration, and (d) RDF plots for the GIM/Fe(110) system.



Corrosive ions easily react with the metal surface to form iron ions. In alkaline solution, the metal surface is destroyed with the formation of iron ions. The anodic reaction is as follows:



When the GIM corrosion inhibitor is added to the corrosive solution, it shifts to its ($InhH_{(aq)}^+$). Next, $InhH_{(aq)}^+$ is adsorbed on the metal surface by electrostatic interactions. In addition, some inhibitor molecules react with iron ions to form active complexes ($InhFe_{(aq)}^{2+}$). Then, the formed $InhFe_{(aq)}^{2+}$ adsorbs on the metal surface. The inhibition reactions are as follows:

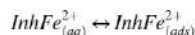
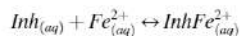
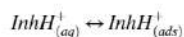
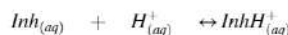
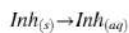


Fig. 9 describes the pictorial representation of the GIM inhibition mechanism on low-carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution. It is clear that the GIM inhibitor interacts with the metal surface in chemical and physical ways. The chloride ions are neutralized by protonated nitrogen atoms, while the hydrogen cations are neutralized by hydroxyl functional groups. These processes are referred to as physical interactions. On the other hand, the p-electron pairs of hydroxyl

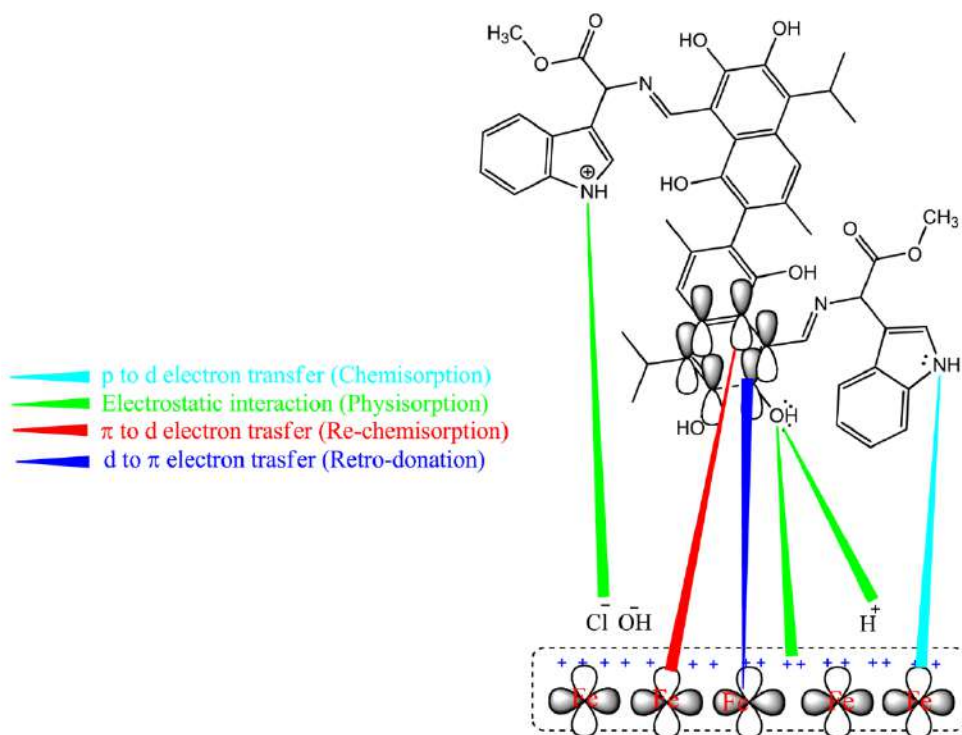


Fig. 9. Pictorial representation of the GIM inhibition mechanism on low-carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution.

functional groups are transferred to vacant d-orbitals or iron, while the delocalized π -electrons of benzoyl rings are transferred to the vacant d-orbitals of iron on the metal surface. Additionally, some d-electrons of iron are re-shared with the benzoyl rings. These actions are chemical interactions.

4. Conclusions

This research work is the first to introduce a novel and green GIM as a corrosion inhibitor for low-carbon steel in 1 M NaOH + 1 M NaCl solution, and its inhibition behaviors were fully identified by thermodynamic, gravimetric, EFM, PDP, EIS, DFT, MD simulation, and SEM-EDX analyses. The conclusions are as follows: (i) GIM is an excellent anti-corrosion inhibitor for low-carbon steel in the selected aggressive solution; (ii) the maximum inhibition of the GIM inhibitor reaches 96.01% at 100 mg/L and 0.112 mM; (iii) the adsorption performance of this inhibitor follows the Langmuir isotherm; (iv) the PDP results confirm that the GIM molecule is a mixed-type inhibitor; (v) a more thermodynamically stable protective film on the steel surface is formed in the presence of the GIM inhibitor; (vi) the EIS results show that the GIM inhibitor controls the corrosion processes by a charge transfer mechanism; (vii) the bond length of the Fe(surface)-inhibitor (3.127 Å) is less than 3.5 Å, which indicates that chemisorption is dominant in the investigated adsorption system; The obtained Eads value of the GIM inhibitor is -1216.4 kJ/mol. A negative value indicates the stability of the adsorptive system; the theoretical calculations correlate well with the experimental results and show that the gossypol and indole rings in the molecular structure are the main contributors to the inhibition behavior.

CRediT authorship contribution statement

Elyor Berdimurodov: Writing – original draft, Conceptualization, Investigation, Visualization. **Abduvali Kholikov:** Reviewing and Editing paper. **Khamdam Akbarov:** Reviewing and Editing paper. **Lei Guo:** Methodology, Software, Validation. **Savaş Kaya:** Software, Validation. **Konstantin P. Katin:** Software, Validation. **Dakeshwar Kumar Verma:** Reviewing. **Mohamed Rbaa:** Reviewing. **Omar Dagdag:** Reviewing. **Rajesh Haldhar:** Reviewing.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

The authors wish to acknowledge Ministry of Higher and Secondary Specialized Education of the Republic of Uzbekistan and Ministry of Innovative Development of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, Tianjin University, Tianjin, China, Karshi State University, Karshi, Uzbekistan. This work was partially sponsored by the National Natural Science Foundation of China (21706195, 22062022).

Appendix A. Supporting information

Supplementary data associated with this article can be found in the online version at [doi:10.1016/j.colsurfa.2021.128207](https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.128207).

References

[1] Jianhong Tan, Lei Guo, Hong Yang, Fan Zhang, Youness El Bakri, Synergistic effect of potassium iodide and sodium dodecyl sulfonate on the corrosion inhibition of carbon steel in HCl medium: a combined experimental and theoretical investigation, *RSC Adv.* 10 (2020) 15163.

[2] M. Rbaa, A. Hichar, O. Bazdi, Y. Lakhri, K. Ounine, B. Lakhri, Synthesis, characterization, and in vitro antimicrobial investigation of novel pyran derivatives based on 8-hydroxyquinoline, *Beni Suel Univ. J. Basic Appl. Sci.* 12 (2019) 1–7.

[3] E. Berdimurodov, K. Akbarov, A. Kholikov, Electrochemical frequency modulation and reactivation investigation of thioglycolurils in strong acid medium, *Adv. Mater. Res.* 1154 (2019) 122–128.

[4] Lei Guo, Ruilai Zhang, Bochuan Tan, Wenpo Li, Hongyan Liu, Sizhan Wu, Locust bean gum as a green and novel corrosion inhibitor for Q235 steel in 0.5 M H₂SO₄ medium, *J. Mol. Liq.* 310 (2020), 113239.

[5] Omar Dagdag, Ahmed El Harfi, Mustapha El Gouri, Zaki Safi, Ramzi T.T. Jalgham, Nuhla Wazzan, Chandrabhan Verma, E.E. Ebenso, U.Pramod Kumar, Anticorrosive properties of Hexa (3-methoxy propan-1,2-diol) cyclotri-phosphazene compound for carbon steel in 3% NaCl medium: gravimetric, electrochemical, DFT and Monte Carlo simulation studies, *Heliyon* 5 (2019), e01340.

[6] M. Rbaa, O. Bazdi, A. Hichar, Y. Lakhri, K. Ounine, B. Lakhri, Synthesis, characterization and biological activity of new pyran derivatives of 8-hydroxyquinoline, *Eurasia J. Anal. Chem.* 13 (2018) 19–30.

[7] Elyor Berdimurodov, J. Wang, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Bakhtiyor Burikhonov, Nurbik Umirov, Investigation of a new corrosion inhibitor cucurbiturils for mild steel in 10% acidic medium, *Adv. Eng. Forum* 18 (2016) 21.

[8] Lei Guo, Bochuan Tan, Xiuli Zuo, Wenpo Li, Senlin Leng, Xingwen Zheng, Eco-friendly food spice 2-Furfurylthio-3-methylpyrazine as an excellent inhibitor for copper corrosion in sulfuric acid medium, *J. Mol. Liq.* 317 (2020), 113915.

[9] M. Rbaa, P. Dohare, A. Berisha, O. Dagdag, L. Lakhri, M. Galai, A. Zarrouk, New epoxy sugar based glucose derivatives as ecofriendly corrosion inhibitors for the carbon steel in 1.0 M HCl: experimental and theoretical investigations, *J. Alloy. Compd.* 833 (2020), 154949.

[10] M. Rbaa, A. Hichar, P. Dohare, Y. El H. Anouar, B. Lakhri, M. Lakhri, F. Berredjem, V. Almalki, M. Rastija, T. Rajabi, Hadda Ben, A. Zarrouk, Synthesis, characterization, biocomputational modeling and antibacterial study of novel pyran based on 8-hydroxyquinoline, *Arab. J. Sci. Eng.* 16 (2020).

[11] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Innat Nakhatov, Nigora Kh Jurakulova, Nurbek Umirov, Adsorption isotherm and SEM investigating of cucurbit [n]urils based corrosion inhibitors with gossypol for mild steel in alkaline media containing chloride ions, *Adv. Eng. Forum* 23 (2017) 13.

[12] Lei Guo, Youness El Bakri, Rongrong Yu, Jianhong Tan, El. Mokhtar Essassi, Newly synthesized triazolopyrimidine derivative as an inhibitor for mild steel corrosion in HCl medium: an experimental and in silico study, *J. Mater. Res. Technol.* 9 (3) (2020) 6568–6578.

[13] M. Rbaa, F. Benhiba, M. Galai, A.S. Abousalem, M. Ousaki, C.H. Lai, A. Zarrouk, Synthesis and characterization of novel Cu (II) and Zn (II) complexes of 5-[(2-hydroxyethyl) sulfanyl] methyl-8-hydroxyquinoline as effective acid corrosion inhibitor by experimental and computational testings, *Chem. Phys. Lett.* (2020), 137771.

[14] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, D. Nuriddinova, Polarization resistance parameters of anti-corrosion inhibitor of cucurbit [N] urils and thioglycolurils in aggressive mediums, *Adv. Eng. Forum* 26 (2018) 74.

[15] Lei Guo, Imre Bassey Obot, Xingwen Zheng, Xun Shen, Yujie Qiang, Savas Kaya, Cemal Kaya, Theoretical insight into an empirical rule about organic corrosion inhibitors containing nitrogen, oxygen, and sulfur atoms, *Appl. Surf. Sci.* 406 (2017) 301–306.

[16] E. Berdimurodov, A. Kholikov, K. Akbarov, L. Guo, Experimental and theoretical assessment of new and eco-friendly thioglycoluril derivative as an effective corrosion inhibitor of St2 steel in the aggressive hydrochloric acid with sulfate ions, *J. Mol. Liq.* 335 (2021), 116168.

[17] M. Rbaa, M. Galai, A.S. Abousalem, B. Lakhri, M.E. Touhami, I. Warad, A. Zarrouk, Synthetic, spectroscopic characterization, empirical and theoretical investigations on the corrosion inhibition characteristics of mild steel in molar hydrochloric acid by three novel 8-hydroxyquinoline derivatives, *Ionics* 13 (8) (2020) 1–20.

[18] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Guobao Xu, Aboubakr M. Abdullah, Morteza Hosseini, New anti-corrosion inhibitor (3ar,6ar)-3a,6a-di-ptolytetrahydroimidazo[4,5-d]imidazole-2,5(1h,3h)-dithione for carbon steel in 1 M HCl medium: gravimetric, electrochemical, surface and quantum chemical analyses, *Arab. J. Chem.* 13 (2020) 7504–7523.

[19] Rachid Hissou, Omar Dagdag, Mohamed Berradi, Mehdi El Bouchri, Mohammed Assouag, Ahmed Elharfi, Development rheological and anti-corrosion property of epoxy polymer and its composite, *Heliyon* 5 (2019), e02789.

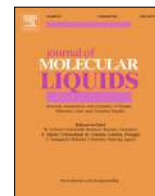
[20] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Lei Guo, Inhibition properties of 4,5-dihydroxy-4,5-di-polyimidazolidine-2-thione for use on carbon steel in an aggressive alkaline medium with chloride ions: Thermodynamic, electrochemical, surface and theoretical analyses, *J. Mol. Liq.* 327 (2021), 114813.

[21] M. Rbaa, M. Fardoui, C. Verma, A.S. Abousalem, M. Galai, E.E. Ebenso, A. Zarrouk, 8-Hydroxyquinoline based chitosan derived carbohydrate polymer as biodegradable and sustainable acid corrosion inhibitor for mild steel: Experimental and computational analyses, *Int. J. Biol. Macromol.* 155 (2020) 645–655.

[22] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, Lei Guo, Aboubakr M. Abdullah, Mustafa Elik, A gossypol derivative as an efficient corrosion inhibitor for St2 steel in 1 M HCl + 1 M KCl: an experimental and theoretical investigation, *J. Mol. Liq.* 328 (2021), 115475.

[23] M. Rbaa, A. Oubih, H. Hajji, B. Tüzün, A. Hichar, E.H. Anouar, E. Berdimurodov, M.A. Ajana, A. Zarrouk, B. Lakhri, Synthesis, bioinformatics and biological evaluation of novel pyridine based on 8-hydroxyquinoline derivatives as

- antibacterial agents: DFT, molecular docking and ADME/T studies, *J. Mol. Struct.* 1244 (2021), 130934.
- [24] Rachid Hsissou, Fouad Benhiba, Omar Dagdag, Mehdi El Bouchti, Khalid Nounch, Mohammed Assouag, Samir Briche, Abdelkader Zarrouk, Ahmed Elharfi, Development and potential performance of prepolymer in corrosion inhibition for carbon steel in 1.0 M HCl: Outlooks from experimental and computational investigations, *J. Colloid Interface Sci.* 574 (2020) 43–60.
- [25] M. Rbaa, F. Benhiba, R. Hsissou, Y. Lakhri, B. Lakhri, M.E. Touhami, A. Zarrouk, Green synthesis of novel carbohydrate polymer chitosan oligosaccharide grafted on d-glucose derivative as bio-based corrosion inhibitor, *J. Mol. Liq.* (2020), 114549.
- [26] Elyor Berdimurodov, Abduvali Kholikov, Khamdam Akbarov, I.B. Obot, Lei Guo, Thioglycoluril derivative as a new and effective corrosion inhibitor for low carbon steel in a 1 M HCl medium: Experimental and theoretical investigation, *J. Mol. Struct.* 1234 (2021), 130165.
- [27] R.G. Sundaram, G. Vengatesh, M. Sundaravadevelu, Surface morphological and quantum chemical studies of some expired drug molecules as potential corrosion inhibitors for mild steel in chloride medium, *Surf. Interfaces* 22 (2021), 100841.
- [28] K. Haruna, T.A. Saleh, M.A. Quraishi, Expired metformin drug as green corrosion inhibitor for simulated oil/gas well acidizing environment, *J. Mol. Liq.* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113716>.
- [29] S. Razieh Farahati, Mousavi-Khosdel Morteza, Ghaffarnejad Ali, Behzadi Hadi, Experimental and computational study of penicillamine drug and cysteine as water-soluble green corrosion inhibitors of mild steel, *Prog. Org. Coat.* 142 (2020), 105567.
- [30] E. Berdimurodov, Adsorption equilibrium, kinetics, thermodynamics and dynamic separation of magnesium and calcium ions from industrial wastewater by new strong acid cation resin of SPVC, *Pak. J. Anal. Environ. Chem.* 22 (2021) 127–138.
- [31] N. Palaniappan, J. Alphonsa, I.S. Cole, K. Balasubramanian, I.G. Bosco, Rapid investigation expiry drug green corrosion inhibitor on mild steel in NaCl medium, *Mater. Sci. Eng. B* 249 (2019), 114423.
- [32] M. Abdallah, E.A.M. Gad, M. Sobhi, Jabir H. Al-Fahemi, M.M. Alfakeer, Performance of tramadol drug as a safe inhibitor for aluminum corrosion in 1.0 M HCl solution and understanding mechanism of inhibition using DFT, *Egypt. J. Pet.* 28 (2019) 173–181.
- [33] O. Dagdag, R. Hsissou, Z. Safi, R. Haldhar, E. Berdimurodov, M. el Bouchti, N. Wazzan, O. Hamed, S. Jodeh, M. el Gouri, Rheological and simulation for macromolecular matrix epoxy bi-functional aromatic amines, *Polym. Bull.*, (2021).
- [34] A. Yarkulov, B. Umarov, F. Rakhmatkariyeva, N. Kattaev, K. Akbarov, E. Berdimurodov, Diacetate cellulose-silicon bionanocomposite adsorbent for recovery of heavy metal ions and benzene vapours: an experimental and theoretical investigation, *Biointerface Res. Appl. Chem.* 12 (2022) 2862–2880.
- [35] A.R. Shahmoradi, M. Ranjbarghanei, A.A. Javidparvar, L. Guo, E. Berdimurodov, B. Ramezanzadeh, Theoretical and surface/electrochemical investigations of walnut fruit green husk extract as effective inhibitor for mild-steel corrosion in 1M HCl electrolyte, *J. Mol. Liq.* 338 (2021), 116550.
- [36] Valentine Chikaodili Anadebea, Okechukwu Dominic Onukwulib, Fidelis Ebunta Abenge, Nkechinyere Amaka Okafora, Joseph Okechukwu Ezeogod, Chukwunonso Chukwuzuloke Okoye, Electrochemical-kinetics, MD-simulation and multi-input single-output (MISO) modeling using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) prediction for dexamethasone drug as eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 2 M HCl electrolyte, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 115 (2020) 251–265.
- [37] Priyanka Singh, D.S. Chauhan, S.S. Chauhan, G. Singh, M.A. Quraishi, Chemically modified expired Dapsone drug as environmentally benign corrosion inhibitor for mild steel in sulphuric acid useful for industrial pickling process, *J. Mol. Liq.* 286 (2019), 110903.
- [38] M.R. Gholamhosseinzadeh, H. Aghaie, M. Shahidi Zandi, M. Gashi, Rosuvastatin drug as a green and effective inhibitor for corrosion of mild steel in HCl and H₂SO₄ solutions, *J. Mater. Res. Technol.* 8 (6) (2019) 5314–5324.
- [39] R. Haldhar, S.-C. Kim, E. Berdimurodov, D.K. Verma, C.M. Hussain, Corrosion inhibitors: industrial applications and commercialization, in: *Sustainable Corrosion Inhibitors II: Synthesis, Design, and Practical Applications*, American Chemical Society, 2021, pp. 10–219.
- [40] Fei Yun, Xing-Xin Cao, Hai-Xia Jiang, Xiao-Long Zhao, Jian-Yong Wang, Yi-Hui Lin, Qiao-Ling Liu, Chen Zhang, Biao Jiang, Fang Guo, A novel water-soluble gossypol derivative increases chemotherapeutic sensitivity and promotes growth inhibition in colon cancer, *J. Med. Chem.* 53 (2010) 5502–5510.
- [41] O. Dagdag, A. Berisha, V. Mehmeti, R. Haldhar, E. Berdimurodov, O. Hamed, S. Jodeh, H. Igaz, E.-S.M. Sherif, E.E. Ebenso, Epoxy coating as effective anti-corrosive polymeric material for aluminum alloys: Formulation, electrochemical and computational approaches, *J. Mol. Liq.* (2021), 117886.
- [42] E. Berdimurodov, A. Kholikov, K. Akbarov, L. Guo, S. Kaya, K.P. Katin, D.K. Verma, M. Rbaa, O. Dagdag, Novel cucurbit[6]uril-based [3]rotaxane supramolecular ionic liquid as a green and excellent corrosion inhibitor for the chemical industry, *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* 633 (2022), 127837.
- [43] C. Lee, W. Yang, R.G. Parr, Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density, *Phys. Rev. B* 37 (1988) 785.
- [44] A.D. Becke, Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange, *J. Chem. Phys.* vol. 98 (1993) 5648.
- [45] R. Krishnan, J.S. Binkley, R. Seeger, J.A. Pople, Self-consistent molecular orbital methods. XX. A basis set for correlated wave functions, *J. Chem. Phys.* 72 (1980) 650.
- [46] S. Grimme, J. Antony, S. Ehrlich, H. Krieg, A consistent and accurate ab initio parametrization of density functional dispersion correction (DFT-D) for the 94 elements H–Pu, *J. Chem. Phys.* 132 (2010), 154104.
- [47] M. Zhu, L. Guo, Z. He, R. Marzouki, R. Zhang, E. Berdimurodov, Insights into the newly synthesized N-doped carbon dots for Q235 steel corrosion retardation in acidizing media: a detailed multidimensional study, *J. Colloid Interface Sci.* 608 (2022) 2039–2049.
- [48] E. Berdimurodov, A. Kholikov, K. Akbarov, L. Guo, S. Kaya, K.P. Katin, D. Kumar Verma, M. Rbaa, O. Dagdag, R. Haldhar, Novel bromide-cucurbit[7]uril supramolecular ionic liquid as a green corrosion inhibitor for the oil and gas industry, *J. Electroanal. Chem.* 901 (2021), 115794.
- [49] M.W. Schmidt, K.K. Baldrige, J.A. Boat, et al., General atomic and molecular electronic structure system, *J. Comput. Chem.* 14 (11) (1993) 1347–1363.
- [50] Chemcraft – Graphical Software for Visualization of Quantum Chemistry Computations. (<https://www.chemcraftprog.com>).
- [51] B.M. Bode, M.S. Gordon, Macmolplt: a graphical user interface for GAMESS, *J. Mol. Graph. Mod.* 16 (1998) 133–138.
- [52] Lei Guo, Ime Bassey Obot, Xingwen Zheng, Xun Shen, Yujie Qiang, Savas Kaya, Cemal Kaya, Theoretical insight into an empirical rule about organic corrosion inhibitors containing nitrogen, oxygen, and sulfur atoms, *Appl. Surf. Sci.* 406 (2017) 301–306.
- [53] Adnan Munis, Tianyu Zhao, Maosheng Zheng, Ata Ur Rehman, Feng Wang, A newly synthesized green corrosion inhibitor imidazole derivative for carbon steel in 7.5% NH₄Cl solution, *Sustain. Chem. Pharm.* 16 (2020), 100258.
- [54] E. Berdimurodov, L. Guo, A. Kholikov, K. Akbarov, M. Zhu, MOFs-based corrosion inhibitors in Supramolecular Chemistry in Corrosion and Biofouling Protection, CRC Press, 2021, pp. 287–305.
- [55] Khalid H. Rashid, Anees A. Khadom, 3-Methoxypropyl-amine as corrosion inhibitor for X80 steel in simulated saline water, *J. Mol. Liq.* 319 (2020), 114326.
- [56] M. Barbouchi, B. Benzidia, A. Aouidate, A. Galeb, M. El Idrissi, M. Choukrad, Theoretical modeling and experimental studies of Terebinth extracts as green corrosion inhibitor for iron 3% NaCl medium, *J. King Saud. Univ. Sci.* (2020), <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.08.004>.
- [57] Nazly Hassan, Ahmed M. Ramadan, Said Khalil, Nabil A. Abdel Ghany, Abdullah M. Asiri, Reda M. El-Shishtawy, Experimental and computational investigations of a novel quinolone derivative as a corrosion inhibitor for mild steel in salty water, *Colloids Surf. A* 607 (2020), 125454.
- [58] E. Berdimurodov, D.K. Verma, A. Kholikov, K. Akbarov, L. Guo, The recent development of carbon dots as powerful green corrosion inhibitors: a prospective review, *J. Mol. Liq.* (2021), 118124.
- [59] Dheeraj Singh Chauhan, Khadija E.L. Mouaden, M.A. Quraishi, Lahcen Bazzi, Aminotriazolethiol-functionalized chitosan as a macromolecule-based bioinspired corrosion inhibitor for surface protection of stainless steel in 3.5% NaCl, *Int. J. Biol. Macromol.* 152 (2020) 234–241.
- [60] E. Berdimurodov, A. Kholikov, K. Akbarov, L. Guo, S. Kaya, D.K. Verma, M. Rbaa, O. Dagdag, New and green corrosion inhibitor based on new imidazole derivative for carbon steel in 1 M HCl medium: experimental and theoretical analyses, *Int. J. Eng. Res. Afr.* 58 (2022) 11–44.
- [61] A. Bahgat Radwan, G.A. Mannah, M.H. Sliem, N.H.S. Al-Qahtani, P.C. Okonkwo, E. Berdimurodov, A.M. Mohamed, A.M. Abdullah, Electrospun highly corrosion-resistant polystyrene-nickel oxide superhydrophobic nanocomposite coating, *J. Appl. Electrochem.* 51 (2021) 1605–1618.
- [62] Mehdi Tabatabaei Majd, Mohammad Ramezanzadeh, Ghasem Bahlakeh, Bahram Ramezanzadeh, Steel corrosion lowering in front of the saline solution by a nitrogen-rich source of green inhibitors: Detailed surface, electrochemical and computational studies, *Constr. Build. Mater.* 254 (2020), 119266.
- [63] D.K. Verma, M. Kazi, M.S. Alqahtani, R. Syed, E. Berdimurodov, S. Kaya, R. Salim, A. Asatkar, R. Haldhar, N-hydroxybenzothioamide derivatives as green and efficient corrosion inhibitors for mild steel: experimental, DFT and MC simulation approach, *J. Mol. Struct.* 1241 (2021), 130648, <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130648>.



Corrosion inhibition of steel using different families of organic compounds: Past and present progress

Ruby Aslam^a, Goncagul Serdaroglu^b, Saman Zehra^a, Dakeshwar Kumar Verma^c, Jeenat Aslam^{d,*}, Lei Guo^e, Chandrabhan Verma^{f,*}, Eno E Ebenso^g, M.A. Quraishi^f

^a Corrosion Research Laboratory, Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering and Technology, Aligarh Muslim University, Aligarh 202002 India

^b Sivas Cumhuriyet University, Math. and Sci. Edu., Sivas 58140, Turkey

^c Department of Chemistry, Government Digvijay Autonomous Postgraduate College, Rajnandgaon, Chhattisgarh 491441, India

^d Department of Chemistry, College of Science, Taibah University, Yanbu-30799, Al-Madina, Saudi Arabia

^e School of Materials and Chemical Engineering, Tongren University, Tongren, 554300, China

^f Interdisciplinary Research Center for Advanced Materials, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, 31261, Saudi Arabia

^g Institute for Nanotechnology and Water Sustainability Research Unit, College of Science, Engineering and Technology, University of South Africa, Johannesburg 1709, South Africa

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 October 2021

Revised 16 December 2021

Accepted 18 December 2021

Available online 26 December 2021

Keywords:

Corrosion inhibition

Organic inhibitors

N-heterocyclic compounds

Mixed type inhibitors

Computational studies

ABSTRACT

Application of organic compounds as corrosion inhibitors, particularly heterocyclic compounds, is one of the most economical and effective corrosion mitigation methods of steel alloys. These compounds become effective by forming a corrosion inhibitive hydrophobic film over the metallic surface. The corrosion inhibition potential of these compounds depends on numerous factors, including substituents present in their molecular structures. Literature investigation suggests that these compounds become effective by blocking the active sites (responsible for the corrosion) through their adsorption using their electron-rich polar functional groups and multiple bonds. Adsorption of these compounds on the metallic surface mostly follows the Langmuir adsorption isotherm model. Generally, these compounds act as mixed- and interface-type corrosion inhibitors as they retard both anodic and cathodic Tafel reactions and increase the value of charge transfer resistance, respectively. The present review article features the collection of reports on the inhibition of steel corrosion using different families of organic compounds. Other aspects of corrosion, such as the form of corrosion and its mitigation using experimental and computational methods, have also been discussed.

© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.

Contents

1. Introduction	2
2. Basics of corrosion: Consequences and economic impact	2
2.1. Economic and social impact of corrosion	2
2.2. Various forms of corrosion	3
2.3. Corrosive environments:	5
2.3.1. Mechanism of corrosion	5
2.3.2. Factors affecting the rate of corrosion	6

Abbreviations: ΔG_{ads} , Gibbs free energy of adsorption; ΔH_{ads} , Enthalpy of adsorption; η , Corrosion inhibition efficiency; **PDP**, Potentiodynamic polarization; **FTIR**, Fourier transform infrared spectroscopy; **LCAO**, Linear combination of atomic orbital; **EIS**, Electrochemical impedance spectroscopy; **OCP**, Open circuit potential; **ER**, Electrical resistance; **XPS**, X-ray photoelectron spectroscopy; **SEM**, Scanning electron microscopy; **AFM**, Atomic force microscopy; **MIC**, Microbiologically influenced corrosion; **UV-vis**, Ultra-violet-visible spectroscopy; **HR-TEM**, High-resolution transmission electron microscopy; **IGC**, Intergranular Corrosion; **XRD**, X-ray diffraction; **SPM**, Scanning probe microscope; **SVET**, Scanning vibrating electrode technique; **DSC**, Differential scanning calorimetry; **CV**, Cyclic voltammetry; η , Corrosion inhibition efficiency; **MD simulation**, Molecular dynamic simulation; **MC simulation**, Monte Carlo simulation; **SCC**, Stress Corrosion Cracking; **IFM**, Infra fluorescence microscopy; **LSCM**, Laser scanning confocal microscope; **SRB**, Sulfate-reducing bacteria.

* Corresponding authors.

E-mail addresses: drjeenataslam@outlook.com (J. Aslam), chandravarma.rs.apc@itbhu.ac.in (C. Verma).

2.4.	Computational modeling in modern corrosion monitoring systems	7
2.5.	Corrosion inhibitors and their inhibition mechanism	8
3.	Application of different series of amine derivatives as corrosion inhibitors	9
3.1.	Schiff's bases (SBs) as corrosion inhibitors	9
3.2.	Amino alcohols as corrosion inhibitors	9
3.3.	Oximes as corrosion inhibitors	14
3.4.	Sulphonamides as corrosion inhibitors	19
3.5.	Thio urea and urea derivative as green corrosion inhibitors	22
3.5.1.	Urea and derivatives as corrosion inhibitors for metal and alloys	25
3.5.2.	Thiourea (TU) and derivatives as corrosion inhibitors for metal and alloys	25
4.	Conclusion and outlook	27
	Declaration of Competing Interest	27
	References	27

1. Introduction

This review of heterocyclic compound derivatives as corrosion inhibitors is designed to provide insights into the processes and mechanisms that inhibit corrosion. General information about corrosion electrochemistry, their type and mitigation methods, commonly used classes of organic inhibitors, heterocyclic compounds, specially Schiff base, thiourea, urea, amino alcohols, and sulphonamide used as corrosion inhibitors for various metals and alloys, various factors that affect their performance in various aggressive environments, and future outlook are provided.

2. Basics of corrosion: Consequences and economic impact

Corrosion, together with its mitigation, is a long-lived and fascinating topic. Due to their interactions with their environments, the deterioration of material resources is inevitable. Although mainly concerned with metallic materials, all materials such as ceramics, polymers, and composites are susceptible to corrosion [1]. It is one of the most prevalent types of material deterioration that presents tremendous challenges across industries and affects our

health. In addition to its impact on the emergence of advanced and essential technologies, the perplexing challenge of degradation threatens to cost society quite terribly. Therefore, corrosion, like mortality and taxation, is a certain thing that needs to be avoided. The main reason for corrosion is the lowering of the Gibbs energy of a system. The production of almost every metal adds energy to the system. As a result of this strenuous thermodynamic struggle, the metal displays an intense drive to revert to its native, low energy oxide state i.e., corrosion (Fig. 1).

As it is an unavoidable phenomenon, viable alternatives (methods of corrosion control) are applied to constrain its progress towards the equilibrium state. Therefore, the rate of the approaching equilibrium is always of concern which depends on the nature of the metal surface and the atmosphere.

2.1. Economic and social impact of corrosion

Corrosion topic has a potential interest in various groups of people, including pure scientists, engineers, architects, economists, health authorities, and environmentalists, as it has many severe repercussions for society, including (i) economic (ii) safety (iii)

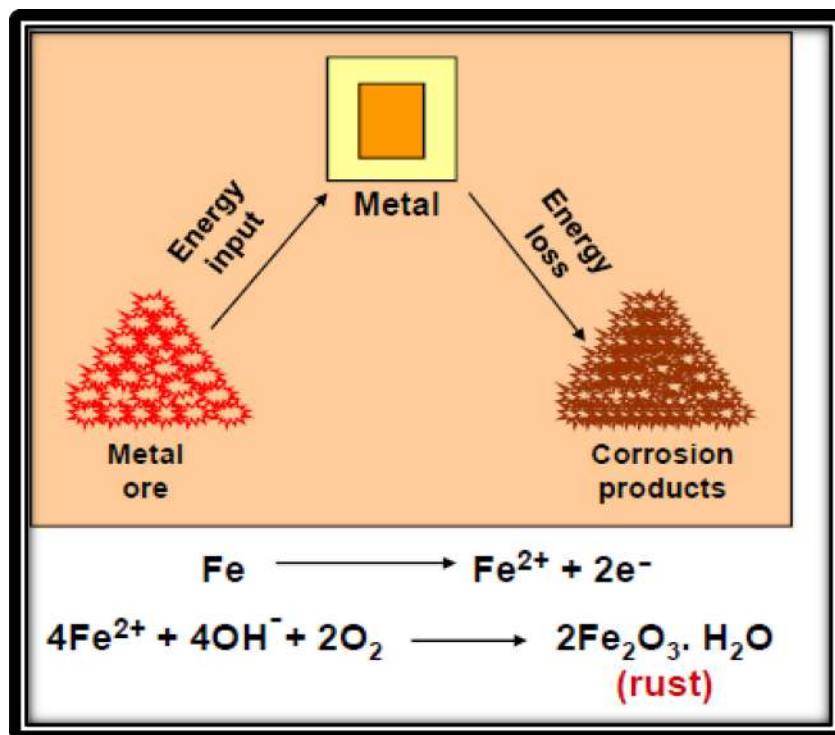


Fig. 1. Corrosion cycle of steel.

health (iv) technological (v) cultural (vi) environmental and (vii) metal resource conservation. Economic losses and environmental effects are the primary factors for recent corrosion studies. Several incidents that resulted from corrosion failure are widely documented that caused tremendous losses of safety, economic, and fatality. Many of the incidents that are well known are Wing lift strut assembly failure and collision with terrain (Kenora/Ontario; 30 Mar. 2019), Eurocopter EC135T1 accident (Cayman Islands; 26 Feb. 2019), pipeline rupture and fire (Prince George/British Columbia; 9 Oct. 2018), in-flight engine shutdown (Los Angeles/California; 20 Apr. 2017), rupture of an underground transmission pipeline (Tekamah/Nebraska; 17 Oct. 2016), Oil spills (Santa Barbara/California; 19 May 2015), The fall of railway traffic lights (Newbury/England; 17 Nov 2014), Landing of a Jetstream away from the runway (England; 15 Aug 2014), Damage of a turbine engine (England; 24 June 2013), Carlsbad pipeline explosion accident (New Mexico; 19 Aug. 2000), Sinking of the Erika (Brittany/France; 12 Dec.1999), Gaylord Chemical Explosion (Louisiana; 23 Oct. 1995), EL AL Boeing 747 crash (Amsterdam/Netherlands; 4 Oct. 1992) [2].Guadalajara sewer explosion (New Mexico; 22 Apr. 1992), Aloha Boeing 737 airlines accident (US; 18 Apr. 1988), Bhopal MIC release casualty (India; 2–3 Dec. 1984) [3] and Silver Bridge Collapse U.S. (US; 15 Dec. 1967), etc. [4]. The loss of human life was accountable for most of these accidents. Also, corrosion is a significant economic issue across all sectors of the manufacturing, refining, and transport of many commercial goods and machinery worldwide. Many countries have performed corrosion expense analyses to determine the economic consequences of corrosion. A common finding was that corrosion loss sustained by industries, municipalities, and militaries amounted to billions of dollars annually. Uhlig presented the first significant report on the cost of corrosion in 1949, where the annual cost of corrosion was estimated to be US\$5.5 billion [5]. In the late seventies, the first systematic landmark research on damages due to metallic corrosion was conducted in the USA in 1978. It found that the overall loss due to corrosion was \$70 billion, which constituted 4.2% of that year's gross national product[6]. In 2002, another breakthrough report was published by the U.S. Federal Highway Administration (FHWA), which measured the direct costs associated with metallic corrosion in the US manufacturing sector.

The study was initiated by NACE International and had the mandate of the US Congress. The gross annual direct corrosion cost

was found to be \$276 billion, which is around 3.1 percent of the GNP of the country [7]. Total yearly costs in the U.S. in 2013 were estimated at over \$1 trillion[8]. As measured by NACE International in 2016, global economic losses due to corrosion have been stated to be \$2.5 trillion in recent publications, which is around 3.5% of world GDP[8]. Studies show that adequate corrosion protection could avoid 25–30% loss. Poorly designed infrastructure schemes will contribute to the need to rebuild a corroded structure that is a waste of natural resources and contrary to global sustainability issues. Economic impacts also influence technology. Corrosion issues are holding up much of the advancement of modern technologies because materials are needed to sustain, in many situations concurrently, higher temperatures, higher pressures, and more highly corrosive conditions. Owing to leakage from perforated tanks, drums, and pipelines, degradation often contributes to environmental pollution. If the number and length of oil, gas, water, and sewage pipelines increases, more and more pollution of this sort can be expected. The impact of oil leaks due to the corrosion of pipelines on wildlife is also horrific. The various factors affecting the cost of corrosion are shown in Fig. 2:

2.2. Various forms of corrosion

- (a) *Uniform Corrosion*: It is the simplest form of corrosion that typically takes place evenly over vast areas of the surface of a material. It is monitored and estimated relatively quickly, rendering disastrous failures quite unlikely. Its control can be directed by the cathodic protection, coatings, or paints. The acoustic emission system, and electrical resistance (ER) method, etc., can detect this form of corrosion[9].
- (b) *Localized corrosion*: Localized corrosion is characterized as the type of corrosion in which an intensive attack on the metal surface at localized sites occurs. Practically, localized corrosion occurs due to heterogeneities either in the material or in the environment to which a material is exposed. Localized corrosion penetrated the metal rapidly. Common forms of localized corrosion are pitting, inter-granular corrosion of an alloy with a susceptible grain boundary region [10,11] (Fig. 3). Spillage from chemical processing equipment, storage vessels and pipelines of flammable or explosive chemicals may lead to a significant eruption or fire incident with casualties.

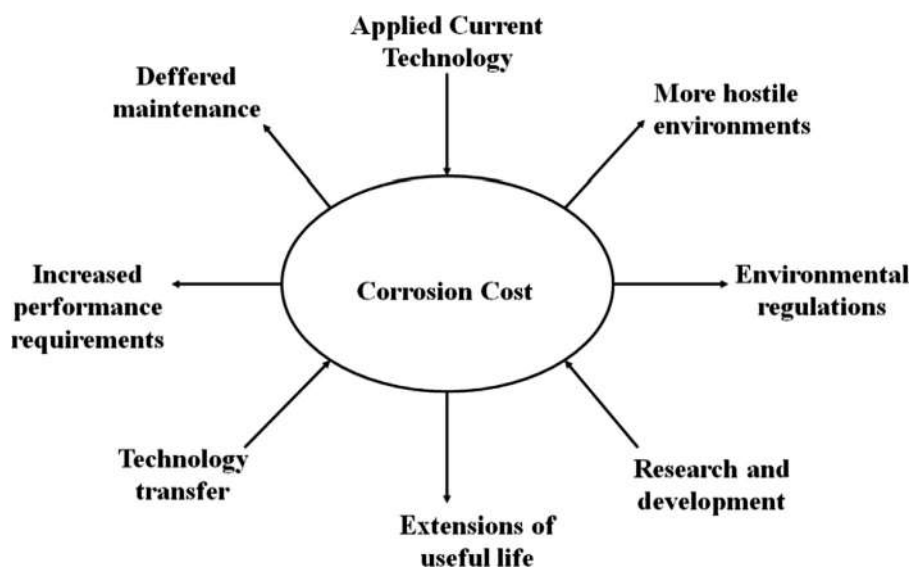


Fig. 2. Factors affecting the cost of corrosion.

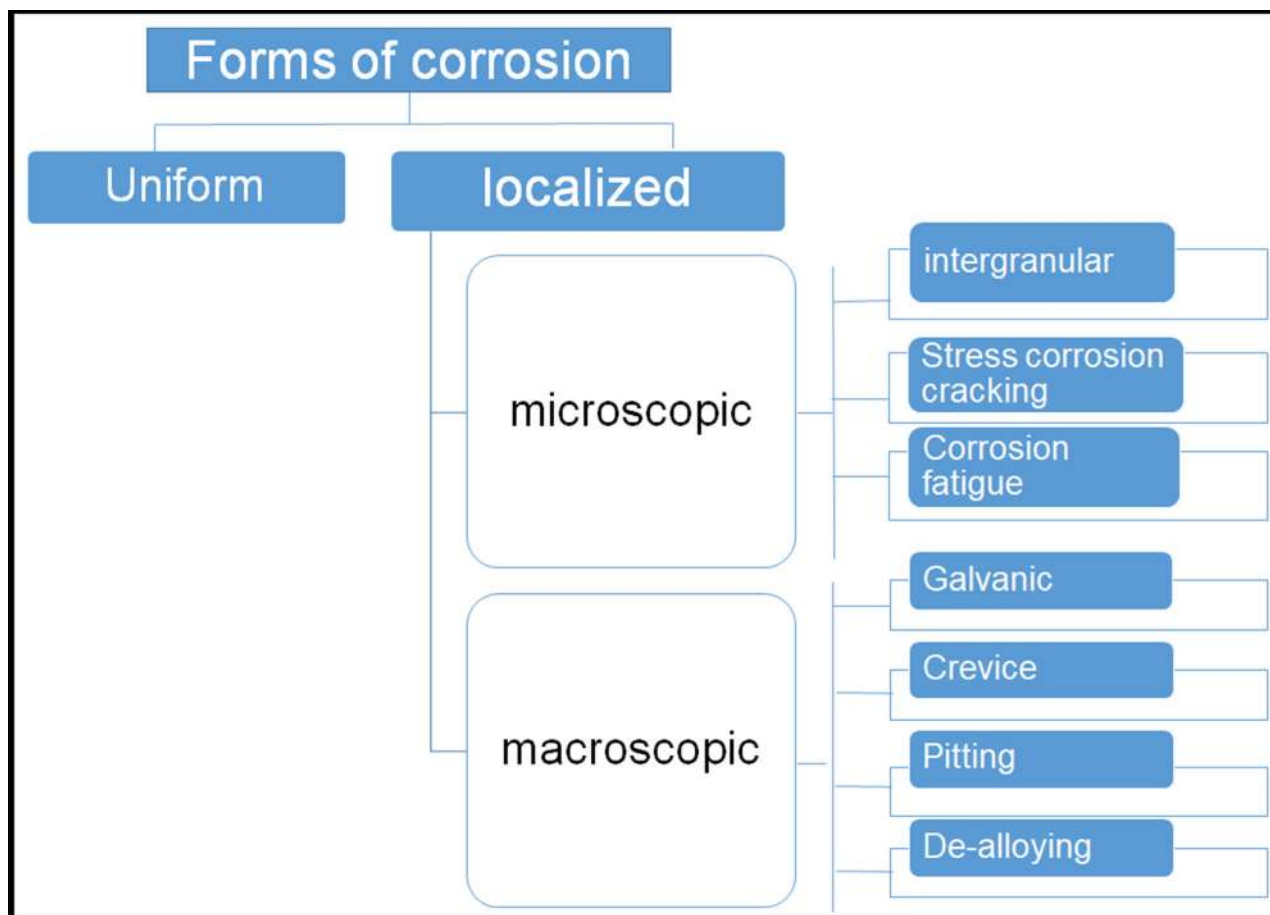


Fig. 3. Different forms of corrosion.

(c) *Pitting Corrosion*: Pitting, as one of the most aggressive forms of corrosion, can be difficult to predict, and detect. This type of corrosion happens where a local anodic or cathodic point forms a corrosion cell with the surrounding environment. The developed Pitt creates a hole or cavity that usually deforms the material in a vertical position from the top. Pitting corrosion can be triggered by a fracture in the oxide layer or a protective coating and can also be exacerbated by non-uniformity in the metal composition. Despite causing relatively minor metal damage, this hazardous type of corrosion can cause a framework to collapse [12]. Pitting on metals can be avoided by using materials that are resistant to pitting in the specific environment, reducing chloride concentrations in the service environment, controlling the temperature of the indoor environment so that it does not achieve the crucial pitting temperature for the material, developing anodic/cathodic systems, applying a protective coating to metallic surfaces, and polishing the surfaces if they are accessible.

(d) *Crevice Corrosion*: This type of corrosion can be attributed to environments where oxygen is limited, such as under washers or bolt heads. Localized corrosion is typically caused by ion concentration differences between two metal sites. Oxygen circulation is interrupted by the stagnant microenvironment, which inhibits re-passivation and causes the stagnant solution to build up, shifting the pH balance away from neutral. Corrosion rates are raised due to the imbalance between the crevice and the rest of the material. Crevice corrosion is affected by four main factors: (1) crevice nature (2) crevice

shape (3) substrate (4) climate. While crevice corrosion happens at lower temperatures than pitting corrosion, it can still be dangerous [11].

(e) *Galvanic Corrosion*: It is also described as bimetallic corrosion and usually happens when a typical electrolyte is dissolved in or when a metal is exposed to different electrolyte concentrations. As two metals are immersed together, the more active metal (the anode) quickly corrodes than the more noble metal. The galvanic series defines which metals corrode more efficiently, which helps shield a structure from corrosion using a sacrificial anode. In order to reduce/prevent galvanic corrosion, numerous methods were available, including: (a) choosing metals/alloys in the galvanic series as near as possible. (b) prevent a negative area effect caused by a small anode and a large cathode c) Whenever possible, insulate dissimilar metals. (d) cautiously apply the coatings (e) stop threaded joints in the galvanic series with components far apart [13].

(f) *Dealloying*: The fundamental definition of dealloying is the selective corrosion of one or more components of a solid solution alloy. This type of corrosion leads to loss of structural ability and mechanical strength. It's also known as selective leaching or selective parting. Decarburization, decobaltification, denickelification, dezincification, and graphitic corrosion are also forms of dealloying. *Decarburization* is the preferential depletion of carbon from a carbon-containing alloy's surface layer due to a reaction in a medium that touches the substrate with one or more chemical substances. *Denickelification* is the preferential nickel leach-

ing from alloys containing nickel. The most notable example is copper-nickel alloys that have been exposed to fresh water for a prolonged period. *Dezincification* is the preferential leaching of zinc from zinc-containing alloys. Example-copper-zinc alloys containing less than 85% copper after extended service in water containing dissolved oxygen. *Decobaltification* is selective cobalt leaching from cobalt-base alloys, such as Satellite or cemented carbides.

- (g) *Graphitic corrosion* is the degradation of gray cast iron that selectively leaches or transforms the metallic constituents into corrosion materials, leaving the graphite unaffected. Graphitic corrosion should not be misunderstood, with another concept being used to characterize the accumulation of graphite in iron or steel, usually owing to the disintegration of iron carbide at higher temperatures. Various metals and alloys have distinct electrochemical potentials (or corrosion potentials) in the same electrolyte. Several different alloying elements in modern alloys show particular capacities for degradation. The driving force for the preferential attack on the more “active” component of the alloy is the potential discrepancy between the alloying elements. In the case of brass dezincification, zinc is preferentially leached from the copper-zinc alloy, leaving behind a porous and brittle copper-rich surface layer. The approaches like (i) selecting metals/alloys that are more resistant to dealloying, (ii) controlling the environment to minimize the selective leaching, and using sacrificial anode cathodic protection or impressed current cathodic protection can be used to prevent dealloying, selective leaching, and graphitic corrosion.
- (h) *Intergranular Corrosion (IGC)*: Intergranular corrosion happens when the grain boundaries that develop during an alloy's solidification accumulate contaminants. The enrichment or degradation of an alloying material at the grain boundaries may also be induced. This form of corrosion happens around or adjacent to the grains, despite the majority of the substance being untouched, impacting the mechanical properties of the metal. Using low grades carbon stainless steel, stabilized grades alloyed with titanium or niobium, and post-weld heat treatment, IGC can be avoided [14].
- (i) *Stress Corrosion Cracking (SCC)*: SCC occurs due to mechanical stress and a corrosive environment combined. SCC refers to the development of cracks attributable to an aggressive media, which, particularly at high temperatures, can contribute to the failure of ductile metals when subjected to tensile stress. This form of corrosion is more prevalent among alloys than with pure metals. It depends on the particular chemical environment where only small amounts of active chemicals are needed for devastating cracking.
- (j) *Corrosion Fatigue*: It is triggered by corrosion and cyclic stress combined. The passive protective film is believed to crack due to fatigue, which accelerates deterioration. Failure may occur at even low temperatures if the metal is still subjected to a corrosive environment. The fatigue fracture is fragile, and the fractures are most commonly *transgranular* but not branched, as in stress-corrosion cracking. The corrosive condition will induce faster crack growth and/or crack growth at a lower stress level than in dry air. No metal is resistant to cyclic stress tolerance if the metal is in a corrosive environment. Corrosion fatigue can be controlled by decreasing cyclic stresses or using corrosion prevention steps such as (i) decreasing fatigue by minimizing vibration and pressure fluctuation, (ii) using corrosion-resistant high-performance alloys, and (iii) using corrosion-resistant coatings and additives to postpone the initiation of corrosion fatigue cracks.

- (k) *Hydrogen Embrittlement*: Hydrogen embrittlement is commonly recognized as hydrogen-assisted/induced cracking. It is a process resulting in a decrease in the toughness or ductility of a metal due to the metal's adsorption of hydrogen atoms or molecules. The degree of embrittlement is affected by the amount of hydrogen adsorbed and the material's microstructure. Conventionally, hydrogen embrittlement is already known to be of two kinds. The first one is internal hydrogen embrittlement, emerges when the hydrogen reaches molten metal, and soon after solidification becomes supersaturated. The second one is environmental hydrogen embrittlement which happens due to the adsorption of hydrogen by metal.

Environmental hydrogen embrittlement is divided into several categories: blistering, internal cracking, hydride formation, and decreased ductility in the absence of residual stress or external loading. Hydrogen embrittlement can be prevented through (i) minimizing cyclic stress, (ii) selecting the correct shape of critical sections, (iii) avoiding internal stress, (iv) avoiding the hydrogen source, (v) Increasing natural frequency for reduction of resonance corrosion fatigue, (vi) baking to remove hydrogen and (vii) limiting the corrosion factor in the corrosion-fatigue process such as more resistant material / less corrosive environment.

- (l) *Erosion Corrosion*: Erosion-corrosion is also known as impingement or water drop corrosion. The acceleration or increase in attack on a metal caused by variations in the velocity of a corrosive fluid and the metal surface is known as erosion-corrosion. is a serious problem since it keeps the active state of magnesium at low pH values or prevents the formation and stability of the passive layer in alkaline solutions. Preventive measurements of erosion-corrosion and fretting fatigue corrosion include better passive surfaces that can be achieved by inhibitors, surface treatments, and selected coating to improve wear resistance and wear corrosion of Mg alloys.

2.3. Corrosive environments:

Since the corroded state is the more stable state, almost all environments can cause corrosion. The examples of some environments are air, soil, solvent, fresh, distilled and saltwater, petroleum oils, steam and other gases like ammonia, chlorine, sulfur dioxide, hydrogen sulfide, mineral acids like hydrochloric acid, sulphuric acid, and nitric acid, organic acid like naphthenic acid, formic and acetic acid. The understanding of corrosion is as ancient as mankind's knowledge of metals, but the systematic research to explain the process of corrosion started at the beginning of the nineteenth century. Whitney has suggested the most appropriate electrochemical hypothesis [15] and subsequently by Cushman [16], which could explain most metals' corrosion behavior and was universally accepted. According to this principle, heterogeneity on the surface of the metal induces the development of galvanic cells, which is a precursor for corrosion. This implies the non-corrodibility of ultra-pure metals.

2.3.1. Mechanism of corrosion

All types of corrosion arise by the action of the electrochemical cell, except for some kinds of high-temperature corrosion (Fig. 4). Four parts of an electrochemical cell are [17].

- (i) Anode (the location where corrosion takes place)
- (ii) Cathode (no corrosion)
- (iii) Electrolyte (soil, water, moisture etc.)
- (iv) Electrical connection between cathode and anode

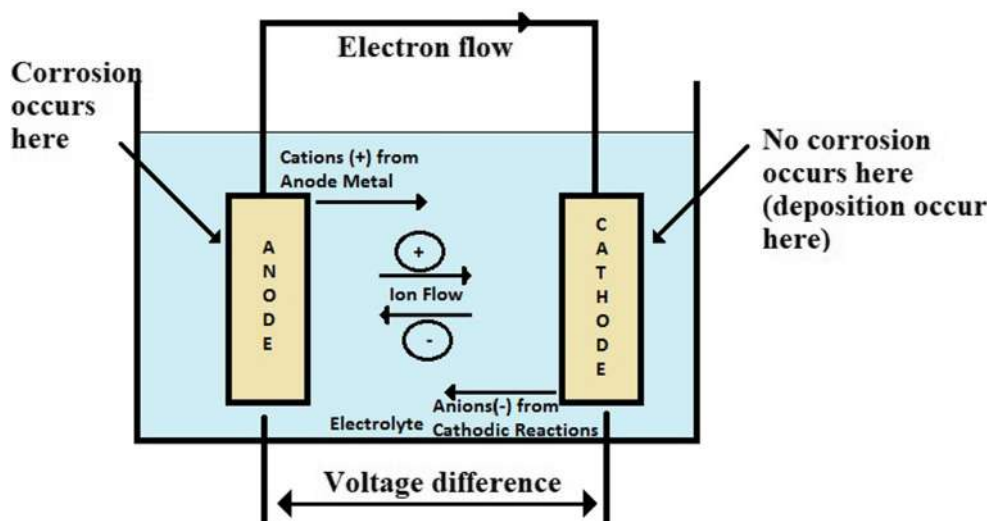


Fig. 4. An electrochemical cell.

In a corrosion cell, electrons flow through a metallic path from sites where anodic reactions are occurring to sites where they allow cathodic reactions to occur. To regulate the movement of electrons, ions (charged particles) flow through the electrolyte. Negatively charged ions from cathodic reactions flow toward the anode, and positively charged ions from the anode itself flow toward the cathode. The anode corrodes, and the cathode does not [18,19]. The overall corrosion process is a chemical reaction that reflects spontaneous oxidation of the metal by reaction with the cathodic reactant. These cell reactions are the outcome of a pair of anodic and cathodic reactions on the corroding surface that occur concurrently at equal speeds.

On anodic and cathodic sites, oxidation and reduction reactions occur to a greater degree independent of each other. Anodic and cathodic sites appear spontaneously on the surface of the metal and appear to move across the entire body, causing consistent corrosion. At the anodic and cathodic sites, the following responses occur:

(i) Anodic reaction

The anodic reaction (electron releasing) involves only the metallic phase and always leads to the dissolution of metal and the formation of corresponding metal ions, which pass into the solution.



(ii) Cathodic reaction

Several different cathodic reactions (electron consuming) are possible and the one that occurs is determined by the environment near the metallic phase.

The most common are:

(i) Acidic aqueous environment and in the absence of dissolved O_2



(ii) Acidic aqueous environment and in the presence of dissolved O_2



(iii) Alkaline aqueous environment and in the absence of dissolved O_2



(iv) Alkaline aqueous environment and in the presence of dissolved O_2



2.3.2. Factors affecting the rate of corrosion

Several factors influencing the rate of corrosion [20] are discussed briefly in the section given below:

- (i) *Position of metals in electrochemical series:* More reactive metal tends to lose electrons and corrode more readily.
- (ii) *Presence of electrolytes:* The dissolved salts in water act as an electrolyte. The presence of electrolytes in water increases the rate of corrosion.
- (iii) *Impurities in metals:* speed the rate of metal corrosion. The presence of impurities in metals leads to tiny electrochemical cells, and therefore corrosion occurs.
- (iv) *The concentration of oxygen:* the rate of corrosion accelerates with increasing oxygen supply. The regions with less oxygen concentration act as an anode, and the regions with more oxygen concentration become the cathode. Therefore, corrosion occurs.
- (v) *The temperature difference:* Since the corrosion process is electrochemical, increasing the temperature usually increases the corrosion rate. During the heating, the particles in the metal move faster as they gain energy and collide more frequently. Therefore, the corrosion rate proceeds more quickly in a warm environment than in colder ones.
- (vi) *Potential difference:* more significant difference in electrode potential between two metals leads to a higher corrosion rate.
- (vii) *Velocity:* Motion generally increases total weight loss by supplying the corrosives faster. As light motion often makes the environment more uniform and thereby makes corrosion more uniform and prevents local attacks. On the other hand, a more violent activity may set up turbulence, possibly introducing non-uniform conditions and causing pitting. Therefore, the effect of velocity on pitting and local attacks will differ in various cases.

(viii) Corrosive concentration

- (a) *Water (fresh, rain, distilled, and salt)* -pH of freshwater is close to neutrality; hence, carbon and low alloy steels suffer corrosion if oxygen or other oxidizing species are present. In the absence of oxygen, microbiologically influenced corrosion (MIC) may occur by anaerobic bacteria, particularly by the sulfate-reducing bacteria (SRB).
- (b) *Steam & gases* (CO_2 , SO_2 , SO_3 , H_2S , NH_3 , Cl , NO_x , etc.): The presence of active gases such as (CO_2 , SO_2 , H_2S), etc., seriously influence the rate of corrosion. For example, SO_2 present in the atmosphere even in traces forms an essential copper sulfate film on the copper surface. Iron corrosion is greatly influenced by CO_2 present in the atmosphere. In the presence of these dry gases, corrosion mainly depends on the chemical affinity between the metal and the gas responsible for the corrosive effect. The degree of attack in such cases also relies on the formation of protective (non-porous) and non-protective (porous) films on the metal surface.
- (c) *Air and humidity*: The solid particles suspended in the air are also responsible for the corrosion. The chemically active particles such NaCl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, etc., absorb moisture and thus act as vital electrolytes leading to enhanced deterioration, on the other hand, the chemically inactive particles.
- (d) *Atmosphere*: Various types of the atmosphere such as rural, urban, industrial, marine affect the rate of corrosion. For example, the air is contaminated with corrosive gases such as CO_2 , H_2S , HCl , Cl_2 , H_2SO_4 fumes, etc. These gases increase the acidity of the liquid adjacent to the metal surfaces, and hence electrical conductivity also increases. This increase in electrical conductivity increases the corrosion current flowing in the localized electrochemical cells on the exposed metal surfaces.
- (e) *pH*: For typical steel/iron/cast iron, when the pH is less than 4, protective oxide films tend to dissolve, and corrosion rates increase. When the pH is between 4 and 10, soil corrosion is independent of pH. When the pH is greater than 10, the metal becomes passive, and corrosion rates decrease with increasing pH.
- (f) *Soil*: Differential concentration cells involving oxygen, water, and various chemicals in the soil causes corrosion. It is a significant problem within tank bottoms, can be reduced by excavating and backfilling with clean and non-conductive.

2.4. Computational modeling in modern corrosion monitoring systems

Computational chemistry covering both static and dynamic conditions is a branch of chemistry that uses computer simulation to help solve chemical problems [21,22], which is used in many fields and gives very successful results to explain the nature of molecular properties. Although the valence bond theory is known to use the quantum mechanical methods to explain the nature of the chemical bond [23,24], the idea that the chemical bond forms with the interactions of the two shared electrons in a bond in a specific molecular system was proposed by Lewis in 1916 [25,26]. After 1927, Molecular Orbital Theory, known initially as Hund-Mulliken Theory [23], was developed specially by the outstanding efforts of Hund [27,28], Mulliken [29–34], Slater [35,36], and Lennard-Jones [37]. Until the 1950 s, after Charles Coulson [38] made the first accurate solution of the molecular orbital wave function for the Hydrogen molecule in 1938, molecular orbitals were described as Eigen functions (wave functions) of the self-consistent Hamiltonian field, and the molecular orbital theory rigorously established [39]. In the 1940 s, especially with the advances in computer science and technology, the solutions of detailed wave equations for complex atomic systems became a

reachable goal, and the calculations of the semi-empirical atomic orbital first were made in the 1950 s [40]. In 1956, the Hartree-Fock calculations as an “*ab initio*” was performed for the diatomic molecules by using the Slater-type orbitals [41]. Afterwards, basis sets obtained from Gaussian-type orbitals, were functions used as atomic orbitals in the linear combination of atomic orbitals (LCAO) method, were applied to calculations of the polyatomic molecular systems [42,43]. At the same time, the first configuration interaction (CI) computations [44] were also made by using Gaussian-type functions. In the density functional theory (DFT), the molecular properties of a specific many-electron system can be defined by the functionals of the spatially depend on the electron density [45–48]. On the other hand, DFT theory being more advantageous than traditional *ab initio* methods in terms of computation costs, was not regarded as an accurate sufficiently for the predictions of the molecular properties in computational chemistry until the 1990 s, although it became quite popular in solid-state and condensed-matters physics since the 1970 s [49–51]. Since then, many efforts have been performed to improve the exchange and electron correlation terms of DFT, but still there are some questionable results in understanding in some properties, which are the calculations of the excited state and transition state, potential energy surfaces, etc. [52]. Especially, the DFT results of the inter-molecular interactions and van der Waals forces, which have very critical role in evaluating of the chemical reactions, have been known also not satisfactory. Despite some insufficiencies or difficulties, the principles of the DFT method have successfully explained the nature of the chemical process in many studies [53–55], and still commonly used.

In contemporary research, computational chemistry tools using different algorithms depending on the method or approaches and static or dynamic calculations are widely and successfully used in many fields. One of the most important steps in predicting a molecular system's global chemical reactivity properties is Koopmans' theorem based on the electronic structure. Accordingly, the ionization energy (I), electron affinity (A) [56] values can be approximately calculated through the HOMO and LUMO, respectively, as follows.

$$I = -E_{\text{HOMO}} \quad (6)$$

$$A = -E_{\text{LUMO}} \quad (7)$$

Furthermore, depending on the developments in DFT methods, possible reactivity tendencies of a system can be estimated by using the global reactivity descriptors (GRDs) based on the conceptual DFT basis [57–60]. For this purpose, the mathematical formulae to calculate the electronic chemical potential (χ), global hardness (η), electrophilicity (ω), and the maximum charge transfer index (ΔN_{max}) of the considered system are given as below:

$$\chi = -\frac{I + A}{2} \quad (8)$$

$$\eta = \frac{I - A}{2} \quad (9)$$

$$\omega = \frac{\mu^2}{2\eta} \quad (10)$$

$$\Delta N_{\text{max}} = \frac{I + A}{2(I - A)} \quad (11)$$

In addition to GRDs, the nucleophilic and electrophilic reactive regions that exist in a molecule are predicted by local reactivity determiners (LRDs), also known as Fukui functions [61]. If orbital

relaxation is neglected by a change in the total number of electrons, thus Fukui functions are defined according to the frontier molecular orbital (FMO) approach as follows [62,63]:

$$f_{N_0}^+(r) = \rho_{N_0+1}(r) - \rho_{N_0}(r) = \rho^{LUMO}(r) \quad (12)$$

$$f_{N_0}^-(r) = \rho_{N_0}(r) - \rho_{N_0-1}(r) = \rho^{HOMO}(r) \quad (13)$$

Thus, $f_{N_0}^+$ and $f_{N_0}^-$ terms show the governing functions for nucleophilic and electrophilic attack, respectively, based on the frozen core approximation, where $\rho(r)$ defines the electron density, N is the total number of the electrons in the molecule. Moreover, considering the chemical species are in the electron pool as a chemical media and the Fukui functions derived from the second-order Taylor series for the energy functional, the local electron donating (ω^+) and electroaccepting (ω^-) powers are defined by Gazquez et al. [63] as follows.

$$\omega^+ = (I + 3A)^2 / (16(I - A)) \quad (14)$$

$$\omega^- = (3I + A)^2 / (16(I - A)) \quad (15)$$

It should be expressed that these parameters are essential to investigate the reactivity selectivity, even if the GRDs provide the information of the whole chemical reactivity tendency of relevant chemical species. For a general acid-base reaction, the flow of electrons continues until the electronic chemical potentials of the acid and base species are equal, and the fractional number of the electrons transferred for this process, depending on the absolute electronegativity ($\chi = -\mu$) and hardness, is given [64–66] by the formula below.

$$\Delta N = \frac{\chi_C - \chi_B}{2(\eta_C + \eta_B)} \quad (16)$$

In this equation, if $\phi_{Fe} = 4.82$ eV and $\eta_{Fe} = 0$ are used [67] instead of the metal electronegativity and the hardness, then ΔN for a specific investigation of Fe-inhibitor interaction is calculated by the following equation.

$$\Delta N = \frac{\phi_{Fe} - \chi_{inh}}{2(\eta_{Fe} + \eta_{inh})} \quad (17)$$

As like the other chemical processes, the back-donation energy ($\Delta E_{back-donation}$) is an important parameter to evaluate the electron flow processes in the inhibitor with the metal surface for the electron transfer process between the inhibitor species and relevant metal surface in the corrosion studies, and defined as below [68].

$$\Delta E_{back-donation} = -\frac{\eta}{4} \quad (18)$$

One of the valuable parameters is proton affinity used in evaluating the inhibition performance of a chemical species and defined as the reverse of the enthalpy change for a general protonation reaction given below [69].



$$PA = -\Delta H \quad (20)$$

Then, the PA can be expressed according to the enthalpy change of the chemical species in this reaction as below:

$$PA = \Delta H^\circ(BH^+) - \{\Delta H^\circ(B) + \Delta H^\circ(H^+)\} \quad (21)$$

Here, $\Delta H^\circ(BH^+)$, $\Delta H^\circ(B)$, and $\Delta H^\circ(H^+)$ show the enthalpy changing of protonated B molecule, neutral B molecule, and proton, respectively.

As in the different sort of scientific fields such as biomedicine [70–73], catalysis [74], and the main sciences [75–78], computational tools are successfully used to enlighten the processes of

the prevent and protecting from material corrosion in a wide of engineering fields [79–82], from the civil to the aerospace engineering.

2.5. Corrosion inhibitors and their inhibition mechanism

Initially, the use of inorganic compounds such as chromates, molybdates, nitrates, etc., was one of the best corrosion monitoring tactics [83,84]. However, their current implementation as anticorrosive materials is highly restricted due to their non-environmental friendly and toxic nature [85]. Nowadays, the use of organic compounds (OCs) as anticorrosive materials is the best corrosion inhibiting method. Among the green alternatives, fresh and expired drugs[86], plant extracts[87–93], amino acids[94], natural polymers[95] and surfactants[96,97] are extensively used as green corrosion inhibitors.

Obviously, OCs become effective by forming a surface protective film through their adsorption using electron rich centers, known as adsorption centers [98–100]. In general, adsorption centers include multiple bonds of homo-atomic such as $>C=C<$ (alkene), $-C\equiv C-$ (alkyne), $-N=N-$ (azo) etc. and hetero-atomic $-C\equiv N$ (cyanide), $>C=O$ (carbonyl), $>C=N-$ (imine), $-NO_2$ (nitro), $>C=S$ (thio-carbonyl) etc.[101–103]. These multiple bonds transfer their π -electrons into d-orbital of surface metallic atoms and interact by $d\pi-\pi$ interactions. More so, heteroatoms of these multiple bonds and polar substituents such as $-OH$ (hydroxyl), $-NH_2$ (amino), $>NH$ (2° -amine), $-N<$ (3° -amine), $-COOH$ (carboxyl), $-CONH_2$ (amide), $-COOC_2H_5$ (ester), etc. transfer their non-bonding electrons into metallic d-orbitals through coordination bonding[104–106].

Nature and effectiveness of OCs adsorption on metallic surface depends upon numerous factors including nature of metal and electrolyte along with their electronic structures. For example, in acidic solution adsorption of organic corrosion inhibitors initiated through physisorption/ electrostatic interactions between the charged metallic surface and charged OCs molecules [107–109]. It is well documented that in acidic solutions, heteroatoms of OCs easily undergo protonation and get converted into their cationic forms. The metallic surface becomes negatively charged due to the accumulation of electrolyte counter ions. These appositively charge-bearing species are attracted through an electrostatic attraction force called physisorption. Therefore, an organic compound with more heteroatoms in the form of polar functional groups would behave as better anticorrosive species than the compound with a relatively more minor number of polar functional groups.

Further, protonated OCs species may return in their neutral form by accepting electrons released from the oxidation of metallic atoms. The neutral heteroatoms with free unshared electron pairs transfer their non-bonding electrons in metallic d-orbitals and form coordination bonding [101,105,106,110]. This process is known as transfer or donation. Nevertheless, metals are already electron rich species, this type of transfer or donation results into interelectronic repulsions that render metal to transfer its electron density in the empty molecular orbital of OCs. This process is known as retro-(or back-) donation. Donation and retro-donation reinforce each other all the way through a progression known as synergism [111–113]. Both donation and retro-donation together constitute the chemisorption.

In the essential electrolytes (e.g., NaOH, KOH, NH_4OH etc.), physisorption occurs through electrostatic interaction between positively charged metallic surfaces, in the basic solution, metallic surfaces generally acquire positive charge because of the release of electrons during oxidation process, and negatively charged centers of OCs. In the basic electrolytes, acidic hydrogens polar functional groups such as $-OH$ (hydroxyl), $-NH_2$ (amino) and $-COOH$ (carboxyl) may undergo deprotonation to form corresponding nega-

tively charged centers. The mechanism of chemisorption in basic electrolytes would similar to the mechanism of chemisorption in acid medium.

There are number of classes of organic corrosion inhibitors, as discussed above but our focus here is on the amine derivatives serving as corrosion inhibitors for various metals and alloys in different environments.

3. Application of different series of amine derivatives as corrosion inhibitors

3.1. Schiff's bases (SBs) as corrosion inhibitors

A Schiff base is a compound with the general structure $R_1R_2C=NR'$ ($R' \neq H$), which contains high electronegative N atom that can provide lone pairs of electrons and double bond structures that can provide π electrons and empty orbitals [114]. This structure is ideal for occurring chemical adsorption. From the perspective of molecular structure, Schiff base should exhibit excellent inhibition performance for steel corrosion. The barrier monolayer or complex can be formed on the substrate surface to prevent the attacks of corrosive particles [115]. The preparation process of Schiff base is relatively simple, and they can generally be synthesized from an aliphatic or aromatic amine and a carbonyl compound by nucleophilic addition forming a hemiaminal, followed by a dehydration to generate an imine [116]. In this section, as listed in Table 1, we summarize the applications of some Schiff bases derived from amines used as corrosion inhibitors for steels in different corrosion environments.

Recently, Talha and co-workers synthesized a Schiff base (BDEA) with centre of symmetry structure by 2-aminobenzimidazole and benzyl [117]. The results indicate that BDEA has admirable thermal stability, and it can effectively protect X80 steel corrosion in 1 M HCl solution and the obtained maximum efficiency was 94.26%. As we know, locust bean gum (LBG) is a galactomannan vegetable gum extracted from the seeds of the carob tree and used as a thickening agent (gelling agent) in food technology. In our previous work, we found that LBG can show excellent corrosion inhibition performance for Q235 steel in 0.5 M H_2SO_4 medium. Potentiodynamic polarization results demonstrates that when the concentration of LBG is 5 mM at 298 K, the inhibition efficiency is 89.8% [118]. Berdimurodov et al. synthesized a novel Schiff base inhibitor (6-aminopenicillanic acid sodium gossypol, APASG), based on low-cost gossypol, and the synthesis processes were low cost and high yield [119]. Afterwards, the anti-corrosion performance of APASG for St2 steel was investigated. Considering that the KCl solution can supply so-called salt effect, artificial HCl + KCl solution was selected as research media to promote the acidic & salt corrosion. The obtained results show that APASG is an excellent anti-corrosion inhibitor (97% at 100 mg/L) at intermediate temperatures (303 ~ 333 K). The efficiency of a Schiff base derived from 4-aminoantipyrine as a corrosion inhibitor on mild steel in 1.0 M H_2SO_4 was investigated by Al-Amiery et al. [120]. This compound exhibited high inhibition efficiency (maximum 93%) as a mixed-type inhibitor. The inhibition efficiencies increased with inhibitor concentration, but were reduced proportionally with temperature. The SEM micrographs illustrated that the inhibitor molecules may form a thin film adsorbed on the steel surface, which obeys the Langmuir adsorption isotherm.

P110 steel is a medium-carbon alloy steel that has a high harden ability, and has been applied extensively in the petroleum industry. Ansari and his colleagues synthesized two Schiff's bases of 4-aminoantipyrine, and evaluated their corrosion inhibition performance on P110 steel in 15% hydrochloric acid solution

[121]. The team found that both compounds are effective corrosion inhibitors and achieve maximum value of 95% (Inh1) and 92% (Inh2) at concentration of 400 mg/L. The influence of the electron donor group ($-OH$) observed easily in the light of inhibition efficiency increment and corrosion rate decrement as compared to the parent molecule that is devoid of any functional group. Moreover, the adsorption of synthesized inhibitors on the P110 steel surface involves both physical and chemical interactions.

Sukul et al. recently proposed that Schiff bases derived from amino acids and cinnamaldehyde are expected to yield significant corrosion protection, since they will possess high electron density due to the aromatic moieties and heteroatoms [122]. Under this hypothesis, three Schiff bases composing of cinnamaldehyde and three different amino acids, namely glycine (CGSB), histidine (CHSB) and tryptophan (CTSB) have been synthesized and evaluated for their anti-corrosion propensity on mild steel in 1 M HCl. Gravimetric and electrochemical experiments confirmed that the order of corrosion inhibition efficiency is $CTSB > CHSB > CGSB$. It is worth pointing out that studied inhibitors are not sensitive to temperature, they can maintain good inhibition efficiency (above 95%) at high temperature (60 °C), which extensively expands their application range. There are also a few reports on the application of Schiff base inhibitors in alkaline or neutral media. Madkour and Elrobbypolydentate studied some polydentate Schiff base compounds (PSCs) as corrosion inhibitors for iron in HNO_3 and NaOH media [123]. They confirmed that the adsorption of inhibitors is spontaneous, exothermic, and is regarded as physicochemical mechanism. UV-visible spectroscopy results clearly verify the formation of Fe-PSC complex. Polarization measurements indicate that all the examined Schiff bases are of mixed-type inhibitor in HNO_3 , while causing only inhibition of the cathode process in NaOH. Rajeswari et al. reported three Schiff base derivatives (Inh1, Inh2, Inh3) as corrosion inhibitors for cast iron in aqueous solutions of HCl, NaOH, NH_4Cl , and NaCl [124]. The results indicate that Inh1, Inh2 and Inh3 perform as good inhibitors for cast iron in all media. The inhibition efficiency follows the order: $Inh3 > Inh2 > Inh1$. Differences in the inhibition efficiency are correlated to the phenyl and methyl substituents present in inhibitors.

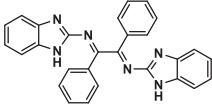
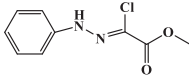
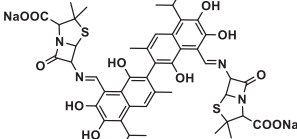
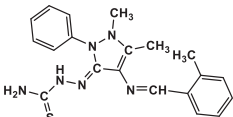
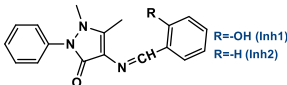
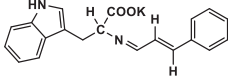
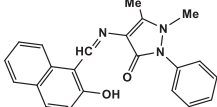
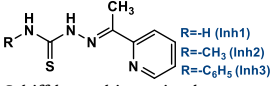
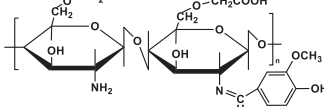
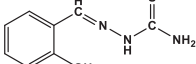
Chitoooligosaccharide derivatives with different carboxymethylation degrees and grafting degrees of Schiff base were synthesized by Ma and co-workers [125]. These substances have good solubility due to high carboxymethylation degree and have sufficient active adsorption groups (benzene and $-C=N-$) due to high grafting degree. Understandably, this self-assembled adsorption film should be more compact and intact. Their experiments also confirm that they have good corrosion inhibition effect on carbon steel in 3.5% NaCl medium. In addition, Samide and Tutunaru investigated another Schiff base, namely *N*-(2-hydroxybenzylidene) thiosemicarbazide (HBTC), as inhibitor for carbon steel in saline water using electrochemical measurements [126]. The results showed that HBTC acts as an outstanding corrosion inhibitor in saline water by suppressing simultaneously the cathodic and anodic processes via adsorption on the surface which followed the Langmuir adsorption isotherm. Overall, the Schiff base corrosion inhibitors, which derived from amine compounds, play an important role in preventing the corrosion of steel in corrosive environments. In the future, more high-temperature, low-toxic, and water-soluble corrosion inhibitors can be developed to meet the requirements of green and low-carbon development. A summary of some major reports on corrosion inhibition using SBs is given in Table 1.

3.2. Amino alcohols as corrosion inhibitors

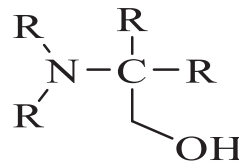
The basic class of organic compounds containing both amine ($-NH_2$, $-NHR$, and $-NR$) and alcohol functional groups are known as amino alcohols, they are also known as alkanolamines. The gener-

Table 1

Percentage inhibition efficiency (IE%) for different Schiff bases derived from amines used as corrosion inhibitors for steels.

S.N.	Chemical structure	Metal & electrolyte	Optimum conc.	IE (%)	Ref.
1.	 (1,2-1H-Benzoimidazol-2-yl)-(1,2-diphenyl-ethylidene)-amine (BDEA)	X80 steel/1M HCl	500 ppm	94.26%	[117]
2.	 Locust Bean Gum (LBG)	Q235 steel/0.5 M H ₂ SO ₄	5 mM	89.8%	[118]
3.	 6-aminopenicillanic acid sodium gossypol (APASG)	St2 steel/(1 M HCl + 1 M KCl)	100 mg/L	97%	[119]
4.	 2-(1,5-dimethyl-4-(2-methylbenzylidene)amino)-2-phenyl-1H-pyrazol-3(2H)-ylidene hydrazinecarbothioamide	Mild steel/1 M H ₂ SO ₄	0.25 mM	93%	[120]
5.	 aminoantipyrine (AAPs) derivatives	P110 steel/ 15% HCl	400 mg/L	95% (Inh1) 92% (Inh2)	[121]
6.	 Potassium 3-(1H-imidazol-4-yl)-2-(((E)-3-phenylallylidene)amino)propanoate	Mild steel/1 M HCl (60 °C)	1 mM	96%	[122]
7.	 4-(2-Hydroxynaphthylideneamino) antipyrine	Carbon steel/ 2 M HNO ₃ or 2 M NaOH	10 ⁻⁴ M	73.8% (in HNO ₃) 63.2% (in NaOH)	[123]
8.	 Schiff base-thiosemicarbazone	Cast steel/0.005 M NaOH	10 ppm	63% (Inh1) 75% (Inh2) 88% (Inh3)	[124]
9.	 Carboxymethyl chitoooligosaccharide vanillin Schiff base	Carbon steel/3.5% NaCl	800 mg/L	84.7%	[125]
10.	 N-(2-hydroxybenzylidene) thiosemicarbazide (HBTC)	Carbon steel/Saline water	2 mM	83.8%	[126]

alized chemical structure of amino alcohol is illustrated in Fig. 5. They are formed in a nitrogen atmosphere as the reaction of methane, ammonia, and water, naturally. Amino alcohols constituting a key amino group encounter aldehyde cyclization, usually under mild conditions i.e. at the ambient temperature and without any catalyst or additive. In various industrial applications, amino alcohols have their place. Amino alcohols have been applied as corrosion inhibitors among the different organic corrosion inhibitors. But the evidence on its applicability as corrosion inhibitors in other

**Fig. 5.** The general representation of chemical structure of amino alcohol.

media is sparse to our knowledge, and only limited to concrete corrosion.

Usually, chemical inhibitors that are available in the concrete industry are classified into two categories: I) Inhibitors that are combined with a fresh mixture and applied to new reinforced concrete structures; and II) Migratory Corrosion Inhibitors (MCIs) that are typically used during restoration so they can migrate to reinforced concrete. Usually, these types of organic inhibitors are based on either amino alcohol and amine mixtures (both as additives and migratory compounds) or organic acids [127–129].

In one of their studies conducted, Söylev et al. [130] evaluated the potency of the two generations of surface-applied corrosion inhibitors based on amino alcohol in chloride-contaminated concrete. The concrete slabs of scale $280 \times 280 \times 75$ mm supported by two horizontally mounted and fixed reinforcement bars were used for corrosion testing in the analysis. To make the ponding of chloride solution over a 200-mm square area, both specimens had a recess cast into the top surface. The concrete shell was 18 mm. The chosen reinforcement was a plain bar with a diameter of 10 mm. The cement picked was CEM I 42.5 N cement from Irish Portland. 100 mm-cubic experiments are carried out to validate twenty eight days of compressive and tensile strength. Two new-generation amino alcohol-based surface-applied organic corrosion inhibitors were defined as part of the analysis. The inhibitors were installed on a reinforced concrete surface. Chloride periods include four-day ponding (70 g/l NaCl solution) for Group 1 specimens, accompanied by three-day laboratory air drying. Both inhibitors were delivered in the same manner, by a brush (as prescribed by its maker on the ponding surface) at the recommended dose (500 g/m^2). Inhibitors were used: (a) before the application of chloride, (b) after the first step of chloride, and their effect on corrosion was contrasted with control samples. First one is typically referred to as an inhibitor of the first generation, while the new generation is recognized as second one. These are patented amino alcohol based, surface-applied migrating corrosion inhibitors. Group 2 specimens comprised of specimen I and II control specimens, subjected to a higher concentration but only one ponding cycle (5 M NaCl solution). The inhibitor was administered after chloride ponding for this group of specimens and the findings are compared with control specimens before the end of the research time without the inclusion of any other chloride. To achieve lower resistivity for con-

crete during measurement, the specimens were wetted before corrosion measurement. The findings showed that, considering the high chloride content at the level of the embedded steel and the quality improved with chloride concentration, the latest generation of surface-applied corrosion inhibitors was successful in keeping the corrosion rate low relative to control samples. None of the inhibitors, however, were successful when they were added after corrosion was started.

The electrochemical activity of amino-alcohol-based corrosion inhibitors was tested and evaluated by Jamil et al. [131] in order to ascertain their ability to regulate corrosion toward corrosion of reinforced steel. In order to get insights into the comparison of the electrochemical behaviors of both inhibitors employed for the prevention (deemed as preventive inhibitors) and to control the steel corrosion in concrete (curative inhibitors), laboratory investigation were carried out. The experiments for the evaluation of their electrochemical behavior was carried out in the chloride ions atmosphere, by employing the simulated concrete interstitial electrolyte. In the same solution the electrochemical activity of both studied compounds (as inhibitors) was carried out. In addition to the original concrete mix (preventive inhibitor), one of the inhibitors under analysis is recommended, while the other is recommended for the concrete cover use (migrating inhibitor). The research was carried out using electrochemical techniques and the findings revealed that, in vigorous solutions simulating the concrete electrolyte, the inhibitors are able to reduce the corrosion rate of the steel. Potentiodynamic polarization has investigated the electrochemical behavior of the surface. Fig. 6 displays the polarization curves produced in the chloride containing working solution with and without the inclusion of preventive inhibitors. The presence of the inhibitor lowers the anodic currents by about four orders of magnitude, demonstrating that the anodic reactions are significantly impeded. No signs of cathodic inhibition was observed from the cathodic branches of Tafel slopes. This outcome shows that the preventive inhibitor functions like an anodic inhibitor in nature.

The inhibition activity of the preventive inhibitor was also studied by electrochemical impedance spectroscopy (EIS). Fig. 7 exhibits the impedance spectra obtained after various immersion periods on a sample immersed in a solution containing 2 g/l of NaCl without inhibitor addition. There is a small rise in the impedance

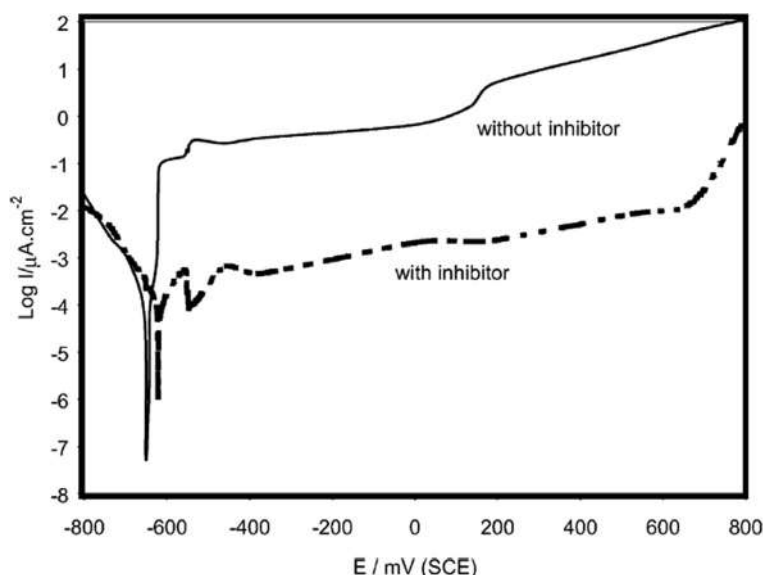


Fig. 6. Curves of potentiodynamic polarization for samples immersed in a working solution containing 2 g/l NaCl, with and without the inclusion of a mitigating inhibitor. Republished from ref. [131] with permission from Elsevier.

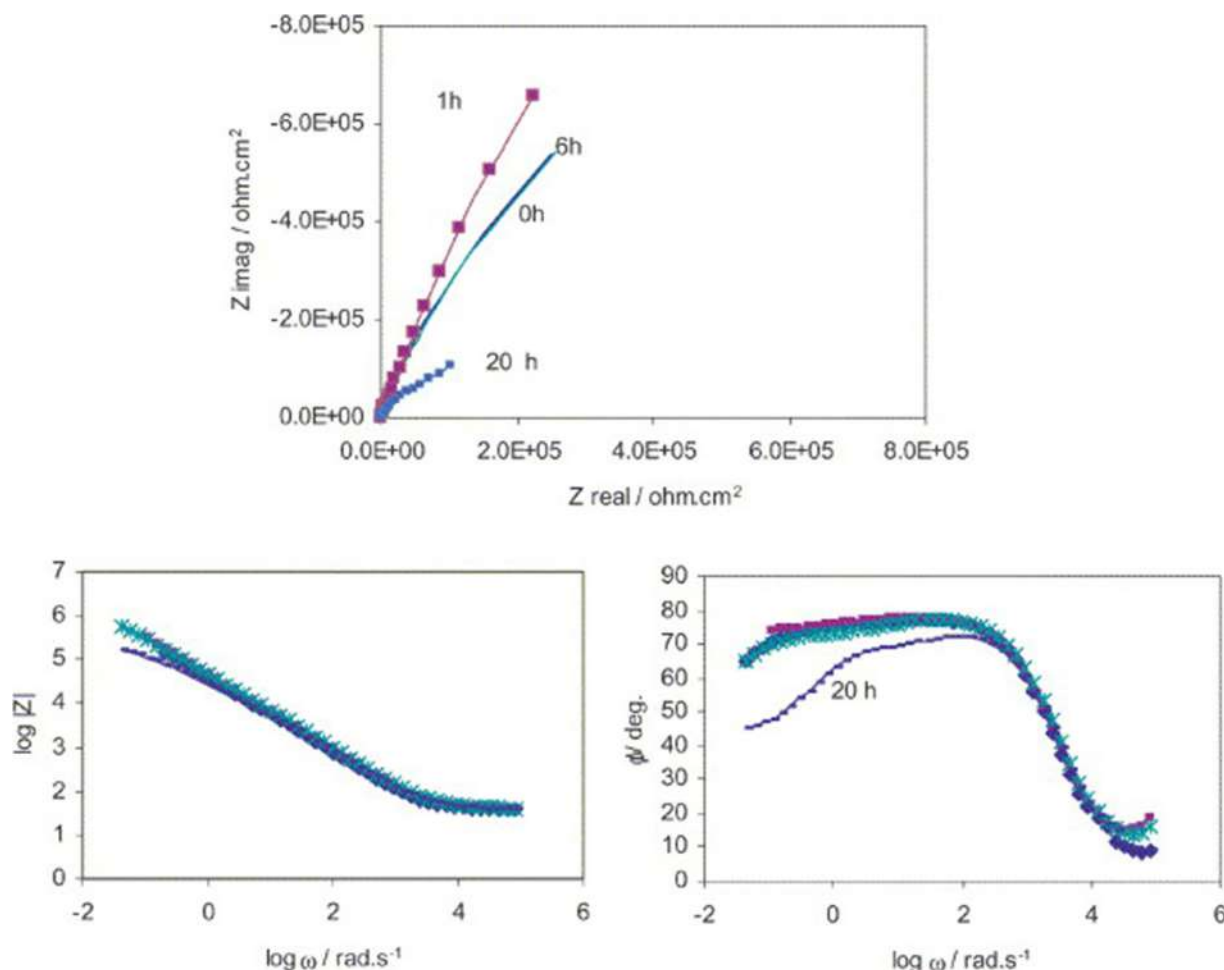


Fig. 7. Impedance spectra obtained for the control samples immersed in the working solution contaminated with 2 g/l of NaCl. Republished from ref. [131] with permission from Elsevier.

values initially, possibly due to the presence of a passive film that naturally forms on the iron surface as a result of the solution's alkaline pH. However, there is a drop in the overall impedance values by around one order of magnitude later on, revealing a rise in the rate of corrosion.

The presence of 4% of an inhibitor in the aggressive corrosive solution adds to the impedance range as seen in Fig. 8.

The findings indicate that the overall impedance of the device increases with the time of immersion. The average impedance at 10^{-1} Hz is initially around $10^5 \Omega \text{cm}^2$ and rises after 48 h of immersion to values above $10^6 \Omega \text{cm}^2$. This discovery indicates a clear inhibition of the processes of dissolution occurring on the soil. In addition, over time, the phase angle in the low frequency region also increases, showing that the system's reaction switches from a resistive to a capacitive action. This advancement indicates that the resistive portion of the device is growing and that the processes of corrosion are becoming more complicated. At the center, the device resembles the conduct of a capacitor, showing that on the surface there is a homogeneous protective layer.

In another investigation by Jamil et al. [132] the behavior of reinforcing steel exposed to amino alcohol based inhibitor against the corrosion was carried out. In order to gain some more insights into the investigation of electrochemical test, they monitored the performance of the penetrating amino alcohol based corrosion inhibitor, by following the corrosion activity of the reinforced steel (in presence of the inhibitor). Investigation was carried out utilizing the substances (tainted with chloride) in the presence of the

inhibitor based on amino alcohol. The amino alcohol included in this research greatly influenced the rate of corrosion of the reinforced steel. An increase in the presence of the inhibitor is seen by the charge transfer resistance as well as the film resistance (as depicted in Figs. 9 and 10). The inhibitor permeates into the mortar, resulting in the development of a protecting layer onto the steel surface. Over time, the resistance of this protective film increases, being independent of the thickness of the mortar in which the inhibitor must penetrate. The positive results appear, though, to be postponed until the inhibitor is sprayed on the surface of the mortar. The technique used to apply the inhibitor does not affect the efficiency of the corrosion-inhibiting mechanism.

In one of the work presented at International Congress on Advanced Materials, Mobridge et al. [133] stated that when combined with a solution with a molar ratio of 1 (inhibitor/ Cl^-), the amino alcohol-based inhibitor was able to resist corrosion, but its effect vanished when the solution was exposed to air and the volatile portion evaporated. According to the literature, however, the amino alcohol-based inhibitor is more efficient in simulated pore solution in comparison of concrete. The evaluation of the effect of N,N'-dimethylaminoethanol (DMAE) as an organic corrosion inhibitor on the chloride threshold value for steel reinforcement corrosion was garnered by Hassoune et al. [134]. They undertook the experiment in the simulated pore solution of concrete. The results obtained from the techniques of OCP, LPR and EIS are reasonably stable and show that the chloride threshold value for alkaline solution steel reinforcement corrosion is calculated to be

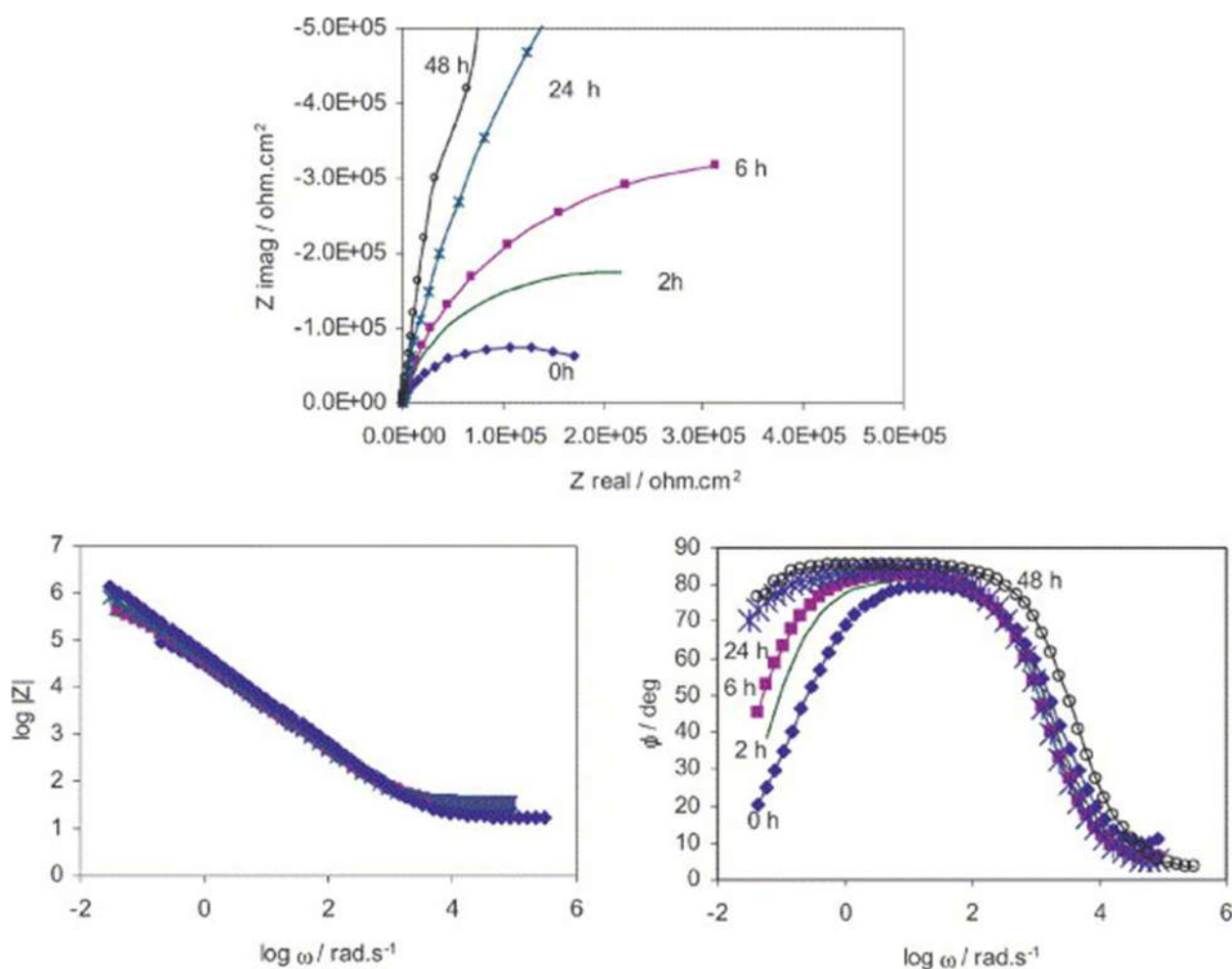


Fig. 8. Impedance spectra obtained for samples immersed in the working solution contaminated with 2 g/l of NaCl in the presence of 4% inhibitor. Republished from ref. [131] with permission from Elsevier.

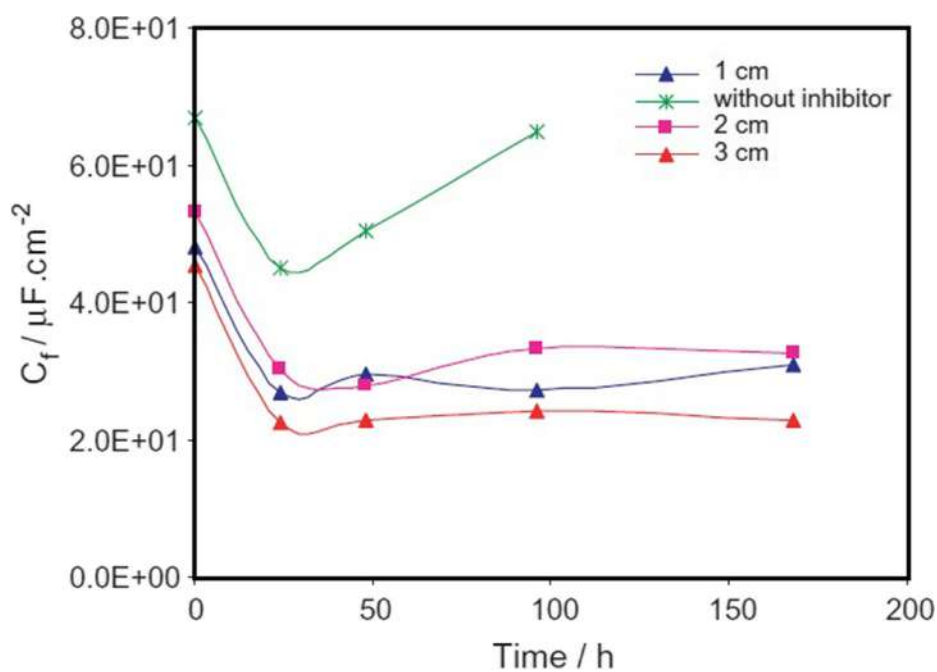


Fig. 9. Film capacitance for steel samples. Different application procedure using mortar specimens with 1 cm. Republished from ref. [132] with permission from Elsevier.

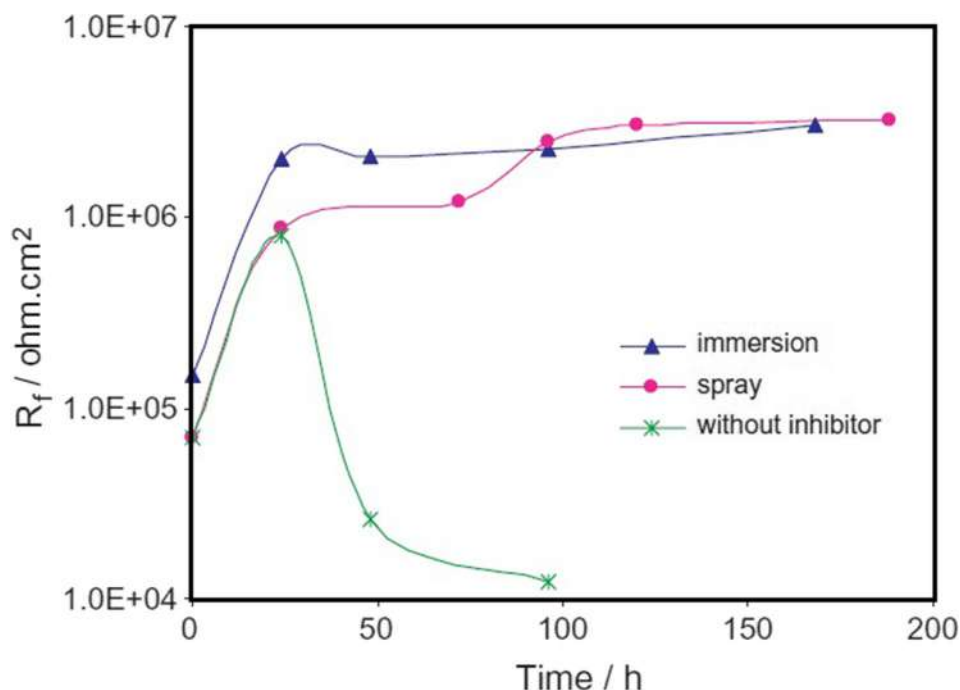


Fig. 10. Charge transfer resistance for steel samples. Different application procedure using mortar specimens with 1 cm. Republished from ref. [132] with permission from Elsevier.

around an average value of 0.4, represented by the ratio of $[Cl^-]/[OH^-]$. However, in the presence of 0.125 mol.L^{-1} of DMAE, this value increased relatively; in this situation, too, after the corrosion initiation, a decrease in the corrosion rate is observed with 60 to 70 % inhibition effectiveness. This explicitly confirms the potency of DMAE used to extend the operational life of reinforced concrete systems exposed to aquatic conditions as an efficient corrosion inhibitor.

In one of the experiment conduction by Vedalakshmi et al. [135], the assessment of the performance of the migratory corrosion inhibitor (MIC) based on amino alcohol was conducted out. In order to carry out the investigation, they utilized the hardened concrete (two different strengths 20 and 30 MPa were employed). The study was carried out using diffusion test cell system. The I_{corr} corrosion current was measured using the methodology of Tafel extrapolation. In the presence of MCI, there is a 20-fold drop in the steel I_{corr} relative to bare steel. With an increase in concrete thickness as well as intensity, the efficiency of migration declines. The density of concrete defines the diffusion rate for MCI. For 30 MPa concrete, the diffusion rate of 20 MPa concrete is two folds greater than that obtained. Studies have shown that the passive coating formed on the rebar surface in 20 MPa concrete is not durable in the presence of 1 percent chloride. Because of the higher chloride threshold level, the MCI performed well on 30 MPa concrete. The findings suggest that if greater safety efficiency is needed where the structure is exposed to high chloride conditions, it is more reasonable to add the MCI at a rate of 2.45 kg m^{-3} when added to the concrete surface along with concrete/repair mortar.

The potency of the amino alcohol inhibitors in combination with lithium nitrite was scrutinized, for the efficient corrosion protection, by Ryu et al. [136], in one of their investigation. They firstly prepared two kind of steel-reinforcing specimens and a reinforced concrete prism. They were exposed to chloride ion levels (just like the chloride environment). An autoclave accelerated corrosion evaluation was eventually accomplished. The parameters analyzed also included chloride-ion concentration and molar ratios of anti-corrosion substances in a CaOH-saturated aqueous solution that

mirrored a cement-pore solution. A 25 % dosage was employed for the lithium nitrite inhibitor and 80 % dosage of solution of dimethyl ethanolamine was employed. The available literature suggests that the inhibitor of lithium nitrite had anti-corrosion properties with a molar inhibitor ratio of 0.6. There were also anti-corrosion effects of the amino alcohol inhibitor, with an inhibitor molar ratio greater than roughly 0.3.

For the inquiry against corrosion-inhibitory propensity for brass, Gao et al. considered two compounds derived from the amino alcohols. First compound undertaken was 1-diethylamino-propan-2-ol (A), and the other one was 1,3-bis-diethylamino-propan-2-ol (B) [137]. In the investigation, the simulated atmospheric water was the atmosphere considered. They illustrated the performance by employing various techniques including EIS, and PDP. The findings from the investigation revealed their excellent performance in inhibiting the corrosion. They behaved as anodic inhibitor. The anti-corrosive performance of the inhibitor follow order: $B > A$. The IE acquired for A and B was found to be 90.7% (at 10^{-2} mol/L) and 92.9% (at 10^{-2} mol/L) for B, respectively. The composition of the inhibitors affects the potency of their inhibition. The explanation for B was because of its equilibrium structure, the stronger corrosion inhibitor, thereby favoring the creation of stable adsorbed film through its symmetrical adsorption centers.

3.3. Oximes as corrosion inhibitors

Oxime compounds, in their structure, contain the distinctive functional group $C = N-OH$ with simultaneous electronegative atoms N, O and double bond. They are highly soluble in water and of a non-toxic and biodegradable in nature [138,139]. However, studies available on the assessment of oxime compounds as inhibitors of corrosion is very scant. In the previous research [140] researchers explored corrosion inhibition of three aromatic oximes I (2-hydroxy-benzaldoxime), II (2-hydroxy-acetophenone-oxime), and III (2-hydroxypropionophenone-oxime) in aqueous alkaline media. The findings of the analysis exhibited that the inhibition efficiency of these oxime compounds was as high as 99%.

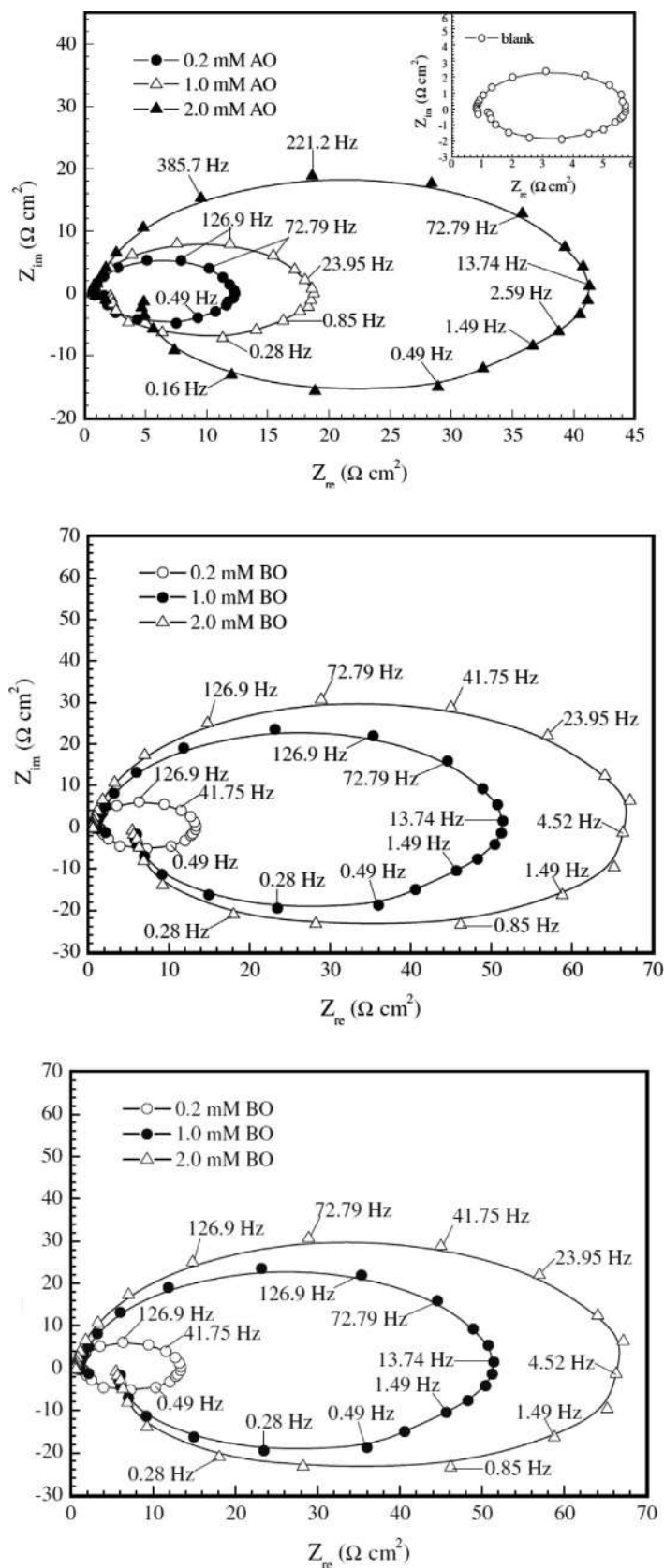


Fig. 11. Nyquist plots of the corrosion of aluminium in 1.0 M HCl at 20 °C without and with different concentrations of a) I, b) II, and III) c, at the open circuit potential (2 h immersion at the open circuit potential prior to measurement). Republished from ref. [141] with permission from Elsevier.

Table 2

Illustration of the data over viewing the applicability of various oximes as the inhibitors against the corrosion of various metals in various aggressive environments.

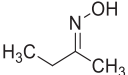
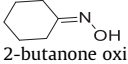
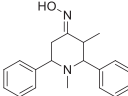
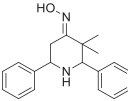
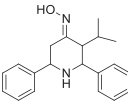
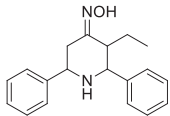
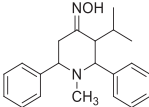
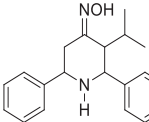
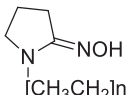
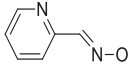
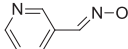
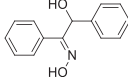
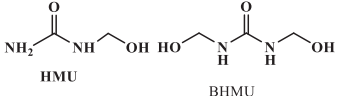
S. N.	Substrate/ experimental conditions	Inhibitors	IE (%)	Remarks	Ref.
	Number of Corrosion inhibitors used: 3 Metal: Aluminum Media: 1.0 M HCl Concentration: 0.2–2.0 mM Time: 2 h Temperature: 20–50 °C	 Acetone Oxime (I)  2-butanone oxime (II)  cyclohexanoneoxime (III)	PDP: 85.7 EIS: 89.2 PDP: 93.5 EIS: 93.1 PDP: 98.4 EIS: 95.2	With inhibitor concentration, inhibition efficacy rises and decreases with temperature. The maximum IE at 2.0 mM is 80.0% for I; 87.0% for II; and 93.9% for III at 20 °C. Inhibition efficiency follows the pattern: III > II > I. Obeyed Langmuir adsorption isotherm. Acted as cathodic-type inhibitors.	[141]
	Number of Corrosion inhibitors used: 3 Metal: Mild Steel Media: 1.0 M HCl Concentration: 25–500 ppm Time: 6 h Temperature: 30–60 °C	a) I  1,3-dimethyl-2,6-diphenylpiperidin-4-one oxime b) II  3,3-dimethyl-2,6-diphenylpiperidin-4-one oxime c) III  3-isopropyl-2,6-diphenylpiperidin-4-one oxime	WL: 74.5 EIS: 89.9 WL: 67.2 EIS: 88.7 WL: 64.9 EIS: 81.0	The IE followed the order: III < II < I, Temkin's isotherm, mixed-type inhibitors. SEM, XRD, and FT-IR revealed the formation of protective film over the MS surface.	[142]
	Number of Corrosion inhibitors used: 3 Metal: Mild Steel Media: 1.0 M H ₂ SO ₄ Concentration: 8.49×10^{-5} – 51.69×10^{-3} Molar 31.35 × 10–31.69 × 10–3 Molar Temperature: 303 K, 313 K 323 K and 333 K	I  3-ethyl-2,6-diphenyl-piperidin-4-one oxime II  1-methyl-3-isopropyl-2,6-diphenyl-piperidin-4-one oxime	WL: at 303 K 1 h exposure time – 84.4 2 h exposure time – 86.7 EIS: 91.6 PDP: 66.9 WL: at 303 K 1 h exposure time – 79.5 2 h exposure time – 82.4 EIS: 91.1 PDP: 55.5	Mixed-type. XRD and SEM with EDS results reveal the formation of protective film.	[143]

Table 2 (continued)

S. N.	Substrate/ experimental conditions	Inhibitors	IE (%)	Remarks	Ref.
6.	Number of Corrosion inhibitors used: 1 Metal: Mild Steel Media: 1.0 M H ₂ SO ₄ Concentration: 200,400,600, 1000 ppm Time: 6 h Temperature: 303 K, 313 K and 323 K Number of Corrosion inhibitors used: 2 Metal: Copper Media: 0.1 M HNO ₃ Concentration: 0.2–1.0 mM Time: 1 h Temperature: 30, 40, and 50 °C	III  3-isopropyl-2,6-diphenyl-piperidin-4-one oxime	WL: at 303 K 1 h exposure time –79.1 2 h exposure time –81.5 EIS: 89.5 PDP: 53.6	• Langmuir adsorption isotherm model.	[144]
		 Polyvinylpyrrolidoneoxime (PO)	WL: 54 PDP: 88.39 EIS: 87.49		
		I  (E)-N-hydroxy-1-(pyridin-2-yl)methanimine (Hp2ylm)	EIS: 26.93 PDP: 30.74		
6.	Number of Corrosion inhibitors used: 1 Metal: Zinc Media: 1.0 M NaCl (5.0 pH) Concentration: 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 % Time: 2–8 h Temperature: 25 °C	II  (E)-N-hydroxy-1-(pyridin-3-yl)methanimine (Hp3ylm)	EIS: 90.14 PDP: 90.18	• The treatment caused the electrode activity of zinc to change and the electron transfer rate to decrease during corrosion.	[146]
		 (2E)-2-(hydroxylamino)-1,2-diphenylethanol	EIS: 79.2% PDP: 85%		

These outstanding inhibitive efficiencies of oxime compounds imply that they behaved as potential inhibitors of corrosion. The evidence available to date on oxime compounds as corrosion inhibitors, however, is almost sparse and very limited, to the best of our knowledge.

The inhibition potency of three oxime compounds namely acetone oxime (I), 2-butanone oxime (II), and cyclohexanone oxime (III) was explored by Li et al. [141] in their one of the most recognized work, against the corrosion of aluminum in 1 M HCl solution. They employed various techniques like weight loss (WL), potentiodynamic polarization curves (PDP), electrochemical impedance spectroscopy (EIS), quantum chemical calculation and molecular dynamics (MD) simulation methods. The experimental finding thus obtained exhibited that all the three compounds (under the investigation) gave excellent performance. Their efficiency (in the inhibition of corrosion) followed the order as: III > II > I. Inhibition efficiency (IE) increases with the inhibitor concentration, and the maximum IE at 2.0 mM is 80.0% for I; 87.0% for II; and 93.9% for III at 20 °C. Every oxime inhibitor's adsorption follows the Langmuir adsorption isotherm, with the following order for the adsorption equilibrium constant: III takes precedence over II, which takes precedence over I. Prolonging immersion time results in increasing IE up to a maximum of 2 h, and then gradually decreases from 2 to 6 h. The kinetic expression of $v = kC^n$ controls the corrosion rate (v) against the molar concentration of HCl (C). The rate constant (k) decreases significantly after adding oxime compound in 1.0–3.0 M HCl solution, while the reaction constant (n) increases. Three oxime compounds act as cathodic-type inhibitors. The EIS spectra show a significantly large capacitive loop at high frequencies accompanied by a large inductive loop at low frequencies, resulting in an elliptic curve as can be seen in Fig. 11.

The Langmuir adsorption isotherm was followed by the molecules of all the three oxime under the investigation, during the adsorption process. All of them acted as cathodic type of corrosion inhibitors. In one of the research, the corrosion inhibition efficacy of a few piperidin-4-one oxime derivatives, A (1,3-dimethyl-2,6-diphenyl piperidin-4-one oxime), B (3,3-dimethyl-2,6-diphenyl piperidin-4-one oxime), and C (3-isopropyl-2,6-diphenyl piperidin-4-one oxime), in the case of protecting mild steel [142]. They employed various techniques for evaluating their performance as potent inhibitors. The results are discussed in Table 2. In 1 M hydrochloric acid, these three substances resisted mild steel corrosion at all concentrations. It was discovered that as inhibitor concentrations rose, the IE for A, B, and C increased as well. The maximal IE for each compound was observed at 500 ppm, and any further rise in concentration had no discernible effect on the inhibitor's output, suggesting that the limiting value had been reached. This may be due to the formation of monolayer film over the entire mild steel surface at this concentration. The IE followed the order of $A > B > C$. The decrease of IE with increase of temperature weakens physical adsorption process. All the tested compounds contain two phenyl rings—oxime nitrogen, oxime oxygen—and ring nitrogen. These compounds' corrosion inhibition is due to the presence of N, O, and aromatic rings, as shown by their molecular structure. The presence of a free electron pair on the nitrogen atom, oxygen atom, and the p-electrons of phenyl ring favors the adsorption of the inhibitor, which results in the formation of a stable film (insoluble layer) on the metal surface favoring chemisorption. Moreover, the experimental results are in good agreement with the Temkin's adsorption isotherm.

Senthikumar [143] explored three synthesized derivatives of piperidin-4-one oximes i.e., 3-ethyl-2,6-diphenyl-piperidin-4-one oxime (I), 1-methyl-3-isopropyl-2,6-diphenyl-piperidin-4-one oxime (II), and 3-isopropyl-2,6-diphenyl-piperidin-4-one oxime (III), at varying concentrations, for the determination of their ability to inhibit corrosion of mild steel in 1 mol/L H_2SO_4 and measured

by a mass loss method (at various temperatures), PDP and EIS, XRD, SEM with EDS, and a quantum chemical method. The synergistic effect of iodide compounds onto I, II and III was also investigated. In the following order, all three compounds show strong inhibition efficiency: I > II > III. On the surface of mild steel, compounds I, II and III were determined to be chemically adsorbed thereby obeying the model of the Temkin's isotherm. Assessments of polarization demonstrated that these compounds serve as inhibitors of the mixed type. With EDS research, XRD and SEM showed the construction of a protecting barrier by these oximes on the mild steel surface. Semi-empirical approaches were used to test the electron donation potential of the researched molecules. The studies found that oxime nitrogen, pyperidine moiety, and phenyl ring largely aid in the control of corrosion. The research has demonstrated that the alkyl group in the pyperidine ring causes steric crowding, which decreases inhibitor effectiveness. It's also worth mentioning that all of the compounds tested have a synergistic effect with iodide ions.

Saini et al. [144] synthesized and estimated the performance of the Polyvinylpyrrolidone Oxime (PO) against the corrosion inhibition of the mild steel (in 1 M H_2SO_4). The performed the investigation under varying concentration and temperature. The evaluated the performance using techniques like WL, EIS, SEM, PDP, and theoretical calculation (using quantum chemical calculations). The findings from all the techniques gave an overall conclusion of their excellent performance with high inhibition efficiency, 83.16 % (estimated by WL method) and 88.39 % (estimated by PDP). The performance of the PO got improved at higher PO concentration. But the inhibition potency got lowered at higher temperature. From the findings of PDP, it can be concluded that PO acted as mixed-type inhibitor. The results of EIS provided the information about the increased values of R_{ct} value increased and decreased values of C_{dl} , in the presence of the PO (inhibitor under the investigation). This indicated the increased thickness of double layer. The findings of all the techniques are in line with each other. Langmuir Isotherm model was followed by the adsorption of molecules of PO on the surface of metal (to be protected). The thermodynamic parameters indicate both physisorption, with slight chemisorptive behavior between metal and PO. Quantum chemical calculations showed that PO interacts with the metal, attaining electrostatic interactions, and the study accords well with experimental results, revealing that PO has proper moiety to decrease the corrosion reaction rate. The SEM images also verify that, with PO, the MS surface is smooth and less cracked compared to that in the uninhibited solution, forming a smooth and protective layer through the adsorption over the MS surface.

Two heterocyclic oximes (E)-N-hydroxy-1-(pyridine-2-yl)methanimine (I) and (E)-Nhydroxy-1-(pyridine-3-yl)methanimine (II) were synthesized by Varghese et al. [145] and characterized by different spectroscopic instruments such as UV, IR, MASS and NMR. Electrochemical (PDP and EIS) experiments have determined the inhibition ability of these oximes against copper corrosion in 0.1 M HNO_3 (EIS). II demonstrated greater inhibition performance at all concentrations than I. Impedance response of copper specimens was changed appreciably in the presence of oximes I and II in nitric acid medium. As the concentration of oximes increased, the double layer capacitance values decreased considerably. The corrosion protection capacity of II is very much higher than that of I at all concentrations. At 1.0 mM concentration, II and I displayed 90.1% and 26.9% inhibition efficiency on copper surface, respectively. Even though two oximes are structural isomers, II showed enhanced interaction on Cu surface in HNO_3 .

The surface treatment of zinc was done by Achary and Naik [146], with different concentrations of an oxime (2E)-2-(hydroxylamino)-1,2-diphenylethanol molecule by the immersion method. In order to assess the mechanism of the corrosion process, electro-

chemical tests of surface-treated zinc specimens were carried out at different temperatures in an aqueous sodium chloride solution (1 M concentration at pH 5.0). The electrochemical research presented revealed that the cathodic corrosion activity of the treated zinc was radically changed, resulting in a decrease in the rate of electron transfer. In the zinc samples treated by immersion in an inhibiting organic solution, strong corrosion resistance had been illustrated. Utilizing SEM, a protective film on the zinc surface was identified.

The corrosion inhibitory efficiency of three triazole derivatives of oxime during acidic corrosion of a mild steel surface was investigated by Guo et al. [147] using DFT with hybrid B3LYP functional as the most common and reliable one for organic molecules analysis in combination with the 6-31G basis. These authors described the aqueous environment through the self-consistent reaction field theory based on Tomasi's PCM. They observed that the relative energies of the compounds are lower when the solvent polarity and the molecule size increase. Corrosion inhibitor solvation is responsible for severe variations in charge distribution originating in a broad dipole moment similar to that observed in the measurement of the gas process. They observed that the polarizability values of molecules increased in presence of water favoring the adsorption process. The inhibition efficiency of the three corrosion inhibitors (evaluated under the experiment) rose with the increase of log P.

3.4. Sulphonamides as corrosion inhibitors

Many remarkable attempts have been developed since long times with the most important object of finding more environmental benign corrosion inhibitors. Sulphonamides have various fascinating properties which make them green corrosion inhibitors for various metals in basic or acid medium. Their environment friendly nature not only contributes in this area but also in the medical field [148–151]. The studies that have been made by various corrosion researchers led them to deep conclusions about the incidents that happen during the corrosion process. One such conclusion is that during the corrosion process, a metallic material splits into its individual constituent atoms because of the chemical reactions with its surroundings. Sulphonamides include various active functional groups ($-\text{SO}_2$, $-\text{NH}_2$, $-\text{NH}$), heteroatoms (P, S, O, N) and aromatic rings that play a significant part of blocking the active sites of the metal during the corrosion phenomena. This happens by the mechanism of desorption or adsorption [150]. The typical adsorption process among the inhibitors and the metallic surfaces adopts the outline i.e. illustrated in reaction wherein the effectiveness of the sulphonamide demonstrates the capability to be adsorbed on the metallic surface via transferring the H_2O molecule from the interface which is influenced by the corrosion.

$$n\text{H}_2\text{O}(\text{ads}) + \text{Sulphonamide}(\text{sol}) \rightarrow n\text{H}_2\text{O}(\text{sol}) + \text{Sulphonamide}(\text{ads})$$

where $\text{H}_2\text{O}(\text{sol})$ = water molecule in aqueous phase, $\text{H}_2\text{O}(\text{ads})$ = water molecule on the metal surface. Sulphonamide(sol) = molecules in aqueous phase, Sulphonamide(ads) = molecules adsorbed on the surface of metal, n = number of H_2O molecules changed via a molecule of sulphonamides adsorbate. The adsorption mechanism of sulphonamides compounds on the metal surface during the corrosion process is further affected by some aspects for example the character of the electronic arrangement and the steric, electron density at the donor atoms [150,152].

The computational chemistry has been employed in recent times to elucidate the corrosion inhibition mechanism, for example quantum chemical calculations, which confirmed to be an important technique for studying the mechanism [153–158]. The reactive capability of the corrosion inhibitor is directly related to their frontier molecular orbitals (FMO), including highest occupied

molecular orbital (HOMO), and lowest unoccupied molecular orbital (LUMO), and the other chemical parameters for example hardness (η) and softness (S). The quantum chemical analyses have been effectively carried out to connect the corrosion inhibition efficiency with molecular orbitals energy levels for several types of organic compounds such as amino acids and amides [159,160], pyridine-pyrazole compound [161], hydroxyl carboxylic acids [162], sulfonamides [163] to state but very few.

Obayes et al. [164] investigated the corrosion inhibition effect of some organic heterocyclic compounds for examples: Sulfamerazine (SMR), Sulfapyridine (SPY), Sulfathiazole (STI), and Sulfacetamide (SAM) as corrosion inhibitors in aggressive medium. The authors were used two groups (amino and nitro) for the purpose of the substituted reaction of all inhibitors. Density functions theory (DFT) with the level B3LYP/6-311G(d,p) was chosen for the theoretical analysis. This research explained that the nitration of corrosion inhibitor molecules lead to a reduction in inhibition efficiencies, whereas decrease nitro group cause a raise in inhibition efficiency. These findings provided an important enhancement in inhibition efficiency for all the inhibitor molecules as compared with corrosion inhibitor molecules. The outstanding relationship with studied models and inhibition efficiency of the corrosion inhibitors, verifying the reliability of the process used. The chemical structures for the studied inhibitors such SMR, SPY, STI and SAM with the reaction chain for the derivatives of the new inhibitors are represented in Fig. 12.

Ebenso et al. [165] reported the DFT with basis set levels BP86/CEP-31G* and B3LYP/6-31G (d,p) and ab initio estimates by the RHF/6-31G (d,p) processes were carried out on different sulfonamides namely sulfapyridine (SPY), sulfacetamide (SAM), sulfathiazole (STI) and sulfamerazine (SMR) employed as corrosion inhibitors for mild steel in acidic medium to find out the correlation among inhibition efficiencies and their molecular structure. The obtained inhibition efficiency followed the order: $\text{SMR} > \text{SPY} > \text{STI} > \text{SAM}$ which corresponded with the order of most of the calculated quantum chemical parameters such as energy of E_{HOMO} and E_{LUMO} , the energy gap (ΔE), η , S , Mulliken charges on the O, C, S, N atoms, dipole moment (μ), polarizability (α), electrophilicity (ω), total energy change (ΔE_T), ionization potential (I), electron affinity (A), the fraction of electrons transferred (ΔN) and the absolute electronegativity (χ). A relationship of the composite index of several quantum chemical parameters was carried out to describe the inhibition behavior of studied sulfonamides by using quantitative structure activity relationship (QSAR) method. These findings explained that the inhibition efficiency of the sulfonamides was directly related to few parameters but with varying order. The obtained corrosion inhibition efficiency of the studied sulfonamides was found to be close to their investigational inhibition efficiencies. The obtained experimental data follows the Langmuir adsorption isotherm. Negative values of E_{HOMO} and other thermodynamic parameters support the physisorption mechanism. Fig. 13 demonstrates the HOMO and LUMO orbital contributions for the neutral and cationic species of the tested compounds at the B3LYP/6-31G (d,p) level.

Samide et al. [166] studied the corrosion inhibition effect of 4-Amino-N-(1,3-thiazol-2-yl) benzene sulphonamide on the surface of carbon steel in 1 M HCl. In this paper the authors reports a comprehensive study on sulphonamide as corrosion inhibitor. The findings confirmed that this compound behave as a good corrosion inhibitor for carbon steel in acid medium. The inhibition efficiency was raised as the concentration of inhibitor raised. It was also exposed that the adsorption mechanism obeyed the Temkin adsorption isotherm. The corrosion product was examined by XPS study where few exciting examinations explained that the corrosion product was essentially a non-stoichiometric Fe^{3+} oxide/oxyhydroxide which was generally composed of α and γ -FeO

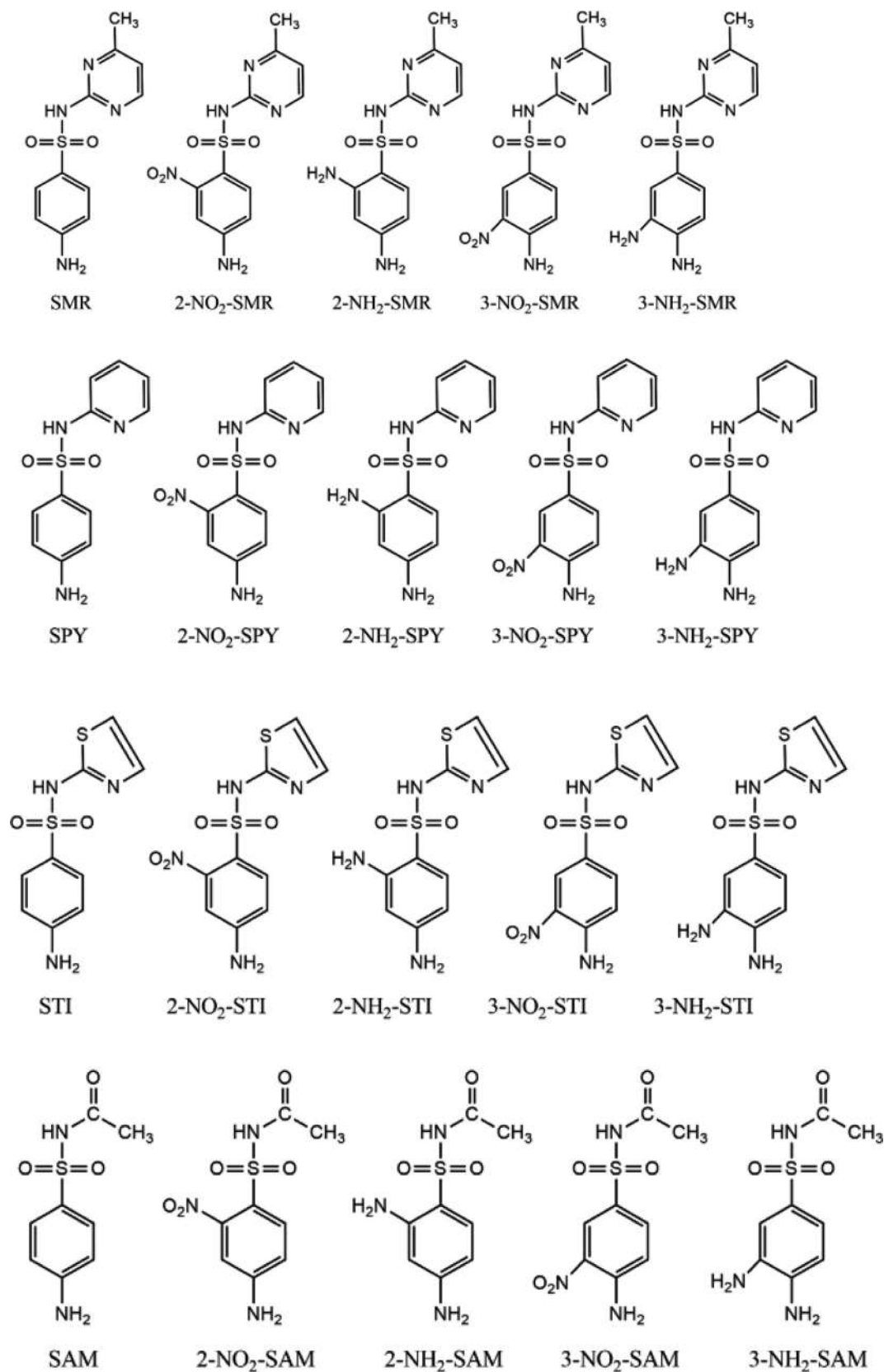


Fig. 12. The chain reaction of the studied compounds. Republished from ref. [164] with permission from Elsevier.

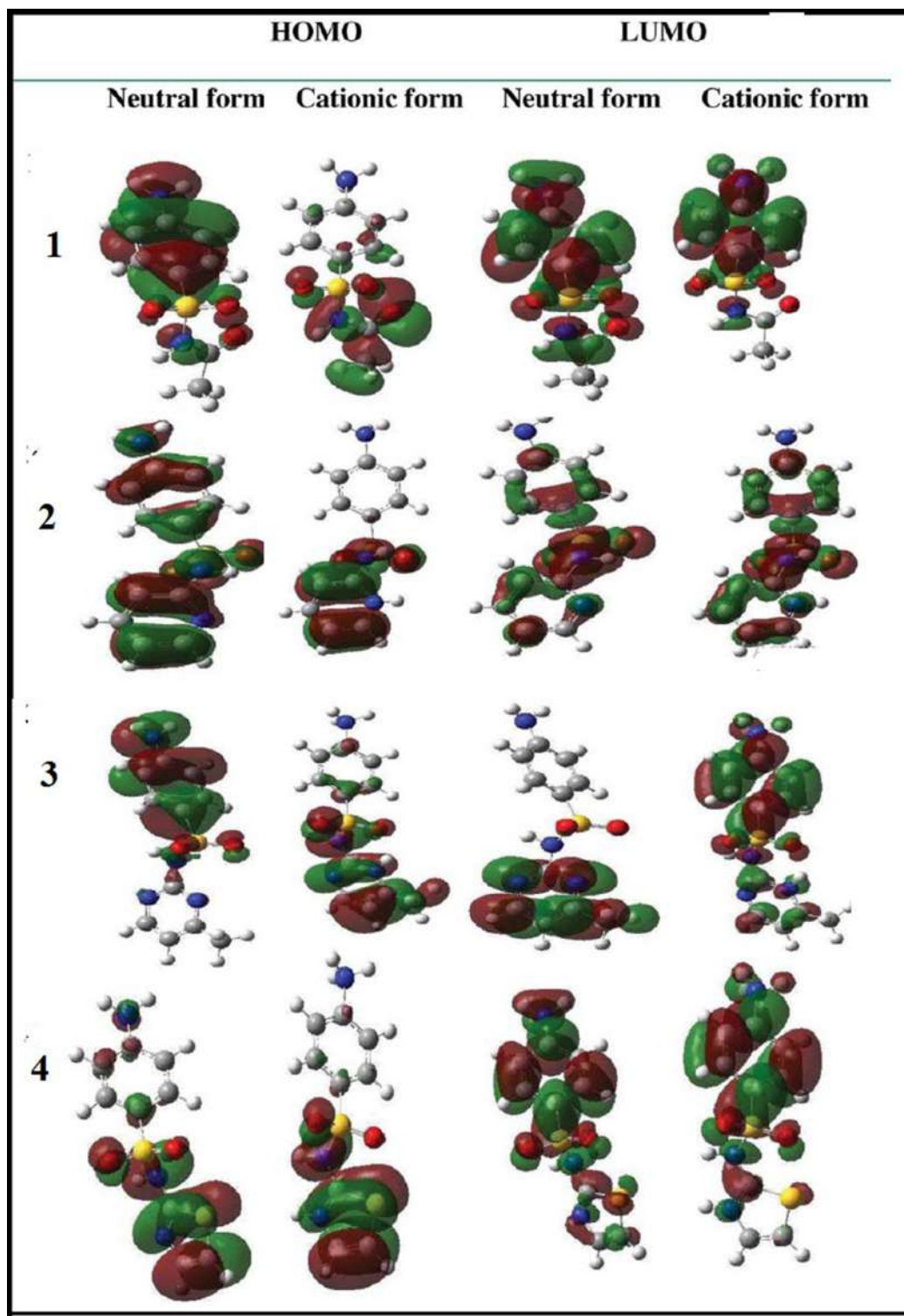


Fig. 13. The obtained molecular orbitals of HOMO and LUMO of studied molecules using B3LYP/6-31G(d,p) ((sulfacetamide (1); sulfapyridine (2); sulfamerazine (3); sulfathiazole (4)). Republished from ref. [165] with permission from Wiley.

(OH), $\text{Fe}(\text{OH})_3$, and Fe_2O_3 . Here the primary phase component was α and $\gamma\text{-FeO}(\text{OH})$.

Obot et al. [150] studied the corrosion inhibition effect of sulphathiazole as a green corrosion inhibitor at mild steel in 0.5 M HCl interface. Even at low concentrations, the findings were more fascinating; sulphathiazole demonstrated some inhibition capability, thus protecting metal from corrosion. The adsorption of sul-

phathiazole on mild steel followed the Temkin adsorption isotherm. The obtained values of Gibbs free energy and activation energy verify the chemical nature of the adsorption process. It is most possible that the corrosion inhibition behavior of sulphathiazole was because of charge transfer among the surface of mild and inhibitor molecules. These investigational findings and examinations were further correlated with the theoretical studies. From

theoretical quantum chemical calculations, molecular properties, for example, E_{HOMO} , E_{LUMO} , ΔE , Mulliken charges, HOMO, and LUMO orbitals, were evaluated, and a successful relationship was made among reactivity traits and structure of sulphathiazole. DFT with level BLYP/6-31G(d) was used to assess these molecular properties.

Murulana et al. [167] reported the anticorrosion behavior of several sulphonamides namely sulphachloropyridazine (SCP), sulphamethazine (SMT), sulphaquinoxaline (SQX) and sulphabenzamide (SBZ), for mild steel in HCl medium. The results explained that these compounds efficiently inhibited the corrosion process by becoming adsorbed on mild steel's surface obeys the Langmuir adsorption isotherm. The results of the electrochemical study confirmed that these compounds act as mixed-type inhibitors. The theoretical studies were carried out to give mechanistic approaches to the diverse substituents' positions on the adsorption mechanism and corrosion inhibition performance of the tested inhibitors. The obtained theoretical parameters contain HOMO, E_{HOMO} , μ , partial atomic charges, etc. The estimated molecular properties were compared across the configurations of these compounds to recognize trends related to the ability of corrosion inhibition and their reactivity. The findings also explain that the sulphonamide's ability to protect the metal corrosion is strongly dependent on the electron donating capability of the substituent group and that the favored position for interaction with the surface of metal, in all the sulphonamides, is the SO_2 group.

Arslan et al., [163] investigated the anticorrosion properties of a few sulphonamides namely sulphamethazine, sulphaguanidine, sulphadiazine and sulphamethoxazole on the surface of mild steel in an acidic medium. The correlation between inhibition efficiencies and the molecular structures of these inhibitors was recognized from DFT and other semi-empirical tools. Some relationship studies were carried out to contrast the findings calculated from the experimental and theoretical parameters. Their results illustrated that the inhibition efficiencies of these inhibitors were comparable with the parameters of molecular property, for example, E_{LUMO} , E_{HOMO} , ΔE , η , μ , α , and Mulliken charges. Their findings also confirmed that the inhibition efficiencies of these corrosion inhibitors were raised as they raised the value of E_{HOMO} and reduced the value of ($E_{\text{HOMO}} - E_{\text{LUMO}}$). The mechanism of physisorption was suggested from the sign of E_{HOMO} values and other kinetic and thermodynamic parameters.

Samide et al. [168] studied the corrosion inhibition effect of N-acetyl p-aminobenzene sulphonamide (APAS) for carbon steel in acidic solution. These findings explained that APAS was found to be a suitable corrosion inhibitor. The inhibition efficiency raised with raise the APAS concentration. Their investigational results confirmed that the availability of this compound in solution increased the surface coverage, which showed the adsorption mechanism of this inhibitor on the surface of carbon steel. The adsorption process follows the Langmuir adsorption isotherm model. Mossbauer spectroscopy results explained that the significant corrosion product was a non-stoichiometric Fe^{3+} oxyhydroxide which included α , and γ - $\text{FeO}(\text{OH})$, Fe_2O_3 . Here the main phase component was α and γ - FeOOH .

Zor and Sagdinc [169] studied the corrosion inhibition behavior of sulphathiazole as a green corrosion inhibitor on aluminium in 1 M NaCl solution at different temperatures. The polarization plots showed the inhibitor act as mixed-type adsorption. The adsorption mechanism of sulphathiazole on the aluminium surface obeyed the Langmuir adsorption isotherm. Arrhenius equations and curves were applied to clarify the temperature effect on aluminium corrosion. The theoretical parameters were obtained by DFT and Hartree Fock tools. Therefore, these quantum chemical parameters were related to sulphathiazole's reactivity traits and structure. Murulana et al. [170] investigated the

corrosion inhibition effect of some sulphonamides derivatives i.e., sulphamethoxazole (SMX), sulphamylamide (SNA), sulphisoxazole (SSZ), sulphamethizole (SMZ) and sulphadimethoxine (SDM) for mild steel in HCl. These compounds as corrosion inhibitors were found to protect the metal through spontaneous adsorption on the surface of mild steel, thus blocking the active sites. The calculated kinetic and thermodynamic parameters explained that these inhibitors compounds followed the Langmuir adsorption isotherm mechanism. The findings from potentiodynamic polarization and electrochemical impedance explained that these inhibitors act as mixed types. FTIR, EDS, and SEM were used to describe the formation of the adsorption layer on the metal surface. QSAR and DFT were also calculated to examine the selected reactive sites on the sulphonamides molecules and compare the investigational inhibition efficiency with the theoretically computed inhibition efficiency. The findings specify that the preferred sites for interaction among the mild steel surface and inhibition would be the aromatic ring with the heteroatoms present in each sulphonamide. DFT parameters are enough in the development of QSAR to give a strong relationship among experimentally and theoretically calculated inhibition efficiency.

Sappani and Karthikeyan [171] investigated the corrosion inhibition effect of N-(isopropylcarbomoyl)-4-(m-tolylamino) pyridine-3-sulphonamide (TSM) and 4-chloro-2-((furan-2-ylmethyl)amino)-5-sulfamoylbenzoic acid (FSM) for mild steel in 1 N sulfuric acid medium. The findings confirmed that both compounds are excellent corrosion inhibitors for the metal in H_2SO_4 and their inhibition efficiencies raised with the rising concentration of inhibitors. However, the inhibition efficiencies reduced with the rise in temperature as gravimetric analysis were complete at a temperature range of 303–333 K. The potentiodynamic polarization result behaved as mixed type adsorption mechanism. The activation energy and thermodynamic parameters confirmed that a Langmuir adsorption isotherm model was followed via both inhibitors. UV and FTIR explained the inhibition reaction method that resulted in the complex formation of metal and corrosion inhibitors. The appearance of protective film that resulted as an effect of adsorption among both the inhibitor molecules and mild steel was verified by SEM micrographs and their respective EDS spectra. SEM micrographs of metal surfaces are exposed in Fig. 14A-C. Fig. 14A shows pure metal in the absence of inhibitor and Fig. 14 B & C explain the metal surfaces immersed in the optimum concentration of FSM and TSM (14×10^{-4}). Fig. 14A presents the high pits and damage on the metal surface, while Figs. B & C illustrate more minor damage on the metal surface due to the inhibitor's adsorption. The picture of the metal sample immersed in the presence of TSM (Fig. 14B) is comparably smooth and slightly influenced in comparison with sample surface engaged in the presence of FSM (Fig. 14C), leading to efficient formation of TSM layers on mild steel in H_2SO_4 .

3.5. Thio urea and urea derivative as green corrosion inhibitors

Urea is an organic compound, in which two amino groups are attached to sp^2 hybridized carbonyl carbon. It is also known as carbamide, which is highly water-soluble. Usually, when phosgene gas is treated with a primary or secondary amine, urea is formed as the main product, as indicated in Scheme 1:

Also urea can be prepared by heating ammonium cyanate to 60C as given in Scheme 2:

Similarly thiourea is also a compound similar to urea in which oxygen is replaced by sulphur atom in which two amino groups attached with sp^2 hybridized thionyl carbon atom. Also, thiourea is an organosulphur compound, which differs in properties from urea and is used as a reagent in the organic synthesis reaction

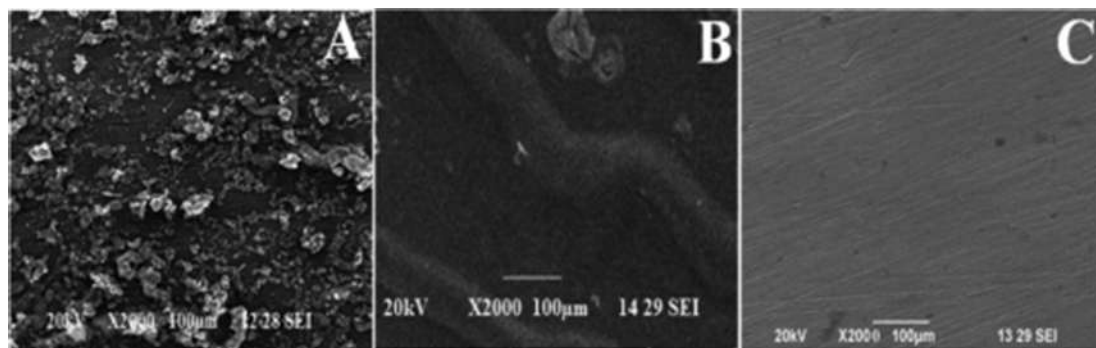
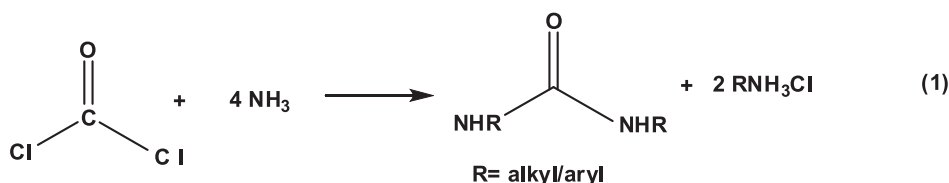
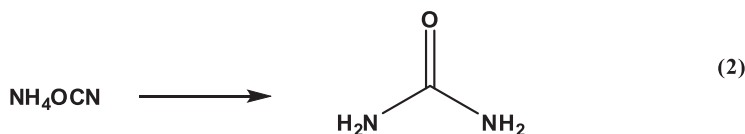


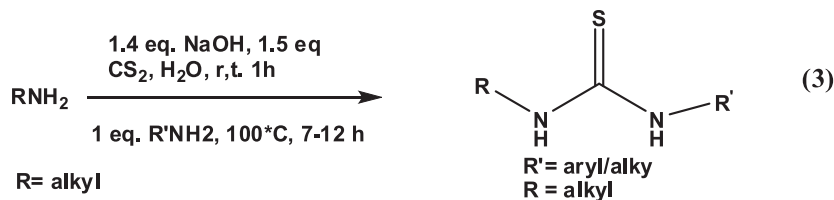
Fig. 14. SEM micrographs of mild steel immersed in (A) 1 N H₂SO₄, (B) 14 × 10^{−4} M FSM, and (C) 14 × 10^{−4} M TSM. Republished from ref. [171] with permission from ACS.



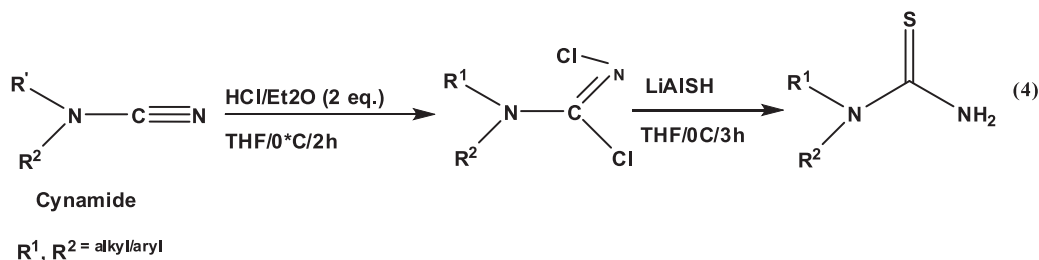
Scheme 1. Synthesis of Urea from phosgene.



Scheme 2. Synthesis of urea from ammonium cyanate.



Scheme 3. synthesis of mono, di and tri substituted thiourea derivative from aliphatic amine.

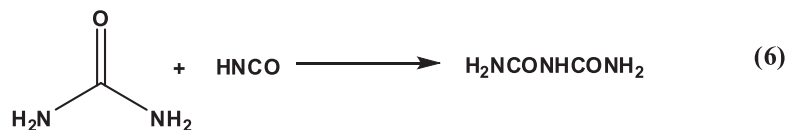
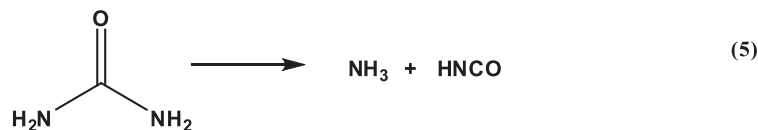


Scheme 4. Synthesis of urea from nitrile compound.

[172]. Condensation reaction between carbon disulphide and amine is involved in the common method of synthesis. Mono, di and tri substituted thiourea derivative from aliphatic amine can be prepared with the help of protocol given in Scheme 3 [173]:

Also for the preparation of N, N unsubstituted, cyanamide anhydrous with LiAlSH taken into diethyl ether solution [174] as given in Scheme 4:

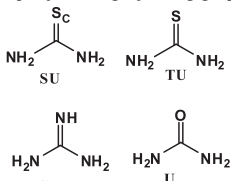
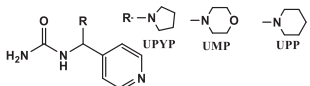
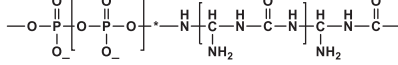
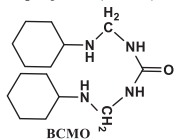
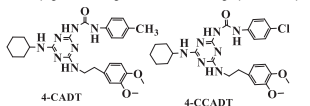
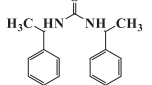
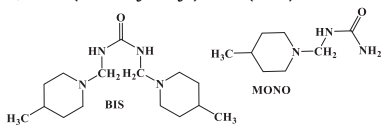
Normally urea behaves like a Lewis base and on heating, this compound decomposed into inorganic acid and ammonia gas, also heating urea with isocyanic acid (HNCO) can be converted into melamine, biuret, guanidine and triuret condensed product. Additionally, on reacting with malonic ester, urea converted into produce barbituric acids. Same important chemical reactions of urea is as given Scheme 5 [175,176]:



Scheme 5. Decomposition reactions of urea.

Table 3

Chemical structure, metal, electrolyte, methods applied and key outcomes of urea and derivatives applied as corrosion inhibitors for metal and alloys.

S. N.	Chemical structure	Metal & electrolyte	Methods applied	Ref.
1.	Epoxy coating by using graphene oxide-poly(urea-formaldehyde) composites	CS/ 3.5 wt% NaCl	SEM, TEM, XRD, EIS	[183]
2.	 1, 3-bis (hydroxymethyl) urea (BHMU)	CRS/ 1 M HCl	WL, PDP, EIS, DFT, MD	[184]
3.	 Selenourea (SU), Thiourea (TU), Guandine (GU), and Urea (U)	CS/ 0.5 M H ₂ SO ₄	OCP, PDP, EIS, DFT	[185]
4.	Graphene oxide poly urea formaldehyde composites	MS/ 3.5 % NaCl	FTIR, XRD, SEM, EIS, TEM	[186]
5.	 1-(pyridin-4-yl) methyl urea (UPyP), 1-(morpholino (pyridin-4-yl) methyl urea (UMP), and 1-(piperidin-1-yl (pyridin-4-yl) methyl urea (UPP)	MS/ 1 M HCl	WL, PDP, EIS, XRD, DFT	[187]
6.	 Polyphosphate derivative of guanidine and urea copolymer (PGUC)	ARMCO IRON/ 1 M HCl	WL, EIS	[188]
7.	 bis-(cyclohexylaminomethyl)-urea (BCMU)	MS/ Cl ⁻ , HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻	XPS, AFM, EIS, SEM	[189]
8.	 1-(4-cyclohexyl amino)-6-(3, 4-dimethoxy phenyl ethyl amino)-1, 3, 5-triazin-2-yl)-3-p-tolyurea (4-CADT) and 1-(4-chlorophenyl)-3-(4-(cyclohexyl amino)-6-(3, 4-dimethoxy phenyl ethyl amino)-1, 3, 5-triazin-2-yl) urea (4-CCADT)	MS/ 1 N HCl	EIS, PDP, SEM	[190]
9.	 1, 3-bis (1-Phenylethyl) Urea (BPU)	CS/ 1 M HCl	PDP, SEM, EIS	[191]
10.	 Mono and bis-4-methylpiperidiniummethyl urea	MS/ 1 mol.L ⁻¹ H ₂ SO ₄	WL, PDP, EIS, DFT	[194]

Similar thiourea is used as precursors of thiourea dioxide and is used as fertilizer in environmental stress conditions. Also, thiourea is used for vulcanization accelerator, auxiliary agent for all types of copy paper, silver gelatin photographic print and solution in Sn (II) for copper printed. Among its chemical reactions are kurnakov reaction, silver polishing, a precursor to heterocycles, source of sulphide and reluctant [177–180]. Its most important uses are used as a precursor in the preparation of the heterocyclic compound.

3.5.1. Urea and derivatives as corrosion inhibitors for metal and alloys

Urea and derivatives applied as potential corrosion inhibitors for metal and alloys in various aggressive media such as HCl, H₂SO₄, NaCl etc. These molecules contain nitrogen and oxygen heteroatom's those are electron rich and can interact with metal surface by donating their lone pairs of electrons to vacant d orbitals of metal [181,182]. Zhang et al. (2017) revealed that graphene oxide poly urea formaldehyde composite exhibited excellent anticorrosion property for mild steel surface according to EIS analysis [183]. Experimental analysis revealed that both derivative i.e. HOMO and LUMO exhibited inhibition efficiency over 80% in 20 mM concentration for CRS in 1.0 M HCl according to Deng and coworkers (2014) [184]. Among studied over derivatives i.e. SU, TO and selenourea SU exhibited higher percentage of 98% at optimum concentration for CS in 1.0 M H₂SO₄ [185]. EIS and quantum chemical calculations shows good correlation for inhibition property of Go-poly urea formaldehyde composites towards mild steel corrosion. Polyurea micro capsulated incorporated with quinoline microencapsulation applied as prominent corrosion inhibitors for mild steel in 5 wt% HCl solution [186]. Mannich Bases namely UPGP, UMP and UPP synthesized, characterized and applied as prominent corrosion inhibitor in which UMP exhibited E_{HOMO} and E_{LUMO} of -5.6480 eV and -0.8174 eV value respectively [187]. Derivative of polyphosphate with urea and gyanimide (PGUP) has been exhibited 91% inhibition efficiency at 11.5 g/l concentration followed by Temkin adsorption isotherm [188]. Urea amine based self assembled compound namely BCMU developed as mild steel corrosion and exhibited excellent anti corrosion prop-

erly confirmed by XPS, EIS, AFM and other studied parameters as suggested by Zhang et al. (2010) [189]. B.M. Mistry and coworkers (2011) reported that 1,3,5 triazinyl urea derivatives namely 4-CADT and 4-CCADT applied as potential corrosion inhibitors for MS in 1 N HCl in which 4-CCADT exhibited 94.06 % inhibition efficiency [190]. 1,3-bis (1- phenylethyl) urea follows Langmuir adsorption isotherm and it's adsorption process follows the exothermic in nature [191]. Mono and bis-4-methyl pi peridinium methyl urea shows excellent anticorrosion property towards steel in H₂SO₄ electrolyte in which monourea compound shows 94.3% inhibition efficiency according to weight loss measurement [192]. Additionally chemical structure, metal, electrolyte, methods applied and key outcomes of urea and derivatives applied as corrosion inhibitors for metal and alloys summarized in Table 3.

3.5.2. Thiourea (TU) and derivatives as corrosion inhibitors for metal and alloys

Thiourea is also a compound similar to urea in which oxygen is replaced by sulphur atom. In thiourea two amino groups attached with sp² hybridized thionyl carbon atom. Also, thiourea is an organosulphur compound, which differs in properties from urea and is used as a reagent in the organic synthesis reaction. Thiourea and its derivatives are highly water soluble, biodegradable, low toxic and cost effective. Due to these unique properties these are applied extensively as corrosion inhibitors towards metals and alloys mitigation in corrosive medium. These organic compounds contain various heteroatom's those are electron rich in the form of non-bonded electron pairs and can donate these electrons easily to the vacant orbitals of metal orbitals. Due to the strong interaction these organic molecules adsorb on metal surface and form protective layer. Huong and coworkers (2019) reported experimental analysis reveals the percentage inhibition efficiency of 98.96 and 92.65 for PTU and ITU respectively at 5×10^{-3} concentration. However, theoretical calculation also well supported the experimental findings. Fig. 15 demonstrated the frontier molecular orbitals that is highest occupied molecular orbital (HOMO) and lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) of both PTU and

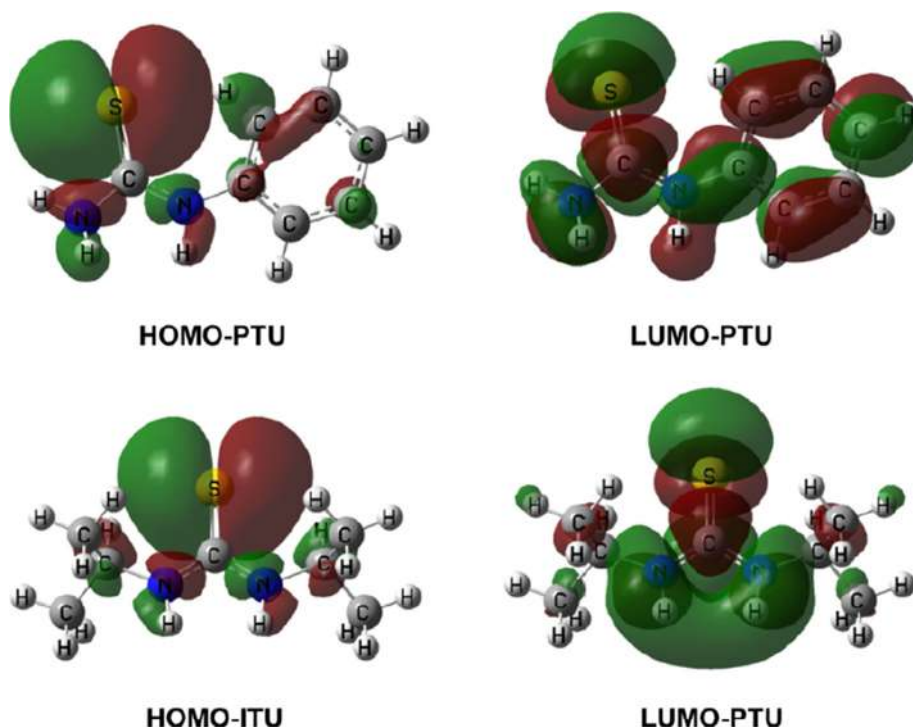


Fig. 15. HOMO and the LUMO of PTU and ITU inhibitor molecules. Republished from ref. [193] with permission from ACS.

Table 4

Chemical structure, metal, electrolyte, methods applied and key outcomes of thiourea and derivatives applied as corrosion inhibitors for metal and alloys.

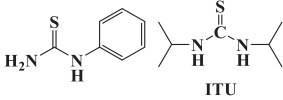
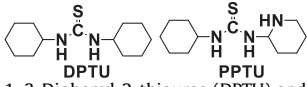
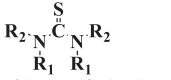
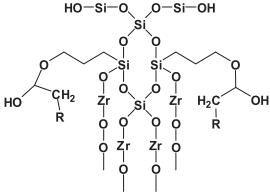
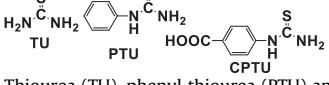
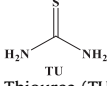
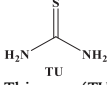
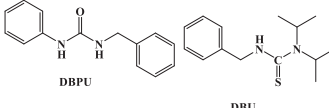
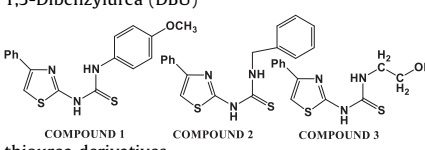
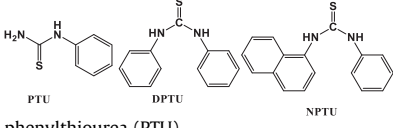
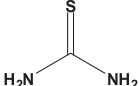
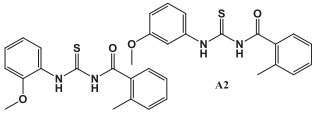
S. N.	Chemical structure	Metal & electrolyte	Methods applied	Ref.
1.	 PTU 1-phenyl-2-thiourea (PTU) and 1,3-diisopropyl-2-thiourea (ITU)	MS/ 1 M HCl	EIS, DFT, MCS, WL	[193]
2.	 DPTU PPTU 1,3-Diphenyl-2-thiourea (DPTU) and 1-phenyl-3-(2-pyridyl)-2-thiourea (PPTU)	CS/ 1 M HCl	WL, PDP, EIS, SEM, DFT, MCS	[194]
3.	 Thiourea derivatives	Al/ 1 M HCl	DFT, PDP, EIS	[195]
4.		Al/ 3.5 wt% NaCl	FTIR, SEM, EDX, EIS, PDP	[196]
5.	 TU PTU CPTU Thiourea (TU), phenyl thiourea (PTU) and 4-carboxy phenyl thiourea (CPTU)	Al/0.3–1.0 M NaOH	WL	[197]
6.	 TU Thiourea (TU)	INGOT IRON/ 0.1 M H ₂ SO ₄ + 0.25 M Na ₂ SO ₄	EIS, PDP, WL	[198]
7.	 TU Thiourea (TU)	Cu/0.1–1.0 M NaCl	EIS, PDP	[199]
8.	 DBPU DBU 1-Benzyl-3-diisopropylthiourea (DPTU) and 1,3-Dibenzylurea (DBU)	MS/ 1 Mol L ⁻¹ HCl	PDP, EIS, SEM, DFT	[200]
9.	 COMPOUND 1 COMPOUND 2 COMPOUND 3 thiourea derivatives	CS/ 1 M HCl	WL, PDP, EIS, SEM, EDS, DFT	[201]
10.	 PTU DPTU NPTU phenylthiourea (PTU), N, N'-diphenylthiourea (DPTU) and N-naphthyl N'-phenylthiourea (NPTU)	CRS/ 1 M HClO ₄	PDP, EIS, WL	[202]
11.	 TU Thiourea (TU)	Al/ 0.5 M H ₂ SO ₄	EIS, PDP, WL	[203]

Table 4 (continued)

S. N.	Chemical structure	Metal & electrolyte	Methods applied	Ref.
12.	 N-(2-methoxyphenyl)-N'-(2-methylbenzoyl) thiourea (A1) and N-(3-methoxyphenyl)-N'-(2-methylbenzoyl) thiourea (A2)	MS/1 M H ₂ SO ₄	WL, LPR, FTIR, PDP	[204]
13.	Flower like Hierarchical TU located Ti-PVAnano composites	MS/1 M HCl	FTIR, FESEM, EDX,XRD, UV visible, AFM, XRD	[205]

ITU derivatives. It is clear from the HOMO and LUMO graphs (Fig. 15) of studied molecules that HOMO is more localized towards more electron rich moieties and LUMO localized towards electron deficient moieties respectively. [193].

Also among DPTO and PPTU, PPTO exhibited most prominent corrosion inhibitors towards CS corrosion in aggressive media. They exhibited adsorption energy of -509 kJ mol^{-1} and -535 kJ mol^{-1} respectively according to MC simulation [194]. Different substituent containing thiourea derivatives applied as corrosion inhibitor on aluminum surface and revealed the good protective property of studied inhibitors as suggested by both theoretical and experimental analysis. Among studied compounds DPTU exhibited 89.6% inhibition efficiency at its optimum concentration [195]. Hybrids nano composite and thiourea derivatives prevents aluminum corrosion in 35% NaCl corrosive solution suggested by FTIR, EIS, SEM and DPP analysis [196]. Three thiourea derivative namely TU, PTU and CPTU showing their excellent anticorrosion properties towards aluminum corrosion in different concentration of base corrosive solution of NaOH [197]. Corrosion on nano crystallized ingot iron surface prevented by applying thiourea as corrosion inhibitor in 1.0 M H₂SO₄ + 0.25 M Na₂SO₄ sulphate containing aggressive solution. EIS, PDP and WL techniques applied in order to prove the inhibitory behavior of thiourea [198]. Self assembled monolayers of allyl thiourea protect the copper surface from the further attack of chloride ions and exhibited excellent protection mechanism on copper surface corrosion [199]. The anticorrosion behavior of 1-benzyl-3-diisopropyl thio urea (DPTO) 1,3-dibenzyl thio urea (DBTO) investigated by using EIS, PDP, WL, SEM and DFT analysis. Among thiourea derivative DBTO shows 90% inhibition efficiency at $2 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ concentration [200]. Thiozol heterocyclic ring containing thiourea derivative exhibited %IE of 98.7%, 92.8 and 85.1 for compound 1–3 respectively according to PDP analysis [201]. Heteroatom containing three thiourea derivative namely PTU, DPTU and NPTU applied as corrosion inhibitor for (R) in 1 M HClO₄ in which NPTU exhibited 98.2% at $25 \times 10^{-4} \text{ M}$ concentration [202]. This investigation revealed the anticorrosion properties of thiourea towards aluminum corrosion in 0.5 M H₂SO₄ medium in which weight loss measurement suggested that it follows the Langmuir adsorption and 72.7 % inhibition efficiency [203]. Among four 2-methylbenzoyl thiourea derivatives, A1 exhibited highest percentage inhibition efficiency of 82.4 % at 1×10^{-3} concentration as per weight loss analysis [204]. Flower like Hierarchical thiourea located titanium PVA nano composites used as corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl in which FTIR, FESEM, EDX, UV visible, AFM and XRD techniques used extensively [205]. Additionally chemical structure, metal, electrolyte, methods applied and key outcomes of urea and derivatives applied as corrosion inhibitors for metal and alloys summarized in Table 4.

4. Conclusion and outlook

Organic compounds are the most effective corrosion inhibitors for steel alloys. They become effective through forming a hydrophobic film on the metal surface that avoid the attacks of corrosive species present in the surrounding. Adsorption behavior and effectiveness of these compounds depend upon various factors including temperature, nature of metal and electrolyte and on their chemical structures. These compounds act as mixed and interface-type corrosion inhibitors. Their adsorption mostly followed the Langmuir adsorption isotherm model. Adsorption methods of corrosion protection using these compounds mostly reinforced using SEM, AFM, EDX, XPS, XRD, UV-vis, FT-IR etc. methods. These compounds mostly derive through chemical syntheses which are connected with various disadvantages including toxicity and uneconomical nature. Most of the traditional organic corrosion inhibitors are toxic and expensive in nature because of their multistep synthesis using expensive chemicals. Therefore, use of organic compounds derived from natural resources such as amino acids and carbohydrates as corrosion inhibitors should be explored. More so, use of organic compounds derived through environmentally sustainable synthetic practices including one step multicomponent reactions (MCRs), mechanochemical mixing, etc. especially using energy efficient microwave (MW) and ultrasound (US) heatings should also be explored over the traditional organic corrosion inhibitors. Compounds synthesized in green solvents such as in water, super critical CO₂ and ionic liquids should also be explored.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

- [1] M.G. Fontana, Corrosion engineering, Tata McGraw-Hill Education, 2005.
- [2] H.F. Crombag, W.A. Wagenaar, P.J. Van Koppen, Appl. Cog. Psychol. 10 (1996) 95–104.
- [3] D.R. Varma, I. Guest, J. Toxicol. Environ. Health, Part A Curr. Issues 40 (1993) 513–529.
- [4] Z.C. Petrović, Vojnotehnički glasnik 64 (2016) 1048–1064.
- [5] R.W. Revie, Uhlig's corrosion handbook, John Wiley & Sons, 2011.
- [6] National Bureau of Standards Special Publication, Washington, DC, 1978.
- [7] Material Performance, 2002.
- [8] J.E. Jackson.
- [9] C. Jirungsatien, A. Prateepasen, Corros. Sci. 52 (2010) 187–197.
- [10] C. Jomdecha, A. Prateepasen, P. Kaewtrakulpong, NDT and E Int. 40 (2007) 584–593.
- [11] V. Guillaumin, G. Mankowski, Corros. Sci. 41 (1998) 421–438.

- [12] A.P.S.a.H.k. Devesh P. Kansara¹, R. Patel IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) 13 (2018) 85-93
- [13] U. Bertocci, NACE, Corrosion, 89, paper no. 24 (Apr. 1989).
- [14] J. Galvele, S. de De Micheli, Corros. Sci. 10 (1970) 795-807.
- [15] P. Singh, M. Quraishi, Measurement 86 (2016) 114-124.
- [16] A.S. Cushman, Proc. Am. Soc. Testing materials 7 (1907) 211.
- [17] W.R. Whitney, J. Am. Chem. Soc. 25 (1903) 394-406.
- [18] L.S.V. Delinder, in: Houston, NACE, TX, 1984.
- [19] Nace, International Basic Corrosion Course Handbook Houston, NACE, TX, 2000.
- [20] A.S.a.S.F. (Jr), (2014).
- [21] C.J. Cramer, Essentials of Computational Chemistry, Second ed., John Wiley & Sons Ltd, England, 2004.
- [22] F. Jensen, Introduction to Computational Chemistry, John Wiley and Sons Ltd., West Sussex, 2007.
- [23] W. Heitler, F. London, Zeitschrift für Physik 44 (1927) 455-472.
- [24] C.A. Coulson, Valence, Second ed., Oxford University Press, London, 1961.
- [25] G.N. Lewis, J. Am. Chem. Soc. 38 (1916) 762-785.
- [26] H.B. Gray, Electrons and Chemical Bonding, INC, New York, 1965.
- [27] F. Hund, Zeitschrift für Physik 42 (1927) 93-120.
- [28] F. Hund, Zeitschrift für Physik 51 (1928) 759-795.
- [29] R.S. Mulliken, Phys. Rev. 32 (1928) 186-222.
- [30] R.S. Mulliken, Phys. Rev. 32 (1928) 761-772.
- [31] R.S. Mulliken, Phys. Rev. 33 (1929) 730-747.
- [32] R.S. Mulliken, Chem. Rev. 9 (1931) 347-388.
- [33] R.S. Mulliken, Phys. Rev. 40 (1932) 55-62.
- [34] R.S. Mulliken, Phys. Rev. 41 (1932) 49-71.
- [35] J.C. Slater, Phys. Rev. 34 (1929) 1293-1322.
- [36] J.C. Slater, Phys. Rev. 35 (1930) 210-211.
- [37] J.E. Lennard-Jones, Trans. Faraday Soc. 25 (1929) 668-686.
- [38] C.A. Coulson, in, (1938), pp. 204-212.
- [39] G. Hall, Proc. R. Soc. Lond. A 202 (1950) 336-344.
- [40] A.J.H.J.N. Murrell, Semi-Empirical self-consistent-field molecular orbital theory of molecules, John Wiley and Sons Ltd., West Sussex, 1972.
- [41] B.T.S.S.J. Smith, Rev. Comput. Chem. (1997).
- [42] C.C.J. Roothaan, Rev. Mod. Phys. 23 (1951) 69.
- [43] E.F.J. Foresman, Exploring Chemistry with Electronic Structure Methods, Second ed., Gaussian Inc, Pittsburgh, USA, 1996.
- [44] D.A. McQuarrie, Quantum Chemistry, Oxford University Press, California, 1983.
- [45] P. Hohenberg, W. Kohn, Phys. Rev. 136 (1964) B864-B871.
- [46] W. Kohn, L.J. Sham, Phys. Rev. 140 (1965) A1133-A1138.
- [47] W.Y.R.G. Parr, Density-functional theory of atoms and molecules, Oxford Univ. Press, Oxford, 1989.
- [48] R.E. Stratmann, J.C. Burant, G.E. Scuseria, M.J. Frisch, J. Chem. Phys. 106 (1997) 10175-10183.
- [49] J.A. Pople, P.M.W. Gill, B.G. Johnson, Chem. Phys. Lett. 199 (1992) 557-560.
- [50] J.P. Perdew, Y. Wang, Phys. Rev. B 45 (1992) 13244-13249.
- [51] P.M.W. Gill, B.G. Johnson, J.A. Pople, M.J. Frisch, Chem. Phys. Lett. 197 (1992) 499-505.
- [52] L.R.W.J. Hehre, P.V.R. Schleyer Pople, J. a., Ab Initio Molecular Orbital Theory, John Wiley and Sons Ltd., New York, 1986.
- [53] G.C.S.M.A. Ratner, Quantum Mechanics in Chemistry, Prentice- Hall Inc, New Jersey, 2001.
- [54] M.A.R.G.C. Schatz, Introduction to Quantum Mechanics in Chemistry, Dover Publications Inc, New York, 2002.
- [55] D.J. Griffiths, Introduction to Quantum Mechanics, Second ed., Pearson Education Inc, New Jersey, 2005.
- [56] T. Koopmans, Physica. 1 (1934) 104-113.
- [57] R.G. Parr, R.G. Pearson, J. Am. Chem. Soc. 105 (1983) 7512-7516.
- [58] R.G. Pearson, Proc. Natl. Acad. Sci. 83 (1986) 8440-8441.
- [59] I.N.a.S. Kaya, Conceptual Density Functional Theory and Its Application in the Chemical Domain, CRC Press, 2018
- [60] K. Fukui, Angew. Chem., Int. Ed. Engl. 21 (1982) 801-809.
- [61] R.G. Parr, W. Yang, J. Am. Chem. Soc. 106 (1984) 4049-4050.
- [62] J. Oller, P. Pérez, P.W. Ayers, E. Vöhringer-Martinez, Int. J. Quantum Chem. 118 (2018) e25706.
- [63] J.L. Gázquez, A. Cedillo, A. Vela, J. Phys. Chem. A 111 (2007) 1966-1970.
- [64] R.G. Pearson, Inorg. Chem. 27 (1988) 734-740.
- [65] R.G. Pearson, J. Mol. Struct. (Thoechem) 255 (1992) 261-270.
- [66] M. El Faydy, R. Touir, M. Ebn Touhami, A. Zarrouk, C. Jama, B. Lakhri, L.O. Olasunkanmi, E.E. Ebenso, F. Bentiss, PCCP 20 (2018) 20167-20187.
- [67] B. Gómez, N.V. Likhonova, M.A. Domínguez-Aguilar, R. Martínez-Palou, A. Vela, J.L. Gázquez, J. Phys. Chem. B 110 (2006) 8928-8934.
- [68] S. Kolboe, J. Chem. Theory Comput. 10 (2014) 3123-3128.
- [69] G. Serdaroglu, J.V. Ortiz, Struct. Chem. 28 (2017) 957-964.
- [70] G. Serdaroglu, N. Uludağ, E. Ercag, P. Sugumar, P. Rajkumar, J. Mol. Liq. 330 (2021) 115651.
- [71] Y.S. Mary, Y.S. Mary, A.S. Rad, R. Yadav, I. Celik, S. Sarala, J. Mol. Liq. 330 (2021) 115652.
- [72] V.S. Kumar, Y.S. Mary, K. Pradhan, D. Brahman, Y.S. Mary, G. Serdaroglu, A.S. Rad, M.S. Roxy, Heliyon 6 (2020).
- [73] N. Şahin, G. Serdaroglu, S.D. Düşünceli, M.N. Tahir, C. Arıcı, İ. Özdemir, J. Coord. Chem. 72 (2019) 3258-3284.
- [74] J.M. Jacob, M.R.P. Kurup, K. Nisha, G. Serdaroglu, S. Kaya, Polyhedron 189 (2020) 114736.
- [75] N.A. Mangalam, M.R.P. Kurup, E. Suresh, S. Kaya, G. Serdaroglu, J. Mol. Struct. 1232 (2021) 129978.
- [76] M.E.G. Serdaroglu, Turkish Comput. Theor. Chem. 2 (1) (2018) 1-11.
- [77] G. Serdaroglu, N. Uludağ, Vib. Spectrosc. 111 (2020) 103156.
- [78] G. Serdaroglu, S. Kaya, R. Touir, J. Mol. Liq. 319 (2020) 114108.
- [79] M. Khnifra, W. Boumya, M. Abdennouri, M.h. Sadiq, M. Achak, G. Serdaroglu, S. Kaya, S. Şimşek, N. Barka, Int. J. Biol. Macromol. 166 (2021) 707-721.
- [80] H.E. M. Bouklah, Krim, G. Serdaroglu, B. Hammouti, A. Elidrissi, S. Kaya, I. Warad Arab, J. Chem. Environ. Res. , 07(2) (2017) 126-143
- [81] W. Boumya, M. Khnifra, A. Machrouhi, M. Abdennouri, M. Sadiq, M. Achak, G. Serdaroglu, S. Kaya, S. Şimşek, N. Barka, J. Mol. Liq. 331 (2021) 115706.
- [82] A.K. Singh, B. Chugh, M. Singh, S. Thakur, B. Pani, L. Guo, S. Kaya, G. Serdaroglu, J. Mol. Liq. 330 (2021) 115605.
- [83] R. Samiee, B. Ramezanzadeh, M. Mahdavian, E. Alibakhshi, J. Clean. Prod. 220 (2019) 340-356.
- [84] A. Peter, I. Obot, S.K. Sharma, Int. J. Indus. Chem. 6 (2015) 153-164.
- [85] R.M. Palou, O. Olivares-Xomelt, N.V. Likhonova, Develop. Corr. Protect. (2014) 431-465.
- [86] P.B. Raja, M. Ismail, S. Ghoreishiamiri, J. Mirza, M.C. Ismail, S. Kakooei, A.A. Rahim, Chem. Eng. Commun. 203 (2016) 1145-1156.
- [87] A.S. Yaro, A.A. Khadom, R.K. Wael, Alexand. Eng. J. 52 (2013) 129-135.
- [88] A.S. Yaro, A.A. Khadom, H.F. Ibraheem, Anti-Corros. Methods Mater. (2011).
- [89] K.H. Hassan, A.A. Khadom, N.H. Kurshed, S. Afr. J. Chem. Eng. 22 (2016) 1-5.
- [90] A.A. Khadom, A.N. Abd, N.A. Ahmed, S. Afr. J. Chem. Eng. 25 (2018) 13-21.
- [91] A. Khadom, K. Rashid, World J. Eng. (2018).
- [92] A.A. Khadom, S.A. Jassim, M.M. Kadhim, N.B. Ali, J. Mol. Liq. (2021) 117984.
- [93] A.A. Khadom, M.M. Kadhim, R.A. Aanae, H.B. Mahood, M.S. Mahdi, A.W. Salman, J. Mol. Liq. (2021) 116978.
- [94] L. Hamadi, S. Mansouri, K. Oulmi, A. Kareche, Egypt. J. Pet. 27 (2018) 1157-1165.
- [95] S.A. Umoren, M.M. Solomon, A. Madhankumar, I.B. Obot, Carbohydr. Polym. 230 (2020) 115466.
- [96] Y. Zhu, M.L. Free, R. Woollam, W. Durnie, Prog. Mater. Sci. 90 (2017) 159-223.
- [97] R. Aslam, M. Mobin, J. Aslam, A. Aslam, S. Zehra, S. Masroor, Adv. Colloid Interface Sci. (2021) 102481.
- [98] S.V. Lamaka, M.L. Zheludkevich, K. Yasakau, M. Montemor, M.G. Ferreira, Electrochim. Acta 52 (2007) 7231-7247.
- [99] F.M. Donahue, K. Nobe, J. Electrochem. Soc. 112 (1965) 886.
- [100] A. Khramov, N. Voevodin, V. Balyshev, M. Donley, Thin Solid Films 447 (2004) 549-557.
- [101] S.A. Umoren, U.M. Eduok, Carbohydr. Polym. 140 (2016) 314-341.
- [102] C. Verma, L.O. Olasunkanmi, E.E. Ebenso, M.A. Quraishi, I.B. Obot, J. Phys. Chem. C 120 (2016) 11598-11611.
- [103] M. Rbaa, M. Fardoui, C. Verma, A.S. Abousalem, M. Galai, E. Ebenso, T. Guedira, B. Lakhri, I. Warad, A. Zarrouk, Int. J. Biol. Macromol. 155 (2020) 645-655.
- [104] M. Antonijevic, M. Petrovic, Int. J. Electrochem. Sci 3 (2008) 1-28.
- [105] C. Verma, M. Quraishi, E.E. Ebenso, Surf. Interfaces (2020) 100634.
- [106] C. Verma, D.K. Verma, E.E. Ebenso, M.A. Quraishi, Heteroat. Chem. 29 (2018) e21437.
- [107] M.S. Shihab, H.H. Al-Doori, J. Mol. Struct. 1076 (2014) 658-663.
- [108] A. Kokalj, S. Peljhan, Langmuir 26 (2010) 14582-14593.
- [109] E. Stupnišek-Lisac, A. Gazivoda, M. Madžarac, Electrochim. Acta 47 (2002) 4189-4194.
- [110] S. Bilgic, N. Caliskan, J. Appl. Electrochem. 31 (2001) 79-83.
- [111] C. Verma, E. Ebenso, I. Bahadur, I. Obot, M. Quraishi, J. Mol. Liq. 212 (2015) 209-218.
- [112] C. Verma, M. Quraishi, A. Singh, J. Taiwan Inst. Chem. Eng. 58 (2016) 127-140.
- [113] D. Sukul, A. Pal, S.K. Saha, S. Satpati, U. Adhikari, P. Banerjee, PCCP 20 (2018) 6562-6574.
- [114] P.A. Vigato, S. Tamburini, Coord. Chem. Rev. 248 (2004) 1717-2128.
- [115] X.G. Yang, S.H. Chen, H.Y. Ma, Z.L. Quan, D.G. Li, Prog. Chem. 15 (2003) 123-128.
- [116] Z. Yang, P. Sun, Molbank 2006 (2006) M514.
- [117] W. Guo, M. Talha, Y. Lin, X. Kong, Colloids Surf. A 615 (2021) 126234.
- [118] L. Guo, R. Zhang, B. Tan, W. Li, H. Liu, S. Wu, J. Mol. Liq. 310 (2020) 113239.
- [119] E. Berdimurodov, A. Kholikov, K. Akbarov, L. Guo, A.M. Abdullah, M. Elik, J. Mol. Liq. 328 (2021) 115475.
- [120] A.A. Al-Amiry, A.A.H. Kadhum, A. Kadihum, A.B. Mohamad, C.K. How, S. Junaedi, Materials 7 (2014) 787-804.
- [121] A. Singh, K.R. Ansari, M.A. Quraishi, S. Kaya, L. Guo, J. Nat. Gas Sci. Eng. 83 (2020) 103547.
- [122] S. Satpati, A. Suhasaria, S. Ghosal, A. Saha, S. Dey, D. Sukul, J. Mol. Liq. 324 (2021) 115077.
- [123] L.H. Madkour, S.K. Elrobby, Int. J. Ind. Chem. 6 (2015) 165-184.
- [124] V. Rajeswari, D. Kesavan, M. Gopiraman, P. Viswanathamurthi, J. Surf. Deterg. 16 (2013) 571-580.
- [125] F. Ma, Int. J. Electrochem. Sci. 13 (2018) 235-249.
- [126] A. Samide, B. Tutunaru, J. Environ. Sci. Health 46 (2011) 1713-1720.
- [127] L.S.D. Bđjegović, V. Ukrainczyk, B. Mikšić, Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, Sheffield, UK, 1994.
- [128] B. Elsener, in, Belfast, 2000.
- [129] B. Elsener, M. Buchler, F. Stalder, H. Bohni, Corrosion 55 (1999) 1155-1163.
- [130] T.A. Söylev, C. McNally, M. Richardson, Cem. Concr. Res. 37 (2007) 972-977.
- [131] H. Jamil, A. Shrir, R. Boulic, C. Bastos, M. Montemor, M. Ferreira, Electrochim. Acta 49 (2004) 2753-2760.

- [132] H. Jamil, A. Shrirri, R. Boulif, M. Montemor, M. Ferreira, *Cem. Concr. Compos.* 27 (2005) 671–678.
- [133] J. Morlidge, D. Bigland, G. Sergi, S. Badger, in: *International Congress on Advanced Materials, their Processes and Applications*, Munich, 2000.
- [134] M. Hassoune, A. Bezzar, L. Sail, F. Ghomari, *J. Adhes. Sci. Technol.* (2020) 1–18.
- [135] R. Vedalakshmi, K. Rajagopal, N. Palaniswamy, *Corros. Eng., Sci. Technol.* 44 (2009) 20–31.
- [136] H.-S. Lee, H.-S. Ryu, W.-J. Park, M.A. Ismail, *Materials* 8 (2015) 251–269.
- [137] G. Gao, C. Liang, *Electrochim. Acta* 52 (2007) 4554–4559.
- [138] B.M. Askew, *British J. Pharmacol. Chemother.* 12 (1957) 340–343.
- [139] J. Wills, A. Kunkel, R. Brown, G. Groblewski, *Science* 125 (1957) 743–744.
- [140] G. Kubitzki, G. Kinet, *Corros. Sci.* 40 (1998) 1469–1477.
- [141] X. Li, S. Deng, X. Xie, *Corros. Sci.* 81 (2014) 162–175.
- [142] A. Senthilkumar, K. Tharini, M. Sethuraman, *J. Mater. Eng. Perform.* 20 (2011) 969–977.
- [143] A. Senthilkumar, K. Tharini, M. Sethuraman, *Acta Phys. Chim. Sin.* 28 (2012) 399–406.
- [144] N. Saini, R. Kumar, P. Pahuja, R. Malik, R. Malik, S. Singhal, S. Lata, *Portugaliae Electrochim. Acta* 38 (2020) 43–58.
- [145] C. Varghese, K. Thomas, V. Raphael, K. Shaju, *Curr. Chem. Lett.* 8 (2019) 1–12.
- [146] G. Achary, Y.A. Naik, *J. Chem.* 2013 (2013).
- [147] L. Guo, S. Zhu, S. Zhang, Q. He, W. Li, *Corros. Sci.* 87 (2014) 366–375.
- [148] F. Martínez, C.M. Ávila, A. Gómez, J. Braz. Chem. Soc. 14 (2003) 803–808.
- [149] N. Anand, *Sulfonamides and Sulfones*, in: J.W. Corcoran, F.E. Hahn, J.F. Snell, K.L. Arora (Eds.), *Mechanism of Action of Antimicrobial and Antitumor Agents*, Springer, Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1975, pp. 668–698.
- [150] I. Obot, E. Ebenso, I. Akpan, Z. Gasem, A.S. Afolabi, *Int. J. Electrochem. Sci.* 7 (2012) 1978–1996.
- [151] E.S.H. El Ashry, A. El Nemr, S.A. Esawy, S. Ragab, *Electrochim. Acta* 51 (2006) 3957–3968.
- [152] J. Vosta, J. Eliasek, *Corros. Sci.* 11 (1971) 223–229.
- [153] A. Yurt, S. Ulutas, H. Dal, *Appl. Surf. Sci.* 253 (2006) 919–925.
- [154] Y. Xiao-Ci, Z. Hong, L. Ming-Dao, R. Hong-Xuan, Y. Lu-An, *Corros. Sci.* 42 (2000) 645–653.
- [155] G. Bereket, E. Hür, C. Ögretir, *J. Mol. Struct. (Thoechem)* 578 (2002) 79–88.
- [156] C. Ögretir, B. Mihci, G. Bereket, *J. Mol. Struct. (Thoechem)* 488 (1999) 223–231.
- [157] F. Bentiss, M. Lebrini, M. Lagrenée, *Corros. Sci.* 47 (2005) 2915–2931.
- [158] R.M. Issa, M.K. Awad, F.M. Atlam, *Appl. Surf. Sci.* 255 (2008) 2433–2441.
- [159] J. Fang, J. Li, *J. Mol. Struct. (Thoechem)* 593 (2002) 179–185.
- [160] F. Kandemirli, S. Sagdinç, *Corros. Sci.* 49 (2007) 2118–2130.
- [161] H. Ma, S. Chen, Z. Liu, Y. Sun, *J. Mol. Struct. (Thoechem)* 774 (2006) 19–22.
- [162] A. Yurt, G. Bereket, C. Ögretir, *J. Mol. Struct. (Thoechem)* 725 (2005) 215–221.
- [163] T. Arslan, F. Kandemirli, E.E. Ebenso, I. Love, H. Alemu, *Corros. Sci.* 51 (2009) 35–47.
- [164] H.R. Obayes, A.A. Al-Amieri, G.H. Alwan, T.A. Abdullah, A.A.H. Kadhum, A.B. Mohamad, *J. Mol. Struct.* 1138 (2017) 27–34.
- [165] E.E. Ebenso, T. Arslan, F. Kandemirli, I. Love, C.I. Ögretir, M. Saracoğlu, S.A. Umoren, *Int. J. Quantum Chem.* 110 (2010) 2614–2636.
- [166] A. Samide, B. Tutunaru, C. Negri, I. Prunaru, *Spectrosc. Lett.* 45 (2012) 55–64.
- [167] L.C. Murulana, M.M. Kabanda, E.E. Ebenso, *RSC Adv.* 5 (2015) 28743–28761.
- [168] A. Samide, I. Bibicu, E. Turcanu, *Rev. Chim.* 60 (2009) 564–567.
- [169] S. Zor, S. Sagdinç, *Prot. Met. Phys. Chem* 50 (2014) 244–253.
- [170] L.C. Murulana, M.M. Kabanda, E.E. Ebenso, *J. Mol. Liq.* 215 (2016) 763–779.
- [171] H.K. Sappani, S. Karthikeyan, *Ind. Eng. Chem. Res.* 53 (2014) 3415–3425.
- [172] H.A. Favre, W.H. Powell, *Nomenclature of organic chemistry: IUPAC recommendations and preferred names 2013*, Royal Society of Chemistry, 2013.
- [173] M.R. Maddani, K.R. Prabhu, *J. Org. Chem.* 75 (2010) 2327–2332.
- [174] M. Koketsu, C. Kobayashi, H. Ishihara, *Heteroatom Chem.: Int. J. Main Group Elements* 14 (2003) 374–378.
- [175] J. Meesen, in: *Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, KGaA, Weinheim*, 2012.
- [176] S. Sun, J.-Y. Zhou, W. Yang, H. Zhang, *Anal. Biochem.* 446 (2014) 76–81.
- [177] C. Kaneko, (1974).
- [178] D. Gupta, R. Soman, S. Dev, *Tetrahedron* 38 (1982) 3013–3018.
- [179] S. Siahgali, S. Ghammamy, *Asian J. Res. Chem.* 7 (2014) 62–66.
- [180] G.B. Kauffman, *Polyhedron* 2 (1983) 855–863.
- [181] M. Prabhakaran, S.-H. Kim, N. Mugila, V. Hemapriya, K. Parameswari, S. Chitra, I.-M. Chung, *J. Ind. Eng. Chem.* 52 (2017) 235–242.
- [182] G. Liu, M. Xue, H. Yang, *Desalination* 419 (2017) 133–140.
- [183] H. Zheng, Y. Shao, Y. Wang, G. Meng, B. Liu, *Corros. Sci.* 123 (2017) 267–277.
- [184] S. Deng, X. Li, X. Xie, *Corros. Sci.* 80 (2014) 276–289.
- [185] M.E. Elshakre, H.H. Alalawy, M.I. Awad, B.E. El-Anadoul, *Corros. Sci.* 124 (2017) 121–130.
- [186] H. Zheng, M. Guo, Y. Shao, Y. Wang, B. Liu, G. Meng, *Corros. Sci.* 139 (2018) 1–12.
- [187] M. Jeeva, G.V. Prabhu, M.S. Boobalan, C.M. Rajesh, *J. Phys. Chem. C* 119 (2015) 22025–22043.
- [188] M. Lebrini, F. Bentiss, N.-E. Chihib, C. Jama, J.P. Hornez, M. Lagrenée, *Corros. Sci.* 50 (2008) 2914–2918.
- [189] D.-Q. Zhang, L.-X. Gao, G.-D. Zhou, *Surf. Coat. Technol.* 204 (2010) 1646–1650.
- [190] B.M. Mistry, N.S. Patel, M.J. Patel, S. Jauhari, *Res. Chem. Intermed.* 37 (2011) 659–671.
- [191] B. Padmashree, K. Manjunatha, B. Prasanna, *J. Fail. Anal. Prev.* 20 (2020) 226–234.
- [192] A. Teimouri, N. Soltani, A.N. Chermahini, *Front. Chem. Sci. Eng.* 5 (2011) 43–50.
- [193] D. Quy Huong, T. Duong, P.C. Nam, *ACS Omega* 4 (2019) 14478–14489.
- [194] D.Q. Huong, N.T. Lan Huong, T.T. Anh Nguyet, T. Duong, D. Tuan, N.M. Thong, P.C. Nam, *ACS Omega* 5 (2020) 27655–27666.
- [195] N. Weder, R. Alberto, R. Koitz, *J. Phys. Chem. C* 120 (2016) 1770–1777.
- [196] J. Balaji, M. Sethuraman, *Prog. Org. Coat.* 99 (2016) 463–473.
- [197] S. Edrah, S. Hasan, *J. Appl. Sci. Res.* 6 (2010) 1045–1049.
- [198] C. Shen, D. Han, Z. Ding, *Mater. Chem. Phys.* 109 (2008) 417–421.
- [199] L. Tang, F. Wang, *Corros. Sci.* 50 (2008) 1156–1160.
- [200] V. Torres, V. Rayol, M. Magalhães, G. Viana, L. Aguiar, S. Machado, H. Orofino, E. D'Elia, *Corros. Sci.* 79 (2014) 108–118.
- [201] A. Fouda, A. Soliman, *Prot. Met. Phys. Chem* 51 (2015) 847–860.
- [202] O. Benali, L. Larabi, Y. Harek, *J. Appl. Electrochem.* 39 (2009) 769–778.
- [203] M. Sistaninia, F.B. Ravari, A. Dadgarinezhad, *Prot. Met. Phys. Chem* 53 (2017) 950–955.
- [204] N.K.M. Kamal, A.H. Fadzil, K. Kassim, *Synthesis, Characterization and Corrosion Inhibition Studies of 2-Methylbenzoylthiourea Derivatives*, in: *ICGSCE 2014*, Springer, 2015, pp. 339–346.
- [205] P. Jaseela, A. Joseph, *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.* 28 (2018) 1468–1482.



Effective removal of uranium from aqueous solution by using cerium oxide nanoparticles derived from *citrus limon* peel extract

Komal Kashyap¹ · Fahmida Khan¹ · Dakeshwar Kumar Verma² · Sonalika Agrawal¹

Received: 1 September 2021 / Accepted: 26 November 2021
© Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungary 2022

Abstract

The current research focuses on the removal of uranium from biosynthesized CeO₂ nanoparticles. Cerium oxide nanoparticles have been synthesized by the green synthesis route, ammonium cerium nitrate as the prime precursor, and plant extract from *Citrus limon* was proposed to produce CeO₂NPs with spherical morphology and desired particle size. Prepared cerium oxide nanoparticles (CeO₂NPs) were characterized via various types of equipment, such as Fourier transform infrared spectroscopy, X-ray diffraction spectroscopy, Energy-dispersive X-ray spectroscopy, Scanning Electron Microscope, Ultraviolet–Visible Spectroscopy, High-resolution transmission electron microscopy, Raman Spectroscopy. Langmuir and Freundlich's adsorption isotherms are used to study and analyse the adsorption potential of cerium oxide nanoparticles, as well as the concentration of uranium, effects of contact time adsorbent, adsorbate dosage, and pH. The highest adsorption capacity of CeO₂ toward uranium (VI) is determined to be 46.2 mg g⁻¹, indicating a high efficiency for uranium(VI) ion removal.

Keywords Cerium oxide nanoparticles · Adsorption theorem · Removal of U(VI) · Green synthesis · Kinetic study

Introduction

Nuclear technology is an advanced technology in which nuclear energy has been used to generate electricity in nuclear power plants [1, 2]. Nuclear power plants use uranium as the main source. Radioactive waste is extremely toxic and carcinogenic due to the presence of U (VI) ions. Nearby sources of water have been contaminated with toxic U(VI) ions because of defective industry disposal methods [3]. As a result, removing U(VI) ions from polluted water sources seems to be critical not just for aquatic organisms but also for all living organisms.

Due to their unique properties and uses in a variety of areas, nanomaterials are currently being researched extensively for their specific properties and functions [4, 5].

Aviation and space, power generation, chemical manufacturing, building/construction industry, solar hydrogen, lasers, batteries, fuel cell, sensors, aeronautic industry, automobile engineering, consumer electronics, thermoelectric instruments, cosmetic industry, and pharmaceuticals are several good significant applications of nanomaterials [6]. As a result, nanoparticles are extremely effective at removing U(VI) [7].

There are several physical and chemical methods for the preparation of cerium oxide nanoparticles, as well as their applications in various fields. Hydrothermal method for CeO₂ synthesis is used in adsorption of organic dyes [8], flame spray pyrolysis method for photocatalytic activity [9], Sonochemical [10] microwave [11], sol–gel [12], co-precipitation method for removal of uranium [13] combustion synthesis method for supercapacitor performance [14]. However, most of the approaches are difficult, time-consuming, costly, and harmful. The Green chemistry methods to the formation of metal and metal oxide nanoparticles [15]. Plant-mediated green nanoparticles are especially important because they do not need any special machinery or harmful chemicals. As a result, it has no negative impact on the atmosphere [16]. Many green sources have been recorded for the preparation of cerium oxide nanoparticles such as Zamani et al. used walnut shell extract to make cerium

✉ Fahmida Khan
fkhan.chy@nitrr.ac.in

Komal Kashyap
kkashyap.phd2018.chy@nitrr.ac.in

¹ Department of Chemistry, National Institute of Technology Raipur, Raipur, Chhattisgarh 492010, India

² Department of Chemistry, Government Digvijay Autonomous College, Rajnandgaon, Chhattisgarh 491441, India

oxide nanoparticles for catalytic application [17], Sankar et al. using aqueous extract of *Centella asiatica* for preparation of cerium oxide nanoparticles which was applied in the determination of free radical scavenging activity [18]. Elahi et al. studied the photocatalytic activity of cerium oxide nanoparticles from *Salvia Macrosiphon Boiss* seeds extract [19]. Faleh et al. prepared ZnO-G and ZnO-C from *Nerium oleander* flower extract for adsorption and kinetic studies of radionuclides ^{140}La and ^{144}Ce [20]. A comparison of physical characterization of ZnO made by green and chemical process was studied by Khali et al. [21].

In the present research the cerium oxide nanoparticles derived from lemon peel extract in our sample have never been reported before, and thus represent a novel process for the preparation of cerium oxide nanoparticles that can be used to remove uranium from an aqueous solution.

Material and methods

Materials and reagents

The ammonium cerium nitrate, sodium hydroxide was purchased from Merck (Germany) which was applied without further purification. The lemon was collected from the local market of Raipur, Chhattisgarh. During the whole experiment, double-distilled water was used.

Preparation of lemon peel extracts

Citrus Limon peel cleaned with distilled water then dried under shade, then grounded into fine powder. For the preparation of lemon peel extract, 20 g of plant powder was taken in a round bottom flask then methanol and water

(9:1) were added and heated at 100 °C for 1 h with continuous stirring at 400 rpm in a digital spinot. Following that, the solution was filtered and preserved at a low temperature for further use.

Preparation of CeO_2NPs

In the present study, 100 ml lemon peel extract has been mixed with 5 g metal salt solution ($\text{NH}_4\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$ dissolved in 30 ml of distilled water) then the solution was constantly shaken at low temperature for 24 h and the colour of the solution becomes dark grey. Then, it was dried at 60 °C for 4 h in a hot air oven and calcinated for 2 h at 600 °C, a light-yellow powder obtained known as cerium oxide nanoparticles. The synthesis of CeO_2NPs using *citrus limon* peel extract is shown schematically in Fig. 1.

Characterization of ceria (CeO_2) NPs

Various instrumentation techniques like UV–vis, SEM, FTIR, TEM, and EDS were applied for the characterization of synthesized cerium oxide nanoparticles. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR, Agilent Technologies Cary 630) analysis was performed between the 4000–500 cm^{-1} range. Scanning Electron Microscope (SEM, 2EISS EVO series Scanning Electron Microscope Model EVO18) and Electron Dispersion X-Ray Spectroscopy (EDS) were applied for the analysis of nanoparticle surfaces and their elemental composition. X-ray Diffraction (XRD, PANalytical 3KWX'pert powder-multifunctional) analysis was performed between the angle range 10 to 80° using Cu $\text{K}\alpha$ radiation.

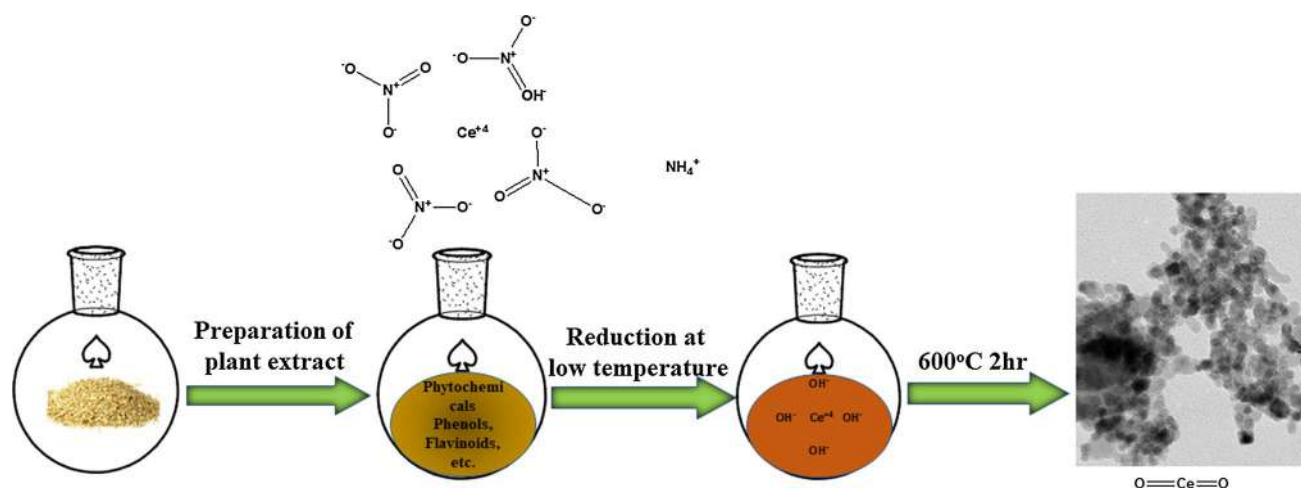


Fig. 1 Schematic diagram of green synthesis of CeO_2NPs using lemon peel extract

Batch experiments

A standard 0.1 mg/L stock solution of uranium has been prepared using the 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ standard uranium stock solution. Take 10 ml of the stock solution and add 0.003 g of prepared cerium oxide nanoparticles was added to different groups with different pH values and put on a rotating shaker. Filter the prepared solution through Whatmann filter paper 42, and the filtrate has been taken for the determination of the concentration of uranium ions left in the solution with the help of LED Flurimeter Quantalase LF-2a. Equation 1 is used to calculate the effectiveness of uranium elimination.

$$R = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \quad (1)$$

Among them, C_i (mgL^{-1}) and C_f (mgL^{-1}) show the initial value and final value of uranium ions concentration at equilibrium respectively. Equation 2 is used to calculate the amount of uranium ion adsorbed per unit mass of cerium oxide nanoparticles.

$$q_e = \frac{(C_i - C_f)V}{w} \quad (2)$$

where q_e is the adsorption capacity at equilibrium w (g) is the weight of the adsorbent, V is the volume of the adsorbent sample.

Result and discussion

UV-visible spectroscopy

Phytochemicals present in the plant extract would help for the reduction of metal salt to metallic nanoparticles, which is a possible reaction mechanism. Plant extract phytochemicals also serve as a stabilizing and capping agent in the formation of metallic nanoparticles [22]. This study is close to previous studies on CeO_2NPs biosynthesis using *Hibiscus sabdariffa* flower extract [23]. The CeO_2NPs are soluble in water, and the solution has been used to perform UV-vis experiments in the wavelength range between 200 and 600 nm shown in Fig. 2. The spectrum revealed a broad maximum absorption at 270 nm, which can be attributed to CeO_2NPs intrinsic band-gap absorption caused by electron transfers from the valence band to the conduction band. The absorption of charge transfer transitions from O 2p to Ce 4f in CeO_2 is responsible for the absorption of 270 nm [24].

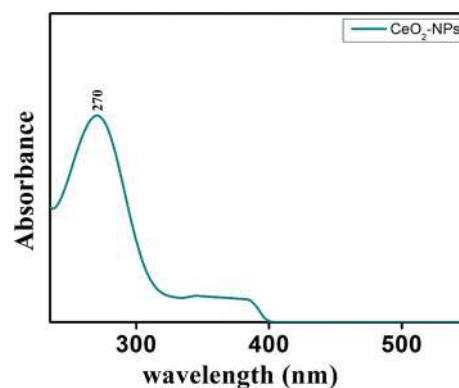


Fig. 2 UV-vis Spectrum of biosynthesized CeO_2NPs

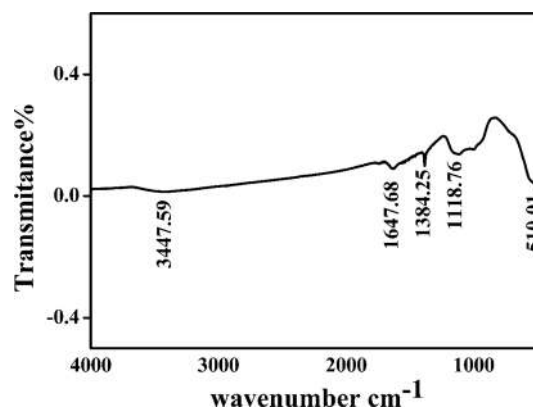


Fig. 3 FTIR spectrum of CeO_2NPs

FTIR spectrum

Figure 3 shows the FTIR spectrum of synthesized cerium oxide nanoparticles. The transmittance band were located at 3447.18 cm^{-1} , 1647.68 cm^{-1} , 1384.25 cm^{-1} , 1118.76 cm^{-1} and broad stretching band near 510.01 cm^{-1} . The intense around 3447.18 cm^{-1} and 1647.68 cm^{-1} corresponds to ν (O–H) stretching as well as bending vibrations of water molecule linked to CeO_2NPs respectively. A further 1048.84 cm^{-1} bond may contribute to the presence of organic residual material C–N stretching bend and a band at 510.01 cm^{-1} assign for cerium oxide stretching [25].

SEM and EDS

The scanning electron microscopy (SEM) has been used for studying the size distribution and particle composition of biosynthesized CeO_2 nanoparticles. Measurement of nanoparticle size and surface morphology is important for nanostructure-based applications. The presence of elemental cerium and the oxygen signal of cerium oxide nanoparticles

Fig. 4 a–c are the SEM images of CeO₂NPs and d EDS image of CeO₂

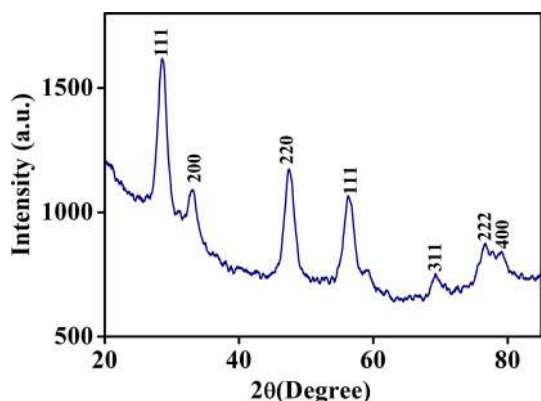
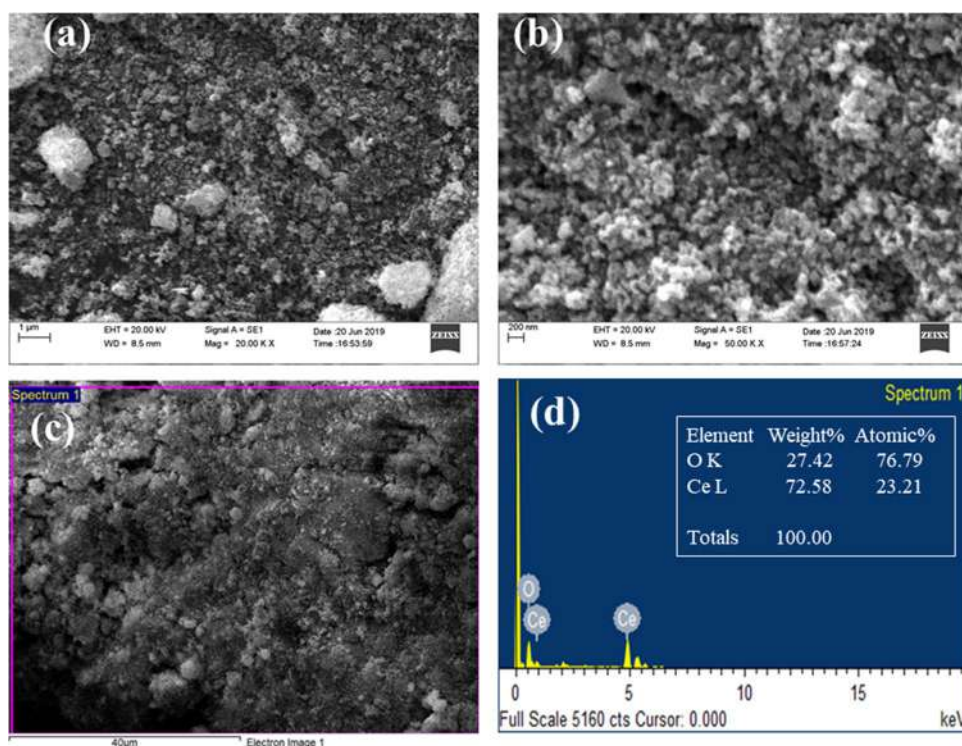


Fig. 5 XRD Peaks of CeO₂NPs

was confirmed using an energy dispersive X-ray (EDS) spectrometer. Figure 4a, b, and c show SEM analysis of cerium oxide nanoparticles and 4d the number of X-ray counts are shown on the vertical axis, while the energy is shown on the horizontal axis in KeV. The identification lines for cerium and oxygen major emission energies are shown in Fig. 4d, and these lines lead to peaks in the spectrum, indicating that cerium and oxygen have been correctly detected (Fig. 5).

XRD

The Powder XRD study of cerium oxide nanoparticles shows diffraction peaks at (111), (200), (220), (311), (222),

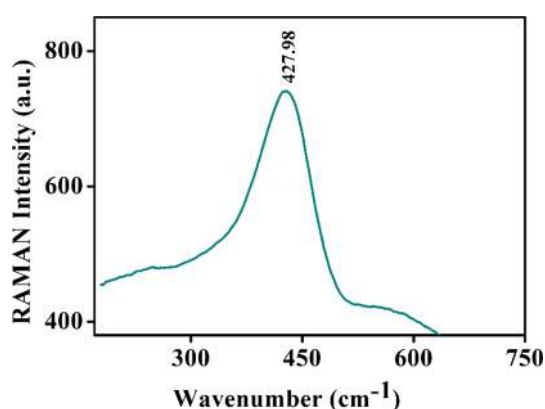
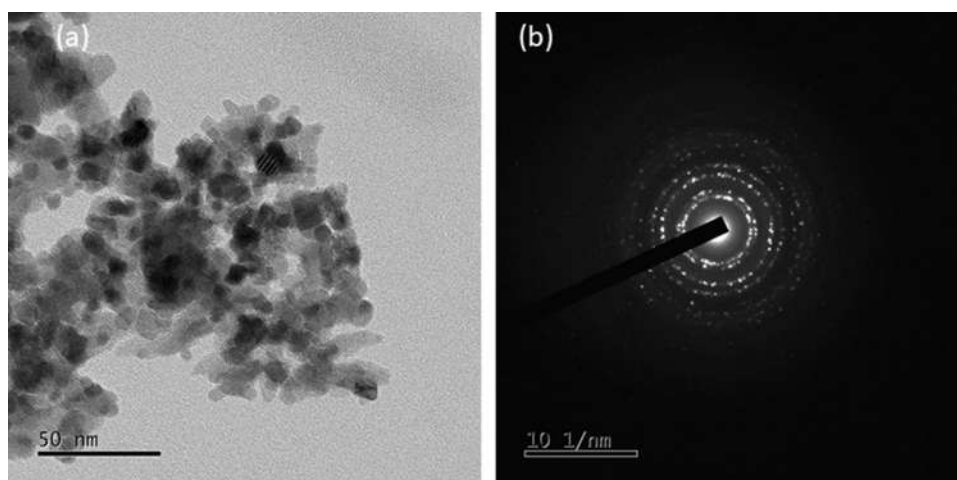
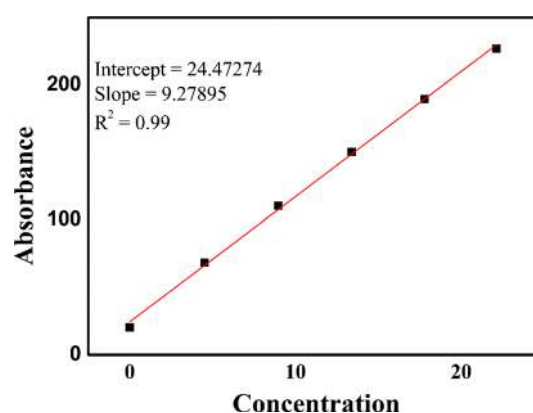
and (400) gives the confirmation of formation of cerium oxide nanoparticles with JCPDS File No # 34-0394 [19], which is related to cerium oxide with a face-centered cubic (fcc) crystal structure [25]. The average crystalline size of the cerium oxide nanoparticles derived from *Citrus Limon* peel extract was determined using Scherrer's equation.

$$D = 0.9\lambda / \beta \cos \theta \quad (3)$$

where λ denotes the wavelength of X-ray (1.54 Å), β denotes peak width at high maxima, and θ denotes Bragg's angle. The particle size of CeO₂ nanoparticles is calculated and found about 10 nm according to this equation, which matches well with the SEM result.

HR-TEM analysis

HR-TEM study gives a more detailed structural and compositional analysis. The particles are almost spherical, free from agglomeration, and the sample calcinated at 600 °C shows a clear image. HR-TEM results confirmed the scale and arrangement of the sample particles as well as the thickness between 3 and 20 nm which is shown in Figure 6. From HR-TEM images it is obvious that the particle size with a spherical structure is approximately 10 nm. The SEAD pattern (selected area electron diffraction pattern) shows well-defined spotty rings, indicating polycrystalline nanoparticles.

Fig. 6 **a** HR-TEM findings of CeO_2 NPs and **b** SEAD Pattern**Fig. 7** RAMAN Spectrum of CeO_2 NPs**Fig. 8** Specification curve of uranium

RAMAN analysis

RAMAN spectroscopy was used to characterize prepared cerium oxide nanoparticles. There was a solid, intense band at 418.94 cm^{-1} in the RAMAN spectrum confirming the cubic nature of cerium oxide nanoparticles, which has the symmetry of F_{2g} and can be seen around each cation as asymmetrical breathing mode of O atoms which is shown in Fig. 7. The mode of vibration is approximately independent of the mass of cation as only the O atoms shift [26]. The asymmetrical stretching mode of the CeO_2 is due to the RAMAN active mode.

Removal of uranium by CeO_2 nanoparticles

The standard stock solution of uranium was taken in an Erlenmeyer flask at different concentrations of uranium to study the removal of uranium from a water sample. Later cerium oxide nanoparticles were added to the uranium sample and allowed for adsorption in the rotatory shaker. All the

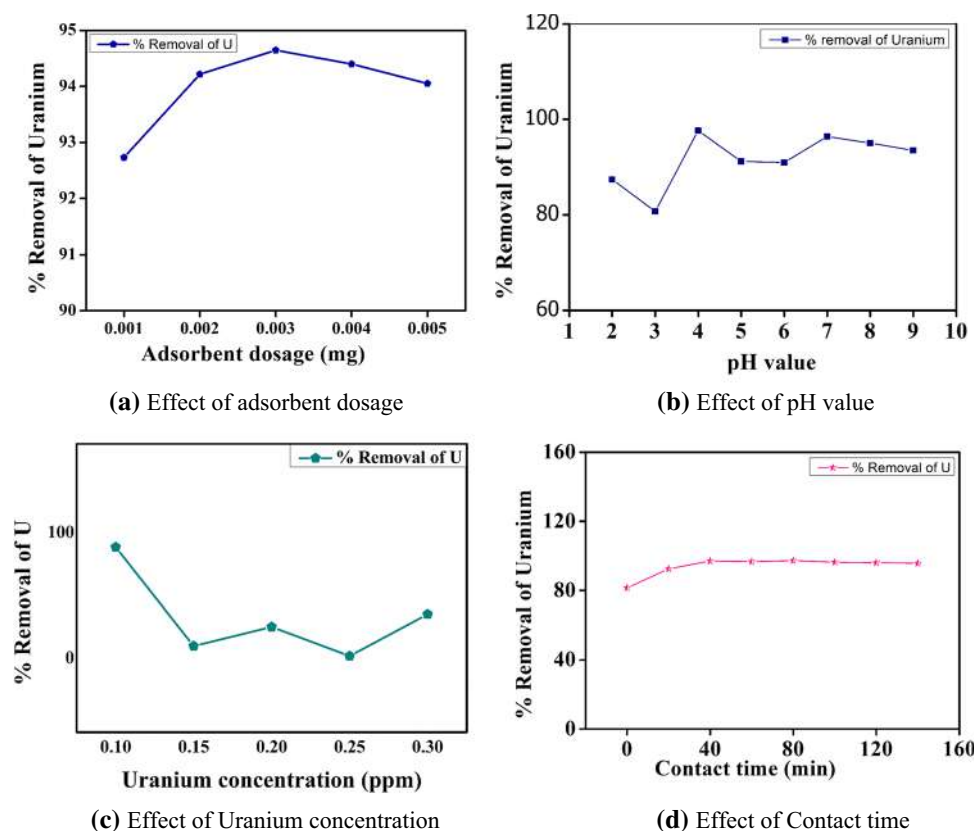
samples were then filtered using Whatmann filter paper no. 42, and the amount of uranium remaining after adsorption was evaluated using an LED Fluorimeter Quantalase LF-2a to calculate the maximum adsorption peaks.

5 mL of adsorbed water sample was placed in a cuvette, along with 0.5 mL tetrasodium pyrophosphate buffer to keep the pH constant. For each sample, the fluorescent count was determined, and the maximum adsorption was calculated using a calibration curve. Figure 8 indicate calibration curve or sprcification curve of uranium.

Effect of adsorbent dosage

Each adsorbent's dose activity was measured by using 0.001–0.007 mg CeO_2 nanoparticles in a 10 mL uranium water sample of 0.1 ppm (pH 4) and mixed constantly on the rotatory shaker for 60 min (Fig. 9a). The observation reveals that the adsorption capacity of uranium increases with the increase in cerium oxide adsorbent dosage showing its maximum adsorption capacity of 0.003 mg. Further, increasing the concentration of adsorbent dosage results in

Fig. 9 **a** Effect of adsorbent dosage. **b** Effect of pH value. **c** Effect of Uranium concentration. **d** Effect of Contact time



the declination of uranium ion adsorption. From the above mention data, we can conclude that cerium oxide nanoparticles at 0.003 mg dosage were effective for the uranium adsorption study from the water sample.

Effect of pH value

To examine the role of pH in the uranium adsorption by cerium oxide nanoparticles, 10 ml water samples containing 0.1 ppm Uranium were taken in an Erlenmeyer's flask, 0.003 mg cerium oxide nanoparticles were added to it and were agitated in a rotary shaker for 60 min. Uranium exists in various forms in different acidic environments, i.e. $[\text{UO}_2(\text{OH})]^+$, UO_2^{2+} , $[(\text{UO}_2)_3(\text{OH})_5]^+$ and $[(\text{UO}_2)_2(\text{OH})_2]^{2+}$ [27]. At pH 4 Uranium exists as UO_2^{2+} (in a solution along with $\text{UO}_2(\text{OH})_2$). with the increment of pH value ($\text{pH} > 4$) of the solution, uranium acquires different oxidation states in solution various types, and hence UO_2^{2+} or U(VI) adsorption reduces beside an increment in pH value [28]. Thus pH 4 is examined as appropriate for maximum uranium adsorption (Fig. 9b).

Effect of adsorbate concentration

To observe the effect of uranium enrichment on its adsorption, 10 ml of each water sample of a different concentration

of uranium (at pH 4) were taken from 0.1 to 0.30 ppm, and 0.003 mg of CeO_2 nanoparticles were added, which was shaken on a Rotary Shaker for 60 min. The percentage of uranium removal has been found to be maximum at 100 ppb followed by slightly decreases up to 0.30 ppm shown in Fig. 9c. The CeO_2 nanoparticle contains a maximum surface area in the case of 0.1 ppm as compared to other solutions (0.15 to 0.30 ppm) which show a decrease in uranium removal percentage with increasing uranium concentration. Thus, uranium elimination by percentage reduces with increase uranium concentration shown in Fig. 8c.

Effect of contact time

The significance of the contact time frame with successful uranium removal is examined via taking all the parameters constant with varying the adsorption time only. 10 ml Water samples of 0.1 ppm uranium (at $\text{pH} = 4$) were taken in Erlenmeyer's flask with 0.001 mg of CeO_2 nanoparticles and then stirred at different intervals of 0–160 min on a rotary shaker. It has been found that depending on the contact time, increase in the time interval 0 to 80 min most stable value is achieved for uranium removal from water sample solution and afterward with increasing time up till 80 to 160 min uranium removal tendency becomes constant. From Fig. 9d

it is shown that the maximum uranium removal appears to be occurring at an average reaching time of 80 min respectively.

Adsorption isotherm

The adsorption behaviour of nanoparticles has been analysed using isotherms Langmuir and Freundlich. Using these isotherms, it is possible to determine the relation between adsorbent concentration and adsorption capacity.

Langmuir adsorption isotherm

The Langmuir equation is written in the linear form shown below. The values of Q_0 and b , as well as their corresponding correlation coefficients, in the following equation provide relevant information regarding the Langmuir model constant [29].

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_0 b} + \frac{C_e}{Q_0} \quad (4)$$

The Langmuir plot of C_e/q_e versus C_e gives a linear line, as in Fig. 10a where the slope is $1/Q_0$ and the intercept $1/Q_0 b$ is used to evaluate the Q_0 and b values (Table 1). Another important non-dimensional equilibrium factor of Langmuir isothermic adsorption is expressed as a separate component, R_L . The aim of the R_L indicates whether positive or unfavourable in the formation of the Langmuir plot. If $R_L > 1$, the model is unfavourable, predictable ($R_L = 1$), favourable ($1 > R_L > 0$) and irreversible ($R_L = 0$). The R_L value is 0.2 which proves more desirable adsorption.

Freundlich adsorption isotherm

Multi-layer adsorption for the adsorbent surface has been determined by Freundlich isotherm adsorption. The isotherm is represented by the equation [30]

$$Q_e = K_f \times C_e^{1/n} \quad (5)$$

The logarithmic equation being:

$$\text{Log} q_e = \text{Log} K_f + \frac{1}{n} \times \frac{1}{2.303} \text{Log} C_e \quad (6)$$

where K_f represents the Freundlich constant regarding adsorption capacity and n indicates the adsorption intensity. A plot of Freundlich $\log q_e$ adsorption versus $\log C_e$ shown in Fig. 10b. This linear plot with slope $1/n$ and log intercept K_f as seen in the Table 1, used to calculate parameters n and K_f (Table 1). In both Freundlich ($R^2 = 0.99$) and Langmuir ($R^2 = 0.98$) isotherms, the maximum level of the Regression coefficient indicates that Freundlich adsorption isotherm model better represents uranium adsorption via cerium oxide nanoparticles. Cerium oxide nanoparticles (0.003 mg) show 96.63 percent adsorption capacity (Eq. 2) for uranium in a 0.1 ppm uranium solution (pH 4) for 80 min of contact period.

The average strength to adsorb uranium from nanoparticles (Q_0) is 7.19 mgg^{-1} (Table 1), with an amount of adsorbent of 0.003 gL^{-1} significantly greater than the previously mentioned method [31]. Use of uranium adsorption HAP microsphere ($q_e = 199 \text{ mgg}^{-1}$ with an adsorbent dose of 0.3 gL^{-1}). In my research paper, the overall uranium concentration from aqueous solution C_f ($3.37 \text{ } \mu\text{gL}^{-1}$) is generally

Fig. 10 **a** Langmuir adsorption isotherm. **b** Freundlich adsorption isotherm

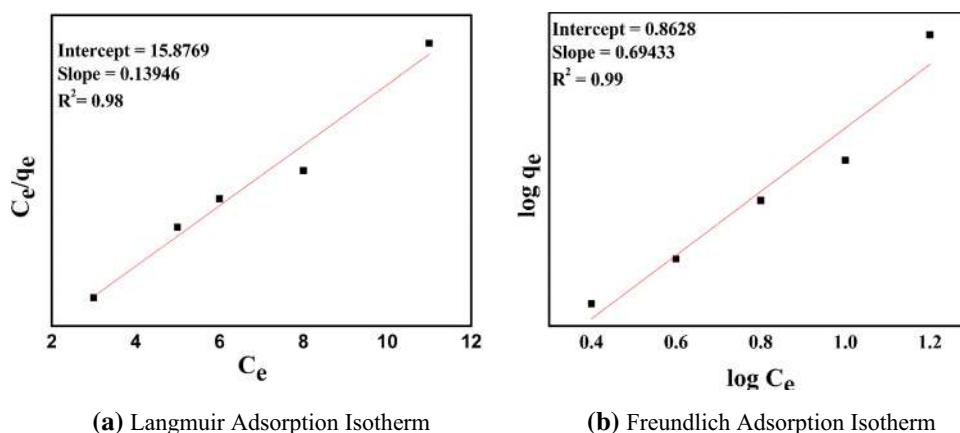


Table 1 Langmuir and Freundlich adsorption parameter for adsorption of uranium over CeO_2 nanoparticles

Ion	Langmuir				Freundlich		
	Q_0	B	R_L	R^2	N	K_f	R^2
U (VI)	7.19	0.45	0.234	0.98	1.44	7.24	0.99

lower than the permissible uranium concentration in standard EPA ($30 \mu\text{gL}^{-1}$) and WHO ($15 \mu\text{gL}^{-1}$) water supplies [28, 29].

Table 2 compares our experimental results with previously published adsorbents to indicate the usefulness of nanoparticles as a superior adsorbent for uranium removal. The biofabrication of the cerium oxide nanoparticles is low-cost and environmentally sustainable, and in the synthesis process components of phytoconstituents act as capping agents. The resulting cerium oxide nanoparticles can be efficiently used for the removal of uranium from different polluted water sources.

Mechanism of the adsorption

The proper investigation of the uranyl ion adsorption process over the surface of cerium oxide nanoparticles revealed that the pathway is dependent on the pH, and thus the mechanism of adsorption was slightly influenced by the electrostatic attraction of the charged nanoparticle surface more toward cationic and the neutral uranyl substances present at specified pH in aqueous solution [32, 33]. According to the experiments, the empirical results fitted well with the model of adsorption model of Langmuir, confirming the coverage of monolayer adsorbate onto the adsorbent. A kinetic curve is represented in Fig. 9b demonstrated rapid adsorption, followed by a substantial increase in percent adsorption and then a continuous increase until equilibrium was reached, and it was ascribed to two fundamental methods [34]. The reversible change in the oxidation state of cerium ions Ce (IV) to Ce (III), which results in neutral surface/subsurface oxygen vacancies in ceria, is a

well-known defect that increases with a particle size as well as the decreasing environment. [35]. This is verified by studies that demonstrate a rise in Ce (III) concentration with decreasing crystallite size. The substantial increase in adsorption over a short time interval resulted in uranyl ion adsorption into surface oxygen vacancies and diffusion into non-uniformly produced nanopores from within the ceria nanoparticles moiety [34, 36]. Figure 11 shows schematic representation of adsorption process.

Adsorption kinetics

The rate of adsorbate absorption by nanoparticles may be studied using kinetic models, and the correlation between experimental and theoretical data can be explained. Pseudo-first-order and pseudo-second-order kinetics are the two most commonly used models [37].

Pseudo-first-order kinetics

According to pseudo-first-order kinetics, the rate of adsorption site occupancy is directly proportional to the number of empty sites. [38] The adsorption kinetics of uranium over cerium oxide nanoparticles may be investigated using pseudo-first-order [39], which is represented by the equation below (7)

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K_1 t}{2.303} \quad (7)$$

where q_e and q_t (mg g^{-1}) represent the amount of lead absorbed by the CeO_2 nanoparticles at equilibrium and at a

Table 2 Maximum adsorption capacity of different adsorbents for uranium in aqueous solution

Adsorbent	pH	Time (min)	Dosage (g L^{-1})	Q_o (mg g^{-1})	References
Hematite	7	360	5	3.6	[41]
Olive stones/ ZnCl_2	6	5	4	57.80	[42]
Magnetic $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$	6	180	2.5	52	[43]
Anionic resin	3	–	1.9	79	[44]
Cerium oxide Nanoparticles	4	60	0.003	7.19	Our work

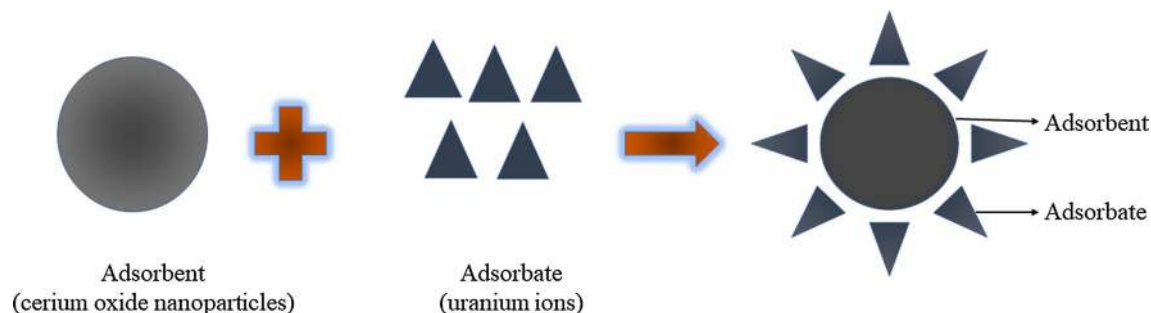


Fig. 11 Schematic diagram of adsorption mechanism

specific time. The pseudo-first-order rate constant is represented by K_1 (min^{-1}). A straight line with slope ($K_1/2.303$) and intercept are obtained by plotting $\log(q_e/q_t)$ and t . ($\log q_e$). Figure 12a represents pseudo first order model where the slope and intercept have been used to calculate the pseudo-first-order parameters, K_1 , and q_e (Table 3). The graph can also be used to determine the correlation coefficient (R^2). The values of R^2 and the variation in the values of q_e confirm that the pseudo-first-order kinetic model is ineffective for describing the rate of lead adsorption over CeO_2 nanoparticles.

Pseudo-second-order kinetics

Adsorption kinetics was further studied using pseudo-second-order kinetics [39, 40], as shown by Eq. (8):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (8)$$

K_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$) denotes the pseudo-second-order rate constant. A straight line with slope ($1/q_e$) and intercept ($1/(K_2 q_e^2)$) is obtained by plotting t/q_t and t . Figure 12b represent the pseudo-second-order model and their parameters K_2 and q_e , as well as the correlation coefficient, R^2 , are obtained from the intercept and slope, respectively (Table 3). The higher value of R^2 , indicating that the adsorption is pseudo-second-order. Furthermore, the great similarity between the actual and predicted values of q_e shows that the adsorption of uranium by cerium oxide nanoparticles follows a pseudo-second-order kinetics mechanism.

Conclusion

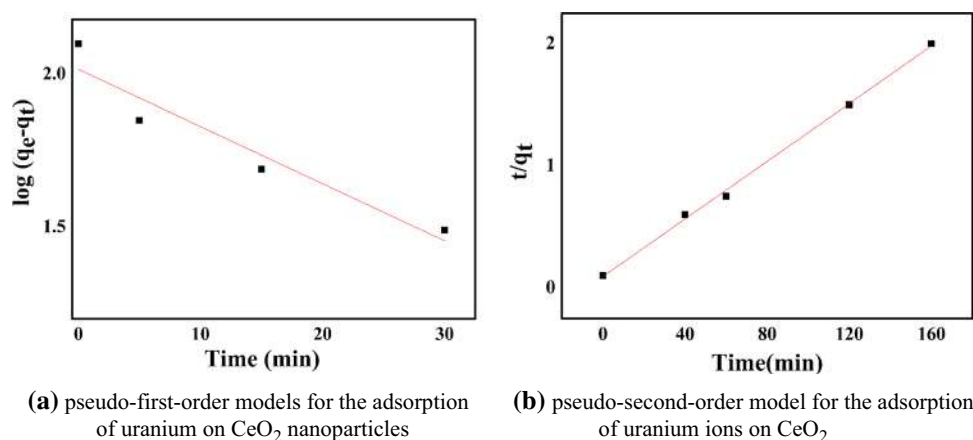
In the present work cerium oxide nanoparticles were successfully biosynthesized through to a simple, low cost, and the environmentally friendly green process by using *citrus*

Table 3 Kinetic models for the adsorption of uranium ions on cerium oxide nanoparticles

Pseudo-first-order			Pseudo-second-order		
q_e (mg/g)	k_1 (min^{-1})	R^2	q_e (mg/g)	k_2 (g/mg min)	R^2
7.5114	-0.00062	0.88	84.74	0.00151	0.99

Limon peel extract in a regular atmosphere without any specific physical condition. XRD and HR-TEM had elucidated the cubic fluorite structure of cerium oxide nanoparticles with a nanoscale range of 10 nm. FTIR data verified that chemicals belonging to the functional group of the bioactive compounds are responsible for bio-reducing behaviour for cerium oxide nanoparticles. At optimized pH 4 conditions, CeO_2 nanoparticles were cost-effective nano-adsorptive substances of uranium removal from water and uranium removal found to be 94–96 percent contact time 80 min, it is newly reported. This work has been compared with previously reported studies (Table 2) and it has been found that even very low dosage has given good results. Adsorption isotherms of $R_L = 0.234$ for isotherm of Langmuir and $R^2 = 0.99$ for isotherm of Freundlich often suggest that the isotherms are well matched to the experimental results. The outcomes of batch experiments agreed well with the pseudo-second-order kinetic model. As a result, the above-mentioned approach for uranium adsorption uses ceria nanoparticles found very effective in water purification against the radioactive element. These synthesized nanoparticles may also be applicable for other waste water treatments.

Fig. 12 **a** pseudo-first-order models for the adsorption of uranium on CeO_2 nanoparticles. **b** Pseudo-second-order model for the adsorption of uranium ions on CeO_2



Acknowledgements The authors would like to express sincere gratitude to the Director, National Institute of Technology Raipur for providing the library and research facilities. One of the authors Komal Kashyap gratefully acknowledges the CSIR-UGC with file number 09/1116(0007)/2018-EMR-I for providing fellowship and is thankful to the Department of Metallurgy, IIT Kharagpur for providing HR-TEM facility.

Declarations

Conflict of interest The authors state that there is no conflict of interest to disclose.

References

- Jiang P, Yu K, Yuan H, He R, Sun M, Tao F, Zhu W (2021) Encapsulating Ag nanoparticles into ZIF-8 as an efficient strategy to boost uranium photoreduction without sacrificial agents. *J Mater Chem A* 9(15):9809–9814
- Lam A, Hylar F, Stagg O, Morris K, Shaw S, Velázquez JM, Navrotsky A (2021) Synthesis and thermodynamics of uranium-incorporated α -Fe₂O₃ nanoparticles. *J Nucl Mater* 556:153172
- Sen K, Mishra D, Debnath P, Mondal A, Mondal NK (2021) Adsorption of uranium (VI) from groundwater by silicon containing biochar supported iron oxide nanoparticle. *Bio Tech Rep* 14:100659
- Kalita MPC, Deka K, Das J, Hazarika N, Dey P, Das R, Paul S, Sarmah T, Sarma BK (2012) X-ray diffraction line profile analysis of chemically synthesized lead sulphide nanocrystals. *Mater Lett* 87:84–86
- Ajitha B, Reddy YAK, Kim MJ, Jeon H-J, Ahn CW (2016) Superior catalytic activity of synthesized triangular silver nanoplates with optimized sizes and shapes. *Catal Sci Technol* 6:8289–8299
- Ali AS (2020) Application of nanomaterials in environmental improvement. In: *Nanotechnology and the environment*. Intech Open
- Nasrollahzadeh M, Zahraei A, Ehsani A, Khalaj M (2014) Synthesis, characterization, antibacterial and catalytic activity of a nanopolymer supported copper (II) complex as a highly active and recyclable catalyst for the formamidation of arylboronic acids under aerobic conditions. *RSC Adv* 4(39):20351–20357
- Mishra S, Soren S, Debnath AK, Aswal DK, Das N, Parhi P (2018) Rapid microwave–Hydrothermal synthesis of CeO₂ nanoparticles for simultaneous adsorption/photodegradation of organic dyes under visible light. *Optik* 169:125–136
- Chaneei D, Inceesungvorn B, Wetchakun N, Phanichphant S, Nakaruk A, Koshy P, Sorrell CC (2013) Photocatalytic activity under visible light of Fe-doped CeO₂ nanoparticles synthesized by flame spray pyrolysis. *Ceram Int* 39(3):3129–3134
- Yin L, Wang Y, Pang G, Koltypin Y, Gedanken A (2002) Sonochemical synthesis of cerium oxide nanoparticles—effect of additives and quantum size effect. *J Colloid Interface Sci* 246(1):78–84
- Shirke BS, Patil AA, Hankare PP, Garadkar KM (2011) Synthesis of cerium oxide nanoparticles by microwave technique using propylene glycol as a stabilizing agent. *J Mater Sci: Mater Electron* 22(2):200–203
- Kuncham K, Nair S, Durani S, Bose R (2017) Efficient removal of uranium (VI) from aqueous medium using ceria nanocrystals: an adsorption behavioural study. *J Radioanalytical Nucl Chem* 313(1):101–112
- Farahmandjou M, Zarinkamar M, Firoozabadi TP (2016) Synthesis of Cerium Oxide (CeO₂) nanoparticles using simple CO-precipitation method. *Revi mexicana de física* 62(5):496–499
- Prasanna K, Santhoshkumar P, Jo YN, Sivagami IN, Kang SH, Joe YC, Lee CW (2018) Highly porous CeO₂ nanostructures prepared via combustion synthesis for supercapacitor applications. *Appl Surf Sci* 449:454–460
- Arumugam A, Karthikeyan C, Hameed ASH, Gopinath K, Gowri S, Karthika V (2015) Synthesis of cerium oxide nanoparticles using *Gloriosa superba* L. leaf extract and their structural, optical and antibacterial properties. *Mater Sci Eng: C* 49:408–415
- Ali JA, Kolo K, Sajadi SM, Manshad AK, Stephen KD (2019) Green synthesis of ZnO/SiO₂ nanocomposite from pomegranate seed extract: coating by natural xanthan polymer and its characterisations. *Micro Nano Lett* 14:638–641
- Zamani A, Marjani AP, Alimoradlu K (2018) Walnut shell-templated ceria nanoparticles: green synthesis, characterization and catalytic application. *Int J Nanoscience* 17(06):1850008
- Sankar V, SalinRaj P, Athira R, Soumya RS, Raghu KG (2015) Cerium nanoparticles synthesized using aqueous extract of *Centella asiatica*: characterization, determination of free radical scavenging activity and evaluation of efficacy against cardiomyoblast hypertrophy. *RSC Adv* 5(27):21074–21083
- Elahi B, Mirzaee M, Darroudi M, Oskuee RK, Sadri K, Amiri MS (2019) Preparation of cerium oxide nanoparticles in *Salvia Macrosiphon Boiss* seeds extract and investigation of their photo-catalytic activities. *Ceram Int* 45(4):4790–4797
- Alqahtany FZ, Khalil M (2021) Adsorption of 140 La and 144 Ce radionuclides on ZnO nanoparticles: equilibrium and kinetics studies. *J Radioanal Nucl Chem* 327(1):91–104
- Khalil M, Alqahtany FZ (2020) Comparative studies of the synthesis and physical characterization of ZnO nanoparticles using nerium oleander flower extract and chemical methods. *J Inorganic Org Poly Mater*, 1–11
- Muthuvel A, Jothibas M, Mohana V, Manoharan C (2020) Green synthesis of cerium oxide nanoparticles using *Calotropis procera* flower extract and their photocatalytic degradation and antibacterial activity. *Inorg Chem Com* 119: 108086
- Thovhogi N, Diallo A, Gurib-Fakim A, Maaza M (2015) Nanoparticles green synthesis by *Hibiscus sabdariffa* flower extract: main physical properties. *J Alloys Compd* 647:392–396
- Darroudi M, Hakimi M, Sarani M, Oskuee RK, Zak AK, Gholami L (2013) Facile synthesis, characterization, and evaluation of neurotoxicity effect of cerium oxide nanoparticles. *Ceramics Int* 39(6):6917–6921
- Rahdar A, Aliahmad M, Samani M, HeidariMajd M, Susan MABH (2019) Synthesis and characterization of highly efficacious Fe-doped ceria nanoparticles for cytotoxic and antifungal activity. *Ceramics Int* 45(6):7950–7955
- Goharshadi EK, Samiee S, Nancarrow P (2011) Fabrication of cerium oxide nanoparticles: characterization and optical properties. *J Colloid Interface Sci* 356(2):473–480
- Parab H, Joshi S, Shenoy N, Verma R, Lali A, Sudersanan M (2005) Uranium removal from aqueous solution by coir pith: equilibrium and kinetic studies. *Bio Technol* 96(11):1241–1248
- Xiao-teng Z, Dong-mei J, Yi-qun X, Jun-chang C, Shuai H, Liangshu X (2019) Adsorption of Uranium (VI) from aqueous solution by modified rice stem. *J Chem* 2019:1–10
- Zare F, Ghaedi M, Daneshfar A, Agarwal S, Tyagi I, Saleh TA, Gupta VK (2015) Efficient removal of radioactive uranium from solvent phase using AgOH–MWCNTs nanoparticles: Kinetic and thermodynamic study. *Chem Eng J* 273:296–306
- Chandra C, Khan F (2020) Nano-scale zerovalent copper: green synthesis, characterization and efficient removal of uranium. *J Radioanal Nucl Chem* 324(2):589–597

31. Wang Y, Wang J, Li P, Qin H, Liang J, Fan Q (2021) The adsorption of U (VI) on magnetite, ferrihydrite and goethite. *Environ Technol Innov* 23:101615
32. El-Magied A, Mahmoud O, Manaa ESA, Youssef MA, Kouraim MN, Dhmees AS, Eldesouky EM (2021) Uranium removal from aqueous medium using $\text{Co}_0.5\text{Mn}_0.5\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanoparticles. *J Radioanal Nucl Chem* 327(2): 745–753
33. Chaudhary M, Singh L, Rekha P, Srivastava VC, Mohanty P (2019) Adsorption of uranium from aqueous solution as well as seawater conditions by nitrogen-enriched nanoporous poly-triazine. *Chem Eng J* 378:122236
34. Baik MH, Hahn PS (2001) Experimental study on Uranium sorption onto silica colloids: effects of geochemical parameters. *Nucl Eng Technol* 33(3):261–269
35. Kullgren J (2012) Oxygen vacancy chemistry in ceria (Doctoral dissertation, Acta Universitatis Upsaliensis)
36. Langmuir I (1918) The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *ACS* 40(9):1361–1403
37. Chandra C, Khan F (2020) Nano scale zerovalent nickel: Green synthesis, characterization, and efficient removal of lead from aqueous solution. *Inorganic Nano-Met Chem* 50(10):1044–1052
38. Abbasizadeh S, Keshtkar AR, Mousavian MA (2014) Sorption of heavy metal ions from aqueous solution by a novel cast PVA/ TiO_2 nanohybrid adsorbent functionalized with amine groups. *J Ind Eng Chem* 20(4):1656–1664
39. Moussout H, Ahlafi H, Aazza M, Maghat H (2018) Critical of linear and nonlinear equations of pseudo-first order and pseudo-second order kinetic models. *K Int J Mod Sci* 4(2):244–254
40. Espinoza-Sánchez MA, Arévalo-Niño K, Quintero-Zapata I, Castro-González I, Almaguer-Cantú V (2019) Cr (VI) adsorption from aqueous solution by fungal bioremediation based using *Rhizopus* sp. *J Environ Manag* 251: 109595
41. Abd El-Magied MO (2016) Sorption of uranium ions from their aqueous solution by resins containing nanomagnetite particles. *J Eng* 2016:1–11
42. Shuibo X, Chun Z, Xinghuo Z, Jing Y, Xiaojian Z, Jingsong W (2009) Removal of uranium (VI) from aqueous solution by adsorption of hematite. *J Environ Radioact* 100(2):162–166
43. Kutahyalı C, Eral M (2010) Sorption studies of uranium and thorium on activated carbon prepared from olive stones: kinetic and thermodynamic aspects. *J Nucl Mater* 396:251–256
44. Fan FL, Qin Z, Bai J, Rong WD, Fan FY, Tian W, Wu XL, Wang Y, Zhao L (2012) Rapid removal of uranium from aqueous solutions using magnetic $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{SiO}_2$ composite particles. *J Environ Radioact* 106:40–46

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



N-hydroxypyrazine-2-carboxamide as a new and green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium: experimental, surface morphological and theoretical approach

Yeastdev Dewangan, Dakeshwar Kumar Verma, Elyor Berdimurodov, Rajesh Haldhar, Omar Dagdag, Mamta Tripathi, Vivek Kumar Mishra & Perla Akhil Kumar

To cite this article: Yeestdev Dewangan, Dakeshwar Kumar Verma, Elyor Berdimurodov, Rajesh Haldhar, Omar Dagdag, Mamta Tripathi, Vivek Kumar Mishra & Perla Akhil Kumar (2022): N-hydroxypyrazine-2-carboxamide as a new and green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium: experimental, surface morphological and theoretical approach, Journal of Adhesion Science and Technology, DOI: [10.1080/01694243.2022.2068884](https://doi.org/10.1080/01694243.2022.2068884)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/01694243.2022.2068884>



Published online: 05 May 2022.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 19



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)



N-hydroxypyrazine-2-carboxamide as a new and green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium: experimental, surface morphological and theoretical approach

Yeastdev Dewangan^a, Dakeshwar Kumar Verma^a , Elyor Berdimurodov^b , Rajesh Haldhar^c, Omar Dagdag^d, Mamta Tripathi^e , Vivek Kumar Mishra^f and Perla Akhil Kumar^f

^aDepartment of Chemistry, Government Digvijay Autonomous Postgraduate College, Rajnandgaon, India; ^bFaculty of Chemistry, National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan; ^cSchool of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, South Korea; ^dInstitute for Nanotechnology and Water Sustainability, College of Science, Engineering and Technology, University of South Africa, Johannesburg, South Africa; ^ePt. Ravishankar Shukla University Raipur, Chhattisgarh, India; ^fVishwavidyalaya Engineering College, Chhattisgarh, India

ABSTRACT

In this research work, N-hydroxypyrazine-2-carboxamide (NHP) is first introduced as a green, new and effective corrosion inhibitor to protect mild steel (MS) surface from corrosion destruction in a 1 M HCl aggressive solution. Experimental techniques such as gravimetric analysis and electron impedance spectroscopy (EIS) were used in the present analysis; the obtained results show that the inhibition efficiency for NHP was 93.51% at 200 ppm and 298K temperature. NHP molecules adsorbed on mild steel surface followed by Langmuir adsorption model. Similarly, the energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) and scanning electron microscopy (SEM) analyses were used to describe the changes in surface morphology and composition of MS surface, respectively. Quantum chemical analyses based on density functional theory (DFT) were also applied to calculate the frontier molecular orbitals, that is, E_{HOMO} and E_{LUMO} values for NHP inhibitor molecules; the DFT results are in good correlation with experimental results. Additionally, the studied inhibitor molecule does not produce any environmental threats and toxicity as it decomposed into amine and carbon dioxide and also pyrazine molecules are mainly used as drug precursors showing its green nature.

ARTICLE HISTORY

Received 8 January 2022
Revised 4 April 2022
Accepted 18 April 2022

KEYWORDS

Corrosion inhibitors; steels; hydrochloric acid; SEM-EDX; DFT

1. Introduction

Metals and their alloys are corroded by interacting with environmental factors such as the moisture and oxygen in the atmosphere. Corrosion of metal materials is an electrochemical phenomenon and occurs on metals surface; this is due to the potential difference between cathodic and anodic regions on the metal

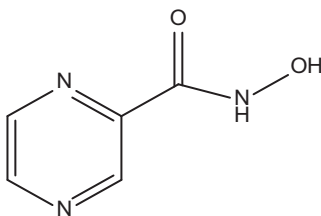
CONTACT Dakeshwar Kumar Verma dakeshwarverma@gmail.com Department of Chemistry, Government Digvijay Autonomous Postgraduate College, Rajnandgaon 491441, India; Elyor Berdimurodov elyor170690@gmail.com National University of Uzbekistan, Tashkent 100034, Uzbekistan

© 2022 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

surface [1–5]. Metals and their alloys are used as mainly metallic materials in various industrial applications. The surface of metals and their alloys are corroded, as a result, the corrosion deposits such as salts, oxides and other compounds covered the metal surface during various industrial applications. The corrosion deposits on the metal surface are large problems economically and environmentally. Before using metals and their alloys in various industrial processes again, the deposits on the metal surface are cleaned through important cleaning processes such as acid pickling and descaling processes. Currently, HCl, H₂SO₄ or HNO₃ are mainly used as aggressive solutions in the pickling and/or descaling process; they attack the metal surface after cleaning [6–8]. To prevent this type of metal corrosion, some organic or inorganic substances are added to block corrosion attacks of the aggressive corrosive solution during the above cleaning process. These additional compounds are named corrosion inhibitors, which deposit on the metal surface and protect it from the further attack of acid [9–11]. In the past time, inorganic corrosion inhibitors such as chromates, phosphates and molybdate were mainly used. The development of organic corrosion inhibitors gives trends in corrosion protection because organic molecules mainly contain heteroatoms such as O, S, N and P, which promote corrosion inhibition performance. These heteroatoms are electrons rich, which are mainly attributed to easily deposited on the metal surface and protect them from further corrosion [6,12–15].

Various types of organic molecules such as imidazole [16], pyrazine [17,18], indole [19], pyrrole [20], thiophene [21] and hydroxamic acids [6,22–24] have been used mainly as corrosion inhibitors in previous researches. Most of these organic compounds are hazardous and environmental threats, which lead to serious problems for human health and the environment. At present, green, non-toxic, less pollutant for the environment and cost-effective corrosion are developing in corrosion protection. N-hydroxamic acids and their derivatives are mostly used as drugs; this is responsible for their environmentally friendly nature [25–27]. In this research work, N-hydroxypyrazine-2-carboxamide (NHP) is first introduced as a green, new and effective corrosion inhibitor to protect mild steel (MS) surface from corrosion destruction in a 1 M HCl aggressive solution. Usually, the studied inhibitor molecule does not produce any environmental threat and creates toxicity for the environment and living organisms as it decomposed into amine and carbon dioxide. Also, the pyrazine molecule and its derivatives are mainly used as drug precursors or drug molecules showing its green nature. Similarly, the present investigation reveals an inhibition efficiency of more than 90% showing its efficient adsorbing behavior on the metal surface and further protecting it from the corrosive attack of chloride anions. Also, N-hydroxypyrazine-2-carboxamide (NHP) molecule has both pi electrons and heteroatoms (N, O) non-bonded electrons, those can be interactive sites on inhibitor molecules towards metal active sites.

Experimental techniques such as gravimetric analysis and electron impedance spectroscopy (EIS) were used to describe its inhibition efficiency in the present analysis. The adsorption isotherm model was studied by Langmuir adsorption. Similarly, the electron disperses X-ray spectroscopy (EDX) and scanning electron microscopy (SEM)



Scheme 1. Structure of N-hydroxypyrazine-2-carboxamide (NHP).

analysis were performed to describe the changes in surface morphology and composition of MS surface, respectively. Quantum chemical analyses based on density functional theory (DFT) were also applied to estimate the higher E_{HOMO} and lower E_{LUMO} values for NHP inhibitor molecules; the DFT results are in good correlation with experimental results. Scheme 1 represents the molecular structure of the inhibitor molecule. It is clear from this structure that the benzoyl rings, two nitrogen heteroatoms, amino and hydroxyl functional groups are mainly responsible for the inhibition centres of NHP.

2. Materials and methods

2.1. Materials (electrode, electrolytes and inhibitor solution)

Mild steel's composition is as follows: (wt.%) C=0.21, O=1.31, Si 0.42, $p=0.04$, S=0.05 and 98.2%. Fe metal samples with 5.0 cm $\times$ 2.0 cm $\times$ 0.1 cm dimensions were employed for the weight loss analysis and electrochemical analysis. Emery papers of grades ranging from 400 to 1200 were used to scratch and clean metal surface specimens. An electrolytic solution of 1 M HCl (MERCK) was used to prepare a 100 ml solution with and without inhibitor. In the present investigation, double distillation water was performed to prepare an electrolytic solution for all the experiments. The inhibitor's solution was prepared at various concentrations of NHP ranging from 50 to 200 ppm. Finally, a 100 ml solution was used for both gravimetric and electrochemical experiments. NHP chemical was purchased from the MERCK and applied for corrosion inhibitor. The above experiments were performed three times to increase the accuracy degree of the research work.

2.2. Weight loss measurement

Some previous studies [1–5] revealed the significance of weight loss analysis; this analysis does not involve high cost, sophisticated labs and advanced technology [15,28], but the results are accurate and reliable. In the present investigation, MS strips were weighed and suspended into 100 ml electrolytic solution in the presence (50–200 ppm) and absence of inhibitor at different temperatures (290–328K). In the electrolytic solution, the metal strip was dipped for 6 h immersion time. After this time, the metal strip was taken out and washed with double distilled water, then it was dried in a desiccator

and weighed the corrosion rate (ρ) was measured from Equation (1) [29] as follows:

$$\rho = \frac{\Delta W}{At} \quad (1)$$

where t is immersion time (6 h), A is the metal surface area (at cm^2), ΔW is weight loss in $\text{mg}/\text{cm}^2 \text{ h}$.

The protection degree ($\% \eta_{WL}$) was measured related to Equation (2) [30,31] as follows:

$$\% \eta_{WL} = \left(\frac{\rho^1 - \rho^2}{\rho^1} \right) \times 100 \quad (2)$$

where ρ^1 and ρ^2 represent the weight loss of MS strip no-inhibited and inhibited 1 M HCl solution, respectively.

2.3. Electrochemical analysis

Echem analyst 5.0 in build with Gamry potentiostat software 300 was used for the electrochemical analysis of PDV and EIS. The frequency domain of 10 kHz to 0.01 MHz was applied in the AC signal, which has an amplitude of 10 mV, and EIS was recorded when steady-state open circuit potential stabilized after a certain period. Each experiment was performed three times to justify the reproducibility. The following equivalent circuit model (Figure 1) was used to estimate the EIS data from the obtained Nyquist plots. The inhibition efficiency ($\% \eta_{EIS}$) of the inhibitor was calculated from the values of charge transfer resistance (R_{ct}) using Equation (3) [22,32] as follows:

$$\% \eta = \frac{R_{ct (inh)} - R_{ct}^0}{R_{ct (inh)}} \times 100 \quad (3)$$

where R_{ct}^i and R_{ct}^0 represent the resistance for charge transfer in the corrosion and inhibition systems.

2.4. Surface morphology characterization

A scanning electron microscope (SEM) was used to identify the changes on the MS surface after corroding and inhibiting. The aggressive corrosion attack and protective thin layer formation on the metal surface were described with the obtained SEM micrographs. The electron disperses X-ray spectroscopy (EDX) was also employed to show the changes in the composition of metal surfaces. ZEISS EVO SEM 18/INCA 250 EDX XMAX with a detector (20 mm) Oxford model was employed to obtain SEM and EDX microphotographs.

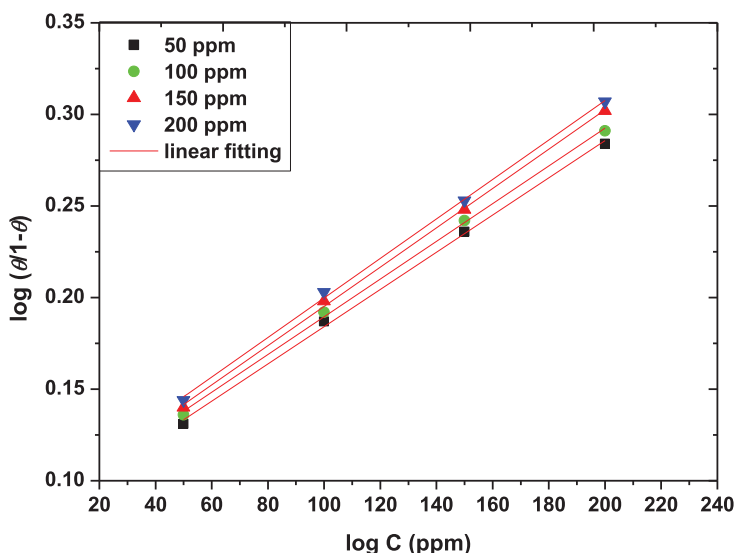


Figure 1. Tafel plot for NHP/Electrolyte/mild steel system.

2.5. Quantum chemical calculation

The quantum chemical calculation theoretically illustrates the inhibition ability of NHP. In this calculation, the density functional theory (DFT) method with 6–31 G (d,p) basis sets and B3LYP (three-parameter Lee–Yang–Parr correlation function by Becke) method was employed in GAMESS-US [33,34]. This theoretical analysis was done in aqueous NHP with the Polarizable Continuum Model employing the integral equation formalism variant (IEFPCM) and a water solvent [35–37].

3. Result and discussion

3.1. Weight loss measurement

Weight loss is a simple, reliable and efficient technique; it can more accurately estimate the values in the various corrosion indices such as inhibition efficiency, corrosion rate and surface coverage (θ) are calculated. With the help of weight loss measurement, the effect of inhibitor concentration and the temperature has been studied at 50–200 ppm of NHP and in 1 M HCl electrolytic solution. Table 1 shows the values in the various parameters, which were obtained from weight loss measurement, clearly showing that the corrosive rate tends to decrease when the inhibitor concentration increases, while the inhibition efficiency tends to increase with the increase of the inhibitor concentration.

3.1.1. Effect of temperature and concentration

In the present investigation, 50–200 ppm NHP inhibitor compound was applied in the electrolytic medium of 1 M HCl at different temperatures, which ranged from 298 to 328K. It is clear from the various weight loss parameters, which are shown in Table 1 that the corrosion inhibition mechanism is influenced by the inhibitor concentration and temperature. For example, it is evident from the obtained corrosion rate values that it decreases with an increase in the concentration of inhibitor, while the inhibitor efficiency

Table 1. Weight loss parameters of NHP molecules at different concentrations and temperatures.

Inhibitor	Conc. (ppm)	Corrosion rate, ρ , (mg cm ⁻² h ⁻¹)				Inhibition efficiency (% η)			
		298K	308K	318K	328K	298K	308K	318K	328K
NHP	0.0	1.095	1.966	4.144	5.181				
	50	0.192	0.359	0.789	1.452	82.46	81.73	80.96	71.97
	100	0.156	0.311	0.695	1.346	85.75	84.18	83.22	74.02
	150	0.102	0.275	0.632	1.122	90.68	86.01	84.74	78.34
	200	0.071	0.231	0.585	1.021	93.51	88.26	85.88	80.29

Table 2. Values in G_{ads} and K_{ads} for the MS with and without NHP at different concentrations and temperatures.

Inhibitor	Temp. (K)	R^2	K_{ads} (M ⁻¹)	ΔG_{ads} (kJ mol ⁻¹)
NHP	298	0.9979	12.12	-16.132
	308	0.9984	11.56	-16.552
	318	0.9988	11.36	-17.043
	328	0.9984	10.86	-17.456
			Average	-16.796

and surface coverage are maintained on the increasing steps. The main reason for the increase in the inhibition efficiency is that the adsorption efficiency of inhibitor molecules on the metal surface also increases with the rise in the inhibitor concentration. This is due to the corrosion inhibitor blocking the metal surface active-site, which causes corrosion on the metal surface. Two nitrogen heteroatoms, a pyrazine ring, amino and hydroxyl functional groups in the NHP molecule are responsible for the inhibition centres of NHP. These heteroatoms are also attributed to supporting the formation of electrostatic bonds with corrosive chloride ions to protect the metal surface from further corrosive attacks. It is also clear from Table 2 that when the temperature increases, the electrostatic bond becomes weak; this is due to the desorption rate of the inhibitor molecule on the metal surface increasing [38,39]. The next important point from the obtained results is that the inhibition efficiency gradually decreased and the corrosion rate increased. Usually, the high temperature destroys the electrostatic bond between the inhibitor and metal surface; this is due to the bond formation between the inhibitor's proton and the adsorbed chloride ions are easily broken and the chloride ion becomes more active at high temperature; therefore, the further corrosion acts slowly rose on the metal surface.

3.2. Adsorption isotherm

The analysis of the adsorption process and inhibition performance is important to describe the corrosion inhibition mechanism. The adsorption type and nature of the deposition inhibitor molecule on the metal surface is well described using the adsorption model. Langmuir adsorption model is the best fit to identify the adsorption processes between the NHP molecule and the MS surface, which is described by the following expression (Equation (4)) [30]:

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{\text{ads}}} + C \quad (4)$$

where K_{ads} represents the adsorption-desorption constant.

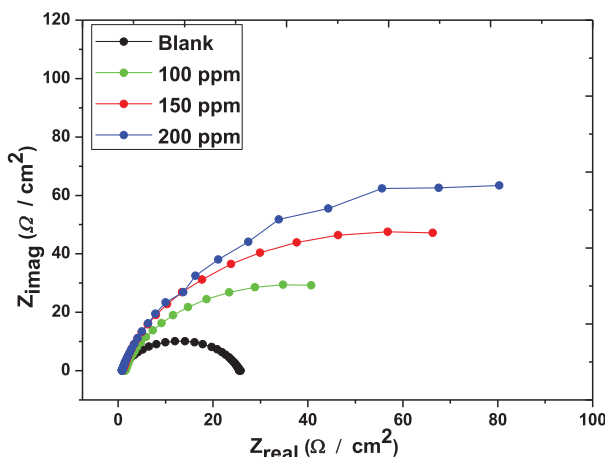


Figure 2. Langmuir adsorption plots for NHP in 1 M HCl solution at different temperatures and concentrations.

In the present study, the Langmuir model has fitted with correlation coefficient R^2 and its values are close to unity, in which the value was calculated from the slope of Figure 2 at the different temperatures. It is also interesting to notice in Figure 2 that Langmuir plots increased when the temperature rise. The values in the standard free energy of adsorption (ΔG_{ads}) were measured using the following Equation (5) [30]:

$$\Delta G_{\text{ads}} = -RT \ln (55.5 K_{\text{ads}}) \quad (5)$$

where R is the universal gas constant and 55.5 is the molar concentration of water molecules.

The value of ΔG_{ads} obtained from Equation (5) shows that there is a strong interaction between the inhibitor molecule and the metallic surface; the negative value of ΔG_{ads} also shows that corrosion inhibition is a spontaneous process. Generally, the value of ΔG_{ads} is between -16 and -17 kJ mol^{-1} at a different temperature, suggesting the mixed type behaviour of the NHP molecules. According to previous research works [10–15], if the ΔG_{ads} value is less than -20 kJ mol^{-1} then it is considered as physisorption in nature while ΔG_{ads} value of -40 kJ mol^{-1} or more is considered as chemisorption of NHP inhibitor molecule [40–42]. It is also measured that the value of average ΔG_{ads} is $-16.796 \text{ kJ mol}^{-1}$, this is due to the corrosion inhibitor influencing both the cathodic and anodic activities.

3.3. Electrochemical analysis

Corrosion is an electrochemical process as it involved both anodic and cathodic reactions within the metal surface due to morphological inhomogeneity. Due to this potential difference has been formed on the single metal surface and causes corrosion. From this point of view electrochemical analysis explore the electrochemical behaviour of metallic corrosion in the presence and absence of inhibitor molecules.

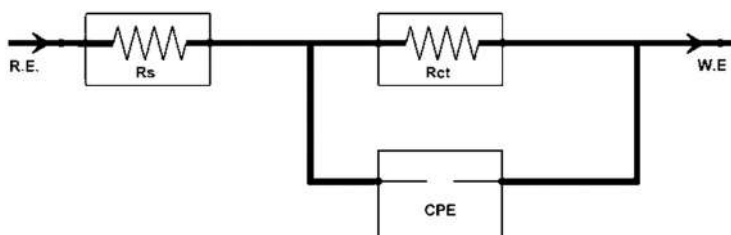


Figure 3. Nyquist plots for mild steel corrosion in blank (1 M HCl) NHP.

Table 3. Impedance parameters for MS in 1 M HCl with and without NHP.

Inhibitor	Conc. (ppm)	R_s ($\Omega \text{ cm}^{-2}$)	R_{ct} ($\Omega \text{ cm}^{-2}$)	C_{dl} ($\mu\text{F cm}^{-2}$)	θ	$\%n_{EIS}$
NHP	1 M HCl	1.548	22.32	128.2		
	100	1.022	69.51	92.33	0.744	66.66
	150	1.482	145.3	84.21	0.916	84.00
	200	1.994	198.6	67.85	0.950	88.10

The inhibition performance of the NHP on a mild steel surface is calculated by using EIS at different concentrations. The results obtained from EIS are shown in [Figure 3](#). The low-frequency Z value of the modules is obtained from the Bode plot, confirming the protective film of the NHP molecule on the metal surface. [Table 3](#) represented that the value of impedance tends to increase with rising concentration, demonstrating the high protection efficiency of NHP. Homogenous distribution of the NHP molecule on the metal surface effectively prevents the penetration rate of aggressive chloride and also improves the inhibitor's physical barrier. Some previous research [[12–16,43](#)] shows that if the radius of the capacitance impedance in the Nyquist plot is large, then it exhibits better corrosion protection properties [[44–48](#)]. Nyquist's representation and Nyquist's fitted lines show that the depressed semicircle at higher frequency in presence of a higher concentration of NHP molecule exhibits the high inhibitory property of inhibitor molecule. Similarly, a depressed semi-circle with a presence of 1 M HCl is obtained at the lowest frequency, indicating the high corrosion rate of mild steel surfaces. The above discussion shows that the inhibitor molecules adsorb on the metal surface to form a passive layer and block the active sites; these actions are responsible for corrosion inhibition. Additionally, [Figure 4](#) demonstrated the fitting of EIS results with the equivalent electrical circuit models to determine the corrosion performance quantitatively. The obtained values from the calculations are shown in [Table 3](#), from which it is clear that when the immersion time rises the values of R_s and R_{ct} decrease, respectively; this trend shows the deterioration of the metal surface.

[Figure 5](#) indicated the equivalent circuit fitting model, which contained the constant phase element (CPE). [Equation \(6\)](#) described CPE; CPE signifies impedance, resistance and capacitance [[49,50](#)]:

$$Z_{CPE} = \left(\frac{1}{Y_0} \right) [(j\omega)^N]^{-1} \quad (6)$$

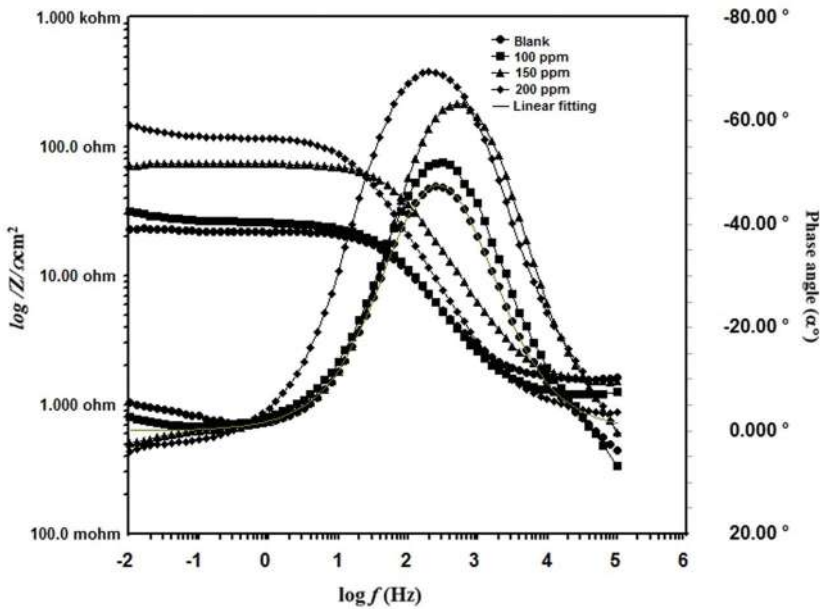


Figure 4. Bode plot for NHP/1M HCl/MS system.

In the next part of EIS, the double-layer capacitance (C_{dl}) for the corrosive and inhibited solution was estimated using the following Equation (7) [39]:

$$C_{dl} = Y_o(w_{max})^{n-1} \quad (7)$$

where n is NHP shift and Y_o is the exponent.

3.4. Potentiodynamic polarization (PDP)

PDP analysis was applied in order to find out the adsorption property of the NHP molecule. The PDP analysis was done in different concentrations of inhibitor molecule for MS corrosion at room temperature as shown in Figure 1. Tafel indices such as cathodic, anodic Tafel slopes, current densities (i_{corr}) and corrosion potential (E_{corr}) were obtained from the PDP study (Table 4). Table 4 clarifies that increasing the concentration of inhibitors decreases the value of corrosion current density (i_{corr}), which shows that the inhibitor molecule is adsorbed on the mild steel surface effectively protecting them from further corrosive attack and the presence of NHP molecules enhanced the η (PDP). According to PDP analysis, the inhibition efficiency follows the same sequence as the weight loss study. It has been known from some previous research literature that if the value of E_{corr} was greater than the value of the blank solution to 85 mV, then the inhibitor is usually anodic or cathodic, whereas, if E_{corr} value is less than 85 mV of the blank solution, it is called mixed-type inhibitor [31–33]. In the present work, for NHP, E_{corr} value is less than 85 mV relative to the blank solution, which shows the mixed type nature of all inhibitors.

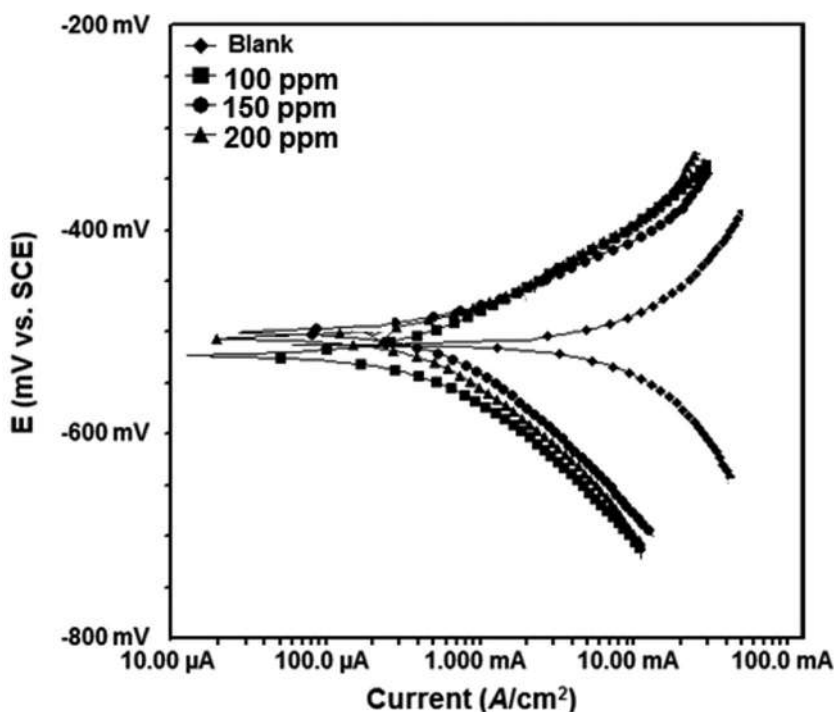


Figure 5. An equivalent circuit model was applied for the fitting of the Nyquist curves.

Table 4. Tafel polarisation parameters for NHP towards mild steel corrosion inhibition in molar concentration of hydrochloric acid solution.

Inhibitors	Concentration (ppm)	Tafel polarisation parameters		β_a (mV dec ⁻¹)	β_c (mV dec ⁻¹)	θ	% η
		I_{corr} (A cm ⁻²)	E_{corr} mV(vs SCE)				
NHP	Blank	101.8	-511	271.9	305.3		
	100	24.98	-522	130.9	221.9	0.755	75.46
	150	19.02	-515	144.8	132.2	0.813	81.31
	200	13.10	-513	114.2	161.8	0.871	87.13

3.5. Surface analysis

Figure 6 demonstrated the surface morphology of metal surfaces after corrosion and inhibition. The mild steel surface in Figure 6(A) (left) is corroded seriously by a corrosive attack on the metal surface. As a result of corrosion destruction, the corrosion products of chlorides and oxides were formed on the metal surface. In comparison, Figure 6(B) (left) shows that the metal surface was clean, confirming the adsorption of the NHP molecule as a protective layer on the metal surface. Also, it confirmed the value obtained from experimental data such as weight loss measurements and electrochemical experiments. Similarly, the change in elemental composition on the metal surfaces can be easily predicted with the help of EDX spectra. In Figure 6(A) (right), the peak intensity of iron, chloride and oxygen atoms is mainly visible in the obtained EDX spectra, whereas the peak intensity of chlorides ions is notably lower in the inhibited solution. The weight % composition

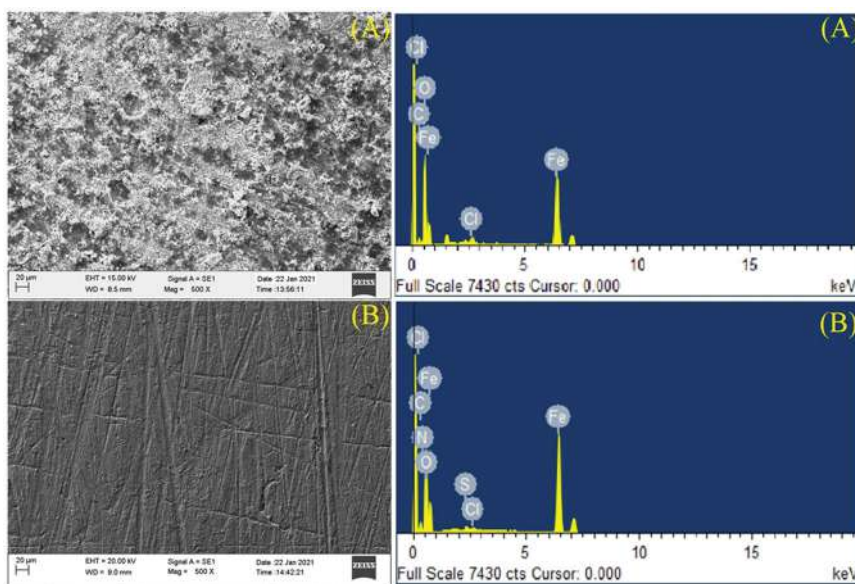


Figure 6. (A, B) SEM and EDX spectra for MS in the absence and presence of NHP molecules.

Table 5. EDX parameters for NHP in uninhibited and inhibited medium.

Medium	Composition (wt%)					
	Fe	Cl	O	S	C	N
MS/1M HCl system	93.02	5.58	1.22		0.18	
MS/NHP/1M HCl system	90.49	0.92	1.89	0.22	5.87	0.61

of these atoms is given in Table 5. It is also clear from the values given in Table 5 that the composition of chloride is relatively high (5.58%) in corrosive solutions. In comparison, the composition of chloride is lower (0.92%) in the inhibited solution (Figure 6(B) (right)). It is also clear from obtained results that the high concentration of chloride ions is responsible for the high corrosion while its low concentration is attributed to a rise in corrosion protection. Therefore, SEM-EDX analysis confirmed the high inhibition performance of NHP molecules for selected steel.

3.6. Quantum chemical analysis of NHP

DFT calculation in the quantum chemical analysis was done on the neutral form of the selected NHP molecule in the aqueous phase. The NHP molecule was optimised before the DFT calculation. The obtained optimised structure of NHP is represented in Figure 7(a). The inhibition efficiency depends on the planar structure, which means that if the inhibitor's structure is large planar, the molecule is a good corrosion inhibitor; if the low planar structure, vice-versa. Overall, what stands out from the obtained optimised structure of NHP is that the selected corrosion inhibitor has a good planar structure, suggesting that the selected structure is an efficient corrosion inhibitor [37,40,51,52]. It should be underlined that two nitrogen atoms in aromatic rings make

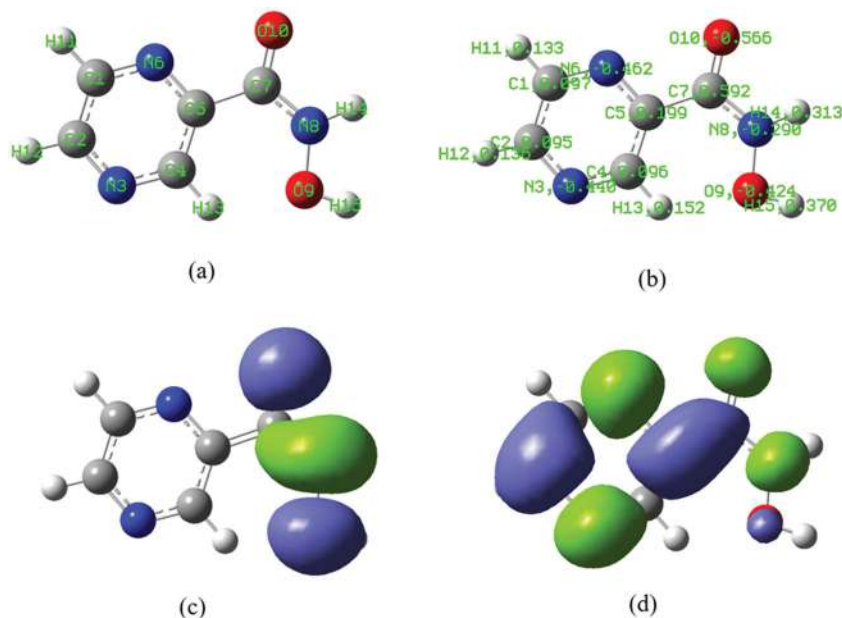


Figure 7. The (a) optimised structure, (b) charge distribution map, (c) HOMO and (d) LUMO of NHP.

the NHP structure more polarised. The hydroxyl functional groups and amino groups are linked in this structure; then the functional groups interact with each other. This interaction promotes to become more polar structure.

In the next part of the quantum analysis, the charge distribution map for NHP is illustrated in Figure 7(b). In general, it is evident that the O10 atom is more negative, and it is mainly responsible for the adsorption centre of NHP. The p-electron pairs of O10 atoms are favourably transferred to vacant d-orbitals of iron on the metal surface. On the other hand, the NHP was protonated through the N6 atom. Therefore, the protonated form of NHP promotes physical adsorption on the metal surface [8–10].

In the following step of DFT analysis, the frontier molecular orbital (FMO) method is employed to find the HOMO (Figure 7(c)) and LUMO (Figure 7(d)) for optimised NHP. The electron density of HOMO is mainly localised around N8, O9 and O10 atoms, which are electron-donation centres of NHP. The chemical-sorption processes are carried out through the HOMO regions. The localised p-electrons in HOMO regions are shared with vacant d-orbitals of irons. On the other hand, the value of electron density cloud is very low in LUMO regions, which are localised around the benzoyl rings. The electrons are accepted through LUMO regions. Therefore, the electron-acceptor performance of LUMO promotes the adsorption performance of corrosion inhibitors [53–55].

3.7. MEP analysis of NHP

The molecular electrostatic potential (MEP) map for the NHP corrosion inhibitor is found and the obtained data is given in Figure 8. The reactivity, electrophilic (red) and

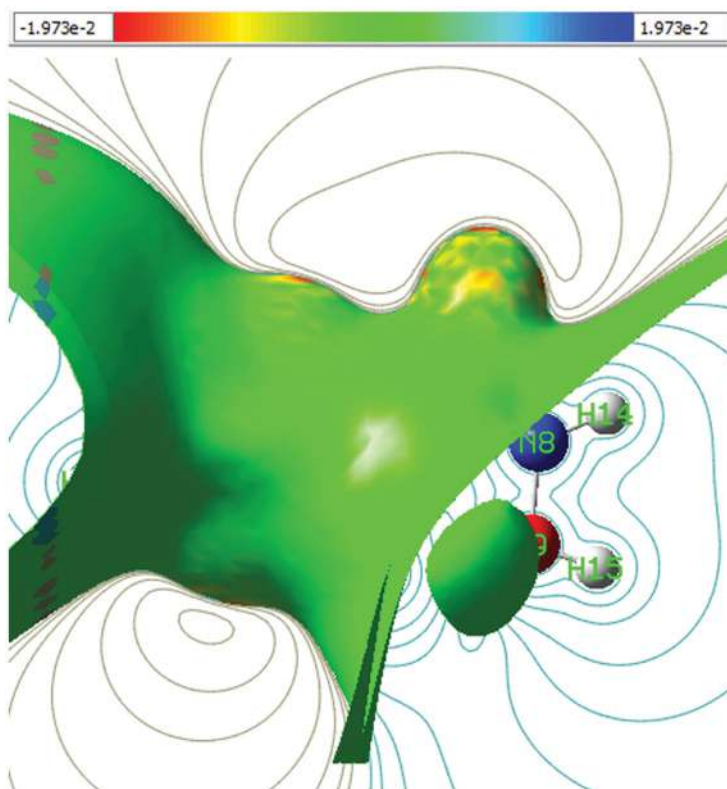


Figure 8. The MEP of NHP corrosion inhibitor at the aqueous phase.

nucleophilic (blue) regions for NHP are represented in Figure 8. They are cited at around $\pm 1.973 \times 10^{-2} \text{eV}$, confirming that the selected optimised structure has good adsorption performance. The electrophilic points are generally cited around benzoyl rings while the nucleophilic points are mainly localised around the O10 atom. These centres are responsible for a rise in inhibition performance [56,57].

3.8. Global reactive indicators of NHP

The global reactive indicators of NHP such as the molecular ionization potential (I_{Inh}^{DFT}), electron affinity (A_{Inh}^{DFT}), global electrophilicity index (ω_{Inh}^{DFT}), electronic negativity (χ_{Inh}^{DFT}), nucleophilicity (ϵ_{Inh}^{DFT}), a fraction of electron transfer from the inhibitor molecule to the metal surface (ΔN_{Inh}^{DFT}) (related to Koopmans's theory) and an electronic fraction (ψ_{Inh}^{DFT}), chemical softness (σ_{Inh}^{DFT}), chemical hardness (η_{Inh}^{DFT}) and electronic chemical potential (μ_{Inh}^{DFT}) were measured from the energy difference between the HOMO ($E_{HOMO(Inh)}^{DFT}$) and LUMO ($E_{LUMO(Inh)}^{DFT}$) energies. The following Equations (8)–(17) are used for these measurements [58,59].

$$\Delta E_{Inh}^{DFT} = E_{LUMO(Inh)}^{DFT} - E_{HOMO(Inh)}^{DFT} \quad (8)$$

$$I_{Inh}^{DFT} = -E_{HOMO(Inh)}^{DFT} \quad (9)$$

$$A_{Inh}^{DFT} = -E_{LUMO(Inh)}^{DFT} \quad (10)$$

$$\sigma_{Inh}^{DFT} = \frac{1}{\eta} \quad (11)$$

$$\omega_{Inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Inh}^{DFT})^2}{2\eta_{Inh}^{DFT}} \quad (12)$$

$$-\mu_{Inh}^{DFT} = \chi_{Inh}^{DFT} = \frac{1}{2}(I_{Inh}^{DFT} + A_{Inh}^{DFT}) \quad (13)$$

$$\varepsilon_{Inh}^{DFT} = \frac{1}{\omega_{Inh}^{DFT}} \quad (14)$$

$$\eta_{Inh}^{DFT} = \frac{1}{2}(I_{Inh}^{DFT} - A_{Inh}^{DFT}) \quad (15)$$

$$\Delta N_{Inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Fe} - \chi_{Inh}^{DFT})}{2(\eta_{Fe} + \eta_{Inh}^{DFT})} \quad (16)$$

$$\psi_{Inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Fe} - \chi_{Inh}^{DFT})}{4(\eta_{Fe} + \eta_{Inh}^{DFT})} \quad (17)$$

Where η_{Fe} is 0 eV mol⁻¹ and χ_{Fe} is 7 eV mol⁻¹.

Table 6 indicated the global reactive parameters for the neutral form of NHP corrosion inhibitor in the aqueous phase (water solvent). The reactivity properties depend on the inhibitor molecular structure. The energy difference between LUMO and HOMO is very low, indicating that the selected molecule is more reactive and low stable. It is revealed that the low stable molecule is easily polarised in the aqueous phase. As a result, the polarised structure becomes a good corrosion inhibitor[16–20]. The next important aspect of the obtained results is that the values in molecular ionization potential, electron affinity, global electrophilicity index, electronic negativity, nucleophilicity, a fraction of electron transfer from the inhibitor molecule to the metal surface, dipole moment, electronic fraction, chemical softness, chemical hardness and electronic chemical potential confirmed the rise in inhibition properties. Therefore, the global reactive analysis confirmed the experimental results.

3.9. Fukui analysis of NHP

In Fukui analysis, the Fukui indices contained the electrophilic (f_k^+ high), nucleophilic (f_k^- high) and neutral (f_k^0 high) for a neutral form of NHP were measured using the

Table 6. Values in global reactive parameters for NHP at the aqueous phase.

Parameter	Values (eV)
$E_{HOMO(Inh)}^{DFT}$	−0.24
$E_{LUMO(Inh)}^{DFT}$	−0.07
ΔE_{Inh}^{DFT}	0.17
I_{Inh}^{DFT}	0.24
A_{Inh}^{DFT}	0.07
μ_{Inh}^{DFT}	−0.155
χ_{Inh}^{DFT}	0.155
η_{Inh}^{DFT}	0.085
σ_{Inh}^{DFT}	11.76
ω_{Inh}^{DFT}	0.14
ϵ_{Inh}^{DFT}	7.14
ΔN_{Inh}^{DFT}	40.26
ψ_{Inh}^{DFT}	17.2
Dipole moment, D E(RB3LYP), Hartree	4.6 −508.180

Table 7. Fukui indices of NHP at the aqueous NHP.

Atom	f_k^-	f_k^+	f_k^0
C1	0.0013	0.01	0.0057
C2	0.0014	0.2009	0.1011
N3	0	0.1818	0.0909
C4	0.0018	0.001	0.0015
C5	0	0.174	0.087
N6	0.0008	0.2645	0.1327
C7	0.0052	0.0594	0.0323
N8	0.4303	0.0504	0.2403
O9	0.3279	0.0067	0.1673
O10	0.2309	0.0511	0.141

The bold values are more nucleophilic and adsorption atoms.

following Equations (18)–(20) by the natural population analysis (NPA); the obtained results are represented in Table 7.

$$f_k^+ = P_k(N+1) - P_k(N) \quad (18)$$

$$f_k^- = P_k(N) - P_k(N-1) \quad (19)$$

$$f_k^0 = P_k(N+1) - P_k(N-1) \quad (20)$$

where $P_k(N+1)$, $P_k(N)$ and $P_k(N-1)$ are anionic, neutral and cationic molecules, respectively.

In Fukui analysis, more favourable adsorption, electrophilic, nucleophilic and neutral atoms are estimated. As can be shown in Table 7, N8, O9 and O10 atoms are more nucleophilic and adsorption atoms, showing that these atoms are mainly attributed to an increase in inhibition performance. In comparison, C2, N3 and N6 atoms are more electrophilic centres, suggesting that these centres support the electrostatic interactions between the corrosion inhibitor and the metal surface. Consequently, the

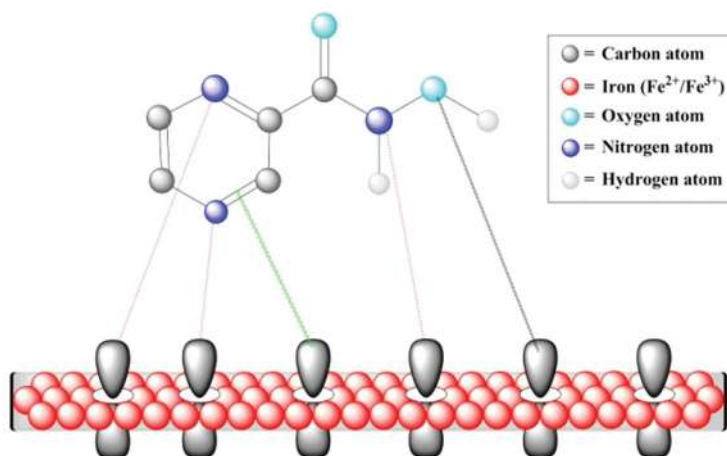


Figure 9. Interaction between the metal surface and inhibitor molecule.

adsorption–inhibition mechanism conformed to the Fukui analysis. In addition to this, it is also concluded that the experimental results are correlated with the quantum chemical calculations results. NHP molecule contains pi electrons and non-bonded electrons containing heteroatoms. Due to the presence of electron-rich centres, inhibitor molecules easily interact with the mild steel surface and protect the metal surface by forming protecting layer as proved by experimental and surface morphological analysis. In this regard, DFT analysis derived the parameters such as E_{HOMO} , E_{LUMO} and E , etc, which describe the electron-donating sites of molecules. As reported in previous studies the higher E_{HOMO} value of the inhibitor molecule denotes the more electron-donating property of the inhibitor molecule [6,22].

3.10. Corrosion inhibition mechanism and comparative study

The inhibitor molecule used in the present work contains double bonds in the aromatic ring and heteroatoms in both the aromatic ring and side chain. Due to these electron-rich centres, it can easily interact with vacant d orbital of iron surface that is inhibitor molecules acted like Lewis base and metal surface acted like Lewis acid. Direct interaction between the field p orbital of an organic molecule and vacantly d orbital on a metal surface forms a stable protective layer on the metal surface and this kind of direct direction interaction has been regarded as chemisorption [60]. Whereas, and interaction, which is due to acidic medium inhibitor molecule, can be easily protonated at atoms and anion formed from the electrolyte media deposit on the metal surface. Now the interaction between protonated it is an inhibitor molecule and anion layer on the metal surface and this can be regarded as physical adsorption [61]. In addition [Figure 9](#) demonstrated the interaction between the metal surface and inhibitor molecule.

Some previous research used the pyrazine derivatives and hydroxamic acids for corrosion mitigation of various metal surfaces from corrosion in different aggressive media. Verma et al. reported the %IE of 98.49 and 95.90 for BHA and AHA respectively, according to electrochemical analysis at an optimum concentration of 200 ppm at

room temperature [6]. Verma and co-workers also reported a high percentage inhibition efficiency of 93.29%, 95.69% and 96.37% for the AHA, BHA and OHA respectively [22]. Also, pyrazine derivatives were applied towards the corrosion inhibition process of MS in 1 M HCl and reported good %IE of above 90% showing the potential behaviour of studied inhibitors. Similarly, various pyrazine derivatives namely ABP, AP, MP [62], DPP [63], DPB [18], DP-I and DP-II [64,65] used extensively towards metal corrosion protection and exhibited good but less inhibition efficiency as compared to the inhibitor used in the present work.

4. Conclusion

In summary, NHP was first introduced as an effective corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid medium. The experimental gravimetric analysis results suggested that the inhibition efficiency for NHP was 93.51% at 200 ppm at 298K temperature. Also, impedance parameters for MS in 1 M HCl with and without NHP show that the value of R_{ct} and inhibition efficiency increase as the concentration of inhibitor increases. Similarly, EIS analysis revealed the anti-corrosive property and mixed type behaviour of NHP molecules on MS surface in 1 M HCl solution. The SEM and EDX analysis mainly show the formation and composition of the protective layer of NHP on the metal surface. Finally, the computational-based analysis reveals that the electron-donating and electron-accepting properties are correlated with the inhibition performance.

Acknowledgements

Authors thanks Digvijay College Rajnandgaon, (Chattisgarh, India) for supporting this research.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

ORCID

Dakeshwar Kumar Verma  <http://orcid.org/0000-0002-5484-7595>

Elyor Berdimurodov  <http://orcid.org/0000-0003-0610-8218>

Mamta Tripathi  <http://orcid.org/0000-0001-8235-9110>

References

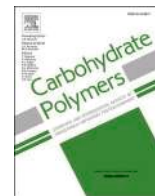
- [1] Jawad AQ, Zinad DS, Salim RD, et al. Synthesis, characterization, and corrosion inhibition potential of novel thiosemicarbazone on mild steel in sulfuric acid environment. *Coatings*. 2019;9(11):729.
- [2] Abd El-Lateef HM. Corrosion inhibition characteristics of a novel salicylidene isatin hydrazine sodium sulfonate on carbon steel in HCl and a synergistic nickel ions additive: a combined experimental and theoretical perspective. *Appl Surf Sci*. 2020;501:144237.
- [3] Verma DK, Khan F, Bahadur I, et al. Inhibition performance of *Glycine max*, *Cuscuta reflexa* and *Spirogyra* extracts for mild steel dissolution in acidic medium: density functional theory and experimental studies. *Results Phys*. 2018;10:665–674.

- [4] Saji VS, Umoren SA. Corrosion inhibitors in the oil and gas industry. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons; 2020.
- [5] Yang X, Zhang R, Pu J, et al. 2D graphene and h-BN layers application in protective coatings. *Corr Rev.* 2021;39(2):93–107.
- [6] Verma DK, Ebenso EE, Quraishi MA, et al. Gravimetric, electrochemical surface and density functional theory study of acetohydroxamic and benzohydroxamic acids as corrosion inhibitors for copper in 1 M HCl. *Results Phys.* 2019;13:102194.
- [7] Abd El-Lateef HM, Soliman KA, Tantawy AH. Novel synthesized Schiff base-based cationic Gemini surfactants: electrochemical investigation, theoretical modeling and applicability as biodegradable inhibitors for mild steel against acidic corrosion. *J Mol Liq.* 2017;232:478–498.
- [8] Zhang R, Zhu M, Pu J, et al. A new strategy for achieving N modified graphene and as protective coating for Cu: first-principles investigations. *Surf Interfaces.* 2021;24:101048.
- [9] Li H, Zhang S, Qiang Y. Corrosion retardation effect of a green cauliflower extract on copper in H₂SO₄ solution: electrochemical and theoretical explorations. *J Mol Liq.* 2021;321:114450.
- [10] Qiang Y, Li H, Lan X. Self-assembling anchored film basing on two tetrazole derivatives for application to protect copper in sulfuric acid environment. *J Mater Sci Technol.* 2020;52:63–71.
- [11] Qiang Y, Zhi H, Guo L, et al. Experimental and molecular modeling studies of multi-active tetrazole derivative bearing sulfur linker for protecting steel from corrosion. *J Mol Liq.* 2022;351:118638.
- [12] Abdallah M, Gad E, Sobhi M, et al. Performance of tramadol drug as a safe inhibitor for aluminum corrosion in 1.0 M HCl solution and understanding mechanism of inhibition using DFT. *Egypt J Pet.* 2019;28(2):173–181.
- [13] Abdel-Gawad SA, Osman WM, Fekry AM. Characterization and corrosion behavior of anodized aluminum alloys for military industries applications in artificial seawater. *Surf Interfaces.* 2019;14:314–323.
- [14] Verma DK. Heteroatom-Based compounds as sustainable corrosion inhibitors: an overview. *J Bio- Tribo-Corr.* 2021;7(1):1–18.
- [15] Verma DK, Kaya S, Ech-chihbi E, et al. Investigations on some coumarin based corrosion inhibitors for mild steel in aqueous acidic medium: electrochemical, surface morphological, density functional theory and monte carlo simulation approach. *J Mol Liq.* 2021;329:115531.
- [16] Bereket G, Hür E, Öğretir C. Quantum chemical studies on some imidazole derivatives as corrosion inhibitors for iron in acidic medium. *J Mol Struct THEOCHEM.* 2002; 578(1–3):79–88.
- [17] Obot I, Gasem Z. Theoretical evaluation of corrosion inhibition performance of some pyrazine derivatives. *Corr Sci.* 2014;83:359–366.
- [18] Kissi M, Bouklah M, Hammouti B, et al. Establishment of equivalent circuits from electrochemical impedance spectroscopy study of corrosion inhibition of steel by pyrazine in sulphuric acidic solution. *Appl Surf Sci.* 2006;252(12):4190–4197.
- [19] Verma C, Quraishi MA, Ebenso EE, et al. 3-Amino alkylated indoles as corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl: experimental and theoretical studies. *J Mol Liq.* 2016;219:647–660.
- [20] Verma C, Ebenso EE, Bahadur I, et al. 5-(phenylthio)-3H-pyrrole-4-carbonitriles as effective corrosion inhibitors for mild steel in 1 M HCl: experimental and theoretical investigation. *J Mol Liq.* 2015;212:209–218.
- [21] Allal H, Belhocine Y, Zouaoui E. Computational study of some thiophene derivatives as aluminium corrosion inhibitors. *J Mol Liq.* 2018;265:668–678.
- [22] Verma DK, Al Fantazi A, Verma C, et al. Experimental and computational studies on hydroxamic acids as environmental friendly chelating corrosion inhibitors for mild steel in aqueous acidic medium. *J Mol Liq.* 2020;314:113651.

- [23] Gupta MK, Mishra P, Prathipati P, et al. 2D-QSAR in hydroxamic acid derivatives as peptide deformylase inhibitors and antibacterial agents. *Bioorg Med Chem*. 2002;10(12):3713–3716.
- [24] Telegdi J, Rigó T, Kálmán E. Molecular layers of hydroxamic acids in copper corrosion inhibition. *Electroanal Chem*. 2005;582(1–2):191–201.
- [25] Kwak S-Y, Yang J-K, Choi H-R, et al. Synthesis and dual biological effects of hydroxycinnamoyl phenylalanyl/prolyl hydroxamic acid derivatives as tyrosinase inhibitor and antioxidant. *Bioorg Med Chem Lett*. 2013;23(4):1136–1142.
- [26] Farkas E, Enyedy ÉA, Csóka H. A comparison between the chelating properties of some dihydroxamic acids, desferrioxamine B and acetohydroxamic acid. *Polyhedron*. 1999;18(18):2391–2398.
- [27] Tkac P, Paulenova A. The effect of acetohydroxamic acid on extraction and speciation of plutonium. *Sep Sci Technol*. 2008;43(9–10):2670–2683.
- [28] Verma C, Quraishi MA, Kluza K, et al. Corrosion inhibition of mild steel in 1M HCl by D-glucose derivatives of dihydropyrido [2,3-d:6,5-d'] dipyrimidine-2,4,6,8 (1H,3H,5H,7H)-tetraone. *Sci Rep*. 2017;7(1):1–17.
- [29] Verma DK, Khan F. Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid using extract of glycine max leaves. *Res Chem Intermed*. 2016;42(4):3489–3506.
- [30] Verma DK, Khan F. Green approach to corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid medium using extract of spirogyra algae. *Green Chem Lett Rev*. 2016;9(1):52–60.
- [31] Verma DK, Kazi M, Alqahtani MS, et al. N-hydroxybenzothioamide derivatives as green and efficient corrosion inhibitors for mild steel: experimental, DFT and MC simulation approach. *J Mol Struct*. 2021;1241:130648.
- [32] Zhang R, Tian Y, Pu J, et al. Single-layer graphene oxide as corrosion inhibition protection for Cu under 0.5 M H₂SO₄ solution. *Surf Topogr: Metrol Prop*. 2021;9(4):045016.
- [33] Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, et al. Inhibition properties of 4,5-dihydroxy-4,5-di-p-tolylimidazolidine-2-thione for use on carbon steel in an aggressive alkaline medium with chloride ions: thermodynamic, electrochemical, surface and theoretical analyses. *J Mol Liq*. 2021;327:114813.
- [34] Rbaa M, Oubihi A, Hajji H, et al. Synthesis, bioinformatics and biological evaluation of novel pyridine based on 8-hydroxyquinoline derivatives as antibacterial agents: DFT, molecular docking and ADME/T studies. *J Mol Struct*. 2021;1244:130934.
- [35] Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, et al. A gossypol derivative as an efficient corrosion inhibitor for St2 steel in 1 M HCl + 1 M KCl: an experimental and theoretical investigation. *J Mol Liq*. 2021;328:115475.
- [36] Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, et al. Thioglycoluril derivative as a new and effective corrosion inhibitor for low carbon steel in a 1 M HCl medium: experimental and theoretical investigation. *J Mol Struct*. 2021;1234:130165.
- [37] Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, et al. New anti-corrosion inhibitor (3ar,6ar)-3a,6a-di-p-tolyltetrahydroimidazo [4,5-d] imidazole-2,5(1h,3h)-dithione for carbon steel in 1 M HCl medium: gravimetric, electrochemical, surface and quantum chemical analyses. *Arabian J Chem*. 2020;13(10):7504–7523.
- [38] Bala A, Vikas GG, Suresh Kumar HO. Experimental investigation of isatin schiff base as corrosion inhibitor for carbon steel in 1MHCl. *IJRSET*. 2018;4(1):744–754.
- [39] Banerjee S, Srivastava V, Singh M. Chemically modified natural polysaccharide as green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium. *Corr Sci*. 2012;59:35–41.
- [40] Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, et al. Experimental and theoretical assessment of new and eco-friendly thioglycoluril derivative as an effective corrosion inhibitor of St2 steel in the aggressive hydrochloric acid with sulfate ions. *J Mol Liq*. 2021;335:116168.
- [41] Bhardwaj N, Prasad D, Haldhar R. Study of the *Aegle marmelos* as a green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium: experimental and theoretical approach. *J Bio-Tribo-Corr*. 2018;4(4):1–10.

- [42] Bokati KS, Dehghanian C, Yari S. Corrosion inhibition of copper, mild steel and galvanically coupled copper-mild steel in artificial sea water in presence of 1H-benzotriazole, sodium molybdate and sodium phosphate. *Corr Sci.* 2017;126:272–285.
- [43] Zhang R, Xiong L, He Z, et al. Synthesis and structure of water-soluble Sb quantum dots and enhanced corrosion inhibition performance and mechanisms. *Inorg Chem.* 2021;60(21):16346–16356.
- [44] Brinda T, Mallika J, Sathyanarayana Moorthy V. Synergistic effect between starch and substituted piperidin-4-one on the corrosion inhibition of mild steel in acidic medium. *J Mater Environ Sci.* 2015;6(1):191–120.
- [45] Brycki BE, Kowalczyk IH, Szulc A, et al. Organic corrosion inhibitors. *Corr Inhib, Principles Recent Appl.* 2018;3:33.
- [46] Cen H, Chen Z, Guo X. N, S co-doped carbon dots as effective corrosion inhibitor for carbon steel in CO₂-saturated 3.5% NaCl solution. *J Taiwan Inst Chem Eng.* 2019;99:224–238.
- [47] Tan B, Zhang S, Cao X, et al. Insight into the anti-corrosion performance of two food flavors as eco-friendly and ultra-high performance inhibitors for copper in sulfuric acid medium. *J Colloid Interface Sci.* 2022;609:838–851.
- [48] Hossain N, Asaduzzaman Chowdhury M, Kchaou M. An overview of green corrosion inhibitors for sustainable and environment friendly industrial development. *J Adhes Sci Technol.* 2021;35(7):673–690.
- [49] Singh A, Ansari KR, Chauhan DS, et al. Comprehensive investigation of steel corrosion inhibition at macro/micro level by ecofriendly green corrosion inhibitor in 15% HCl medium. *J Colloid Interface Sci.* 2020;560:225–236.
- [50] Guo L, Tan J, Kaya S, et al. Multidimensional insights into the corrosion inhibition of 3,3-dithiodipropionic acid on Q235 steel in H₂SO₄ medium: a combined experimental and in silico investigation. *J Colloid Interface Sci.* 2020;570:116–124.
- [51] Dagdag O, Hsissou R, Safi Z, et al. Rheological and simulation for macromolecular matrix epoxy bi-functional aromatic amines. *Polym Bull.* 2021;:1–17.
- [52] Yarkulov AY, Umarov B, Rakhmatkarieva F, et al. Diacetate cellulose-silicon bionanocomposite adsorbent for recovery of heavy metal ions and benzene vapours: an experimental and theoretical investigation. *Biointerf Res Appl Chem.* 2022;12(3):2862–2880.
- [53] Shahmoradi AR, Ranjbarghanei M, Javidparvar AA, et al. Theoretical and surface/electrochemical investigations of walnut fruit green husk extract as effective inhibitor for mild-steel corrosion in 1M HCl electrolyte. *J Mol Liq.* 2021;338:116550–116550.
- [54] Haldhar R, Kim S, Berdimurodov E, et al. Corrosion inhibitors: industrial applications and commercialization. In: *Sustainable corrosion inhibitors II: synthesis, design, and practical applications.* Washington (DC): ACS Publications; 2021. p. 219–235.
- [55] Dagdag O, Berisha A, Mehmeti V, et al. Epoxy coating as effective anti-corrosive polymeric material for aluminum alloys: formulation, electrochemical and computational approaches. *J Mol Liq.* 2022;346:117886.
- [56] Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, et al. Novel cucurbit [6] uril-based [3] rotaxane supramolecular ionic liquid as a green and excellent corrosion inhibitor for the chemical industry. *Colloids Surf, A.* 2022;633:127837.
- [57] Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, et al. New and green corrosion inhibitor based on new imidazole derivate for carbon steel in 1 M HCl medium: experimental and theoretical analyses. *JERA.* 2022;58(2022):11–44.
- [58] Saji VS. *Supramolecular chemistry in corrosion and biofouling protection.* London (UK): CRC Press; 2021.
- [59] Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, et al. Novel bromide-cucurbit [7] uril supramolecular ionic liquid as a green corrosion inhibitor for the oil and gas industry. *Electroanal Chem.* 2021;901:115794.
- [60] Ehrlich G. The mechanism of chemisorption on metals. *J Phys Chem Solids.* 1956; 1(1–2):3–13.

- [61] Agboola OD, Benson NU. Physisorption and chemisorption mechanisms influencing micro (nano) plastics-organic chemical contaminants interactions: a review. *Front Environ Sci.* 2021;9:167.
- [62] Behzadi H, Manzetti S, Dargahi M, et al. Application of calculated NMR parameters, aromaticity indices and wavefunction properties for evaluation of corrosion inhibition efficiency of pyrazine inhibitors. *J Mol Struct.* 2018;1151:34–40.
- [63] Bouklah M, Attayibat A, Kertit S, et al. A pyrazine derivative as corrosion inhibitor for steel in sulphuric acid solution. *Appl Surf Sci.* 2005;242(3–4):399–406.
- [64] Zhang S, Li H, Wang L, et al. New pyrazine derivatives as efficient inhibitors on mild steel corrosion in hydrochloric medium. *Chem Eng Transact.* 2016;55:289–294.
- [65] Qiang Y, Guo L, Li H, et al. Fabrication of environmentally friendly losartan potassium film for corrosion inhibition of mild steel in HCl medium. *Chem Eng J.* 2021;406: 126863.



Review

Green β -cyclodextrin-based corrosion inhibitors: Recent developments, innovations and future opportunities

Elyor Berdimurodov^{a,*}, Ilyos Eliboyev^a, Khasan Berdimuradov^b, Abduvali Kholikov^a,
Khamdam Akbarov^a, Omar Dagdag^c, Mohamed Rbaa^d, Brahim El Ibrahimi^e,
Dakeshwar Kumar Verma^f, Rajesh Haldhar^g, Nadia Arrousse^h

^a Faculty of Chemistry, National University of Uzbekistan, Tashkent 100034, Uzbekistan

^b Faculty of Industrial Viticulture and Food Production Technology, Shahrisabz branch of Tashkent Institute of Chemical Technology, Shahrisabz 181306, Uzbekistan

^c Institute of Nanotechnology and Water Sustainability, College of Science, Engineering and Technology, University of South Africa, Johannesburg, South Africa

^d Laboratory of Organic Chemistry, Catalysis and Environment, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, PO Box 133, 14000 Kenitra, Morocco

^e Department of Applied Chemistry, Faculty of Applied Sciences, Ibn Zohr University, 86153, Morocco

^f Department of Chemistry, Government Dignvijay Autonomous Postgraduate College, Rajnandgaon, Chhattisgarh 491441, India

^g School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan 712749, South Korea

^h Laboratory of Engineering, Electrochemistry, Modeling and Environment (LIEME), Faculty of Sciences, University Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fez, Morocco

ARTICLE INFO

Keywords:

Corrosion inhibitors
 β -Cyclodextrin
Green materials
Supramolecular systems
Nanoparticle
Graphene oxide
Nanocarriers

ABSTRACT

β -Cyclodextrin-based compounds are used to develop and innovate materials that protect against corrosion due to their sustainability, low cost, environmental friendliness, excellent water solubility and high inhibition efficiency. However, corrosion potentials of β -CD-based compounds were not reviewed with the modern trends. The essence of the problem is that a deep understanding of the development and innovation of β -CD-based compounds as corrosion inhibitors is very important in creating next-generation materials for corrosion protection. In this review, the fundamental behaviour, importance, developments and innovations of β -CD modified with natural and synthetic polymers, β -CD grafted with the organic compounds, β -CD-based supramolecular (host-guest) systems with organic molecules, polymer β -CD-based supramolecular (host-guest) systems, β -CD-based graphene oxide materials, β -CD-based nanoparticle materials and β -CD-based nanocarriers as corrosion inhibitors for various metals were reviewed and discussed with recent research works as examples. In addition, the corrosion inhibition of β -CD-based compounds for biocorrosion, microbial corrosion and biofouling was reviewed. It was found that (i) these compounds are sustainable, inexpensive, environmentally friendly, and highly water-soluble and have high inhibition efficiency; (ii) the molecular structure of β -CD makes it an excellent molecular container for corrosion inhibitors compounds; (iii) the β -CD is excellent core to develop the next generation of corrosion inhibitors. It is recommended that (i) β -CD compounds would be synthesized by green methods, such as using biological sustainable catalysts and green solvents, green methods include irradiation or heating, energy-efficient microwave irradiation, mechanochemical mixing, solid-state reactions, hydrothermal reactions and multicomponent reactions; (ii) this review will be helpful in creating, enhancing and innovating the next green and efficient materials for future corrosion protection in high-impact industries.

Abbreviations: Ultraviolet photoelectron spectroscopy, UPS; β -cyclodextrin, β -CD; Weight loss, WL; β -CD modifications with natural polymer, β -CD-XG; Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR; Differential scanning calorimeter, DSC; Complexation-induced shifts, CIS; Corrosion potential, E_{corr} ; Transmission Electron Microscopy, TEM; Electron dispersive X-ray spectroscopy, EDS or EDX; Diffusion-ordered spectroscopy, DOSY; National Association of Corrosion Engineers, NACE; Scanning electron microscopy, SEM; Angular dependent X-ray photoelectron spectroscopy, ADXPS; Electrochemical impedance spectroscopy, EIS; Potentiodynamic polarization, PDP; X-ray photoelectron spectroscopy, XPS; Proton nuclear magnetic resonance spectra, ^1H NMR; Carbon nuclear magnetic resonance spectra, ^{13}C NMR; Laser scanning confocal microscopy, LSCM; Charge transfer resistance, R_{ct} ; X-ray diffraction, XRD; Electrochemical frequency spectroscopy, EFM; Linear polarization resistance, LPR; Corrosion current density, I_{corr} .

* Corresponding author.

E-mail address: elyor170690@gmail.com (E. Berdimurodov).

<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119719>

Received 22 April 2022; Received in revised form 22 May 2022; Accepted 6 June 2022

Available online 11 June 2022

0144-8617/© 2022 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

1.1. Importance and novelty in this review

1.1.1. Importance

β -CD is used in many applications, including biotechnology (Bai et al., 2021; Gregorio Crini et al., 2021; Xu et al., 2010), decontamination (Foroutan et al., 2021; Kekes et al., 2021; Yang et al., 2013), remediation (Alsbaiee et al., 2016; Kumar et al., 2015), nanotechnologies (Chandra et al., 2019; Kamble et al., 2019; Pawar & Shende, 2020), microencapsulation (Chew et al., 2018; Piletti et al., 2019), pharmacy (Grégorio Crini & Aleya, 2021; Petitjean et al., 2021), medicine (Chen et al., 2018; Ren & Xu, 2018), enzyme technology (Zhang, Li, & Mao, 2019; Zhang, Mao, et al., 2019), fragrance (Abdelkader et al., 2019), aromas (Deng et al., 2022), cosmetics (Gregorio Crini et al., 2021; Giovannelli et al., 2021), textiles (Bezerra et al., 2020; Haji, 2020), membranes (Xue et al., 2020), catalysis (Akolkar et al., 2020), foods (Marques et al., 2019), sugar-based surfactants (Zhu et al., 2019), chromatography (Shuang et al., 2020), analytical chemistry (Shuang et al., 2020), click reactions (Zhang et al., 2020), agriculture (Chang Liu et al., 2019), supramolecular chemistry (Dalal et al., 2018; Niu et al., 2018) and macrocyclic compounds (Upadhyay & Ali, 2018). Its widespread use is due to its desirable natural properties. The role of β -CD in corrosion inhibitors are following:

- (i) β -CD is an innovative material for corrosion protection, many new materials would be synthesized and prepared with β -CD;
- (ii) β -CD is a green source of corrosion inhibitors, because, they are sustainable, inexpensive, environmentally friendly, and highly water-soluble;
- (iii) The outdoor active hydroxyl functional groups promote to become their high inhibition efficiency. These types of materials are very important for protecting metallic materials from destructive corrosion in high-impact industries such as the chemical, petrochemical, oil-gas, automobile and metallurgical industries;
- (iv) β -CD is high efficient supramolecular building system, it is a good opportunity to develop the supramolecular corrosion inhibitors;
- (v) The inhibition performance and water solubility of investigated inhibitors are importantly rose with the β -CD.

Therefore, a deep understanding of the development and innovation of β -CD-based compounds as corrosion inhibitors is very important in creating next-generation materials for corrosion protection (Umoren & Eduok, 2016).

1.1.2. Novelty

The main characteristics, developments and innovations, and future perspectives, of corrosion inhibitors based on β -CD compounds were reviewed and discussed with relevant examples and details. This review may be helpful in introducing and developing sustainable corrosion inhibitors based on β -CD compounds for corrosion protection in the chemical, petrochemical, oil-gas, automobile and metallurgical industries.

1.2. Main characteristics, impacts and protection of corrosion

The corrosion of metal-based materials is an electrochemical process. As a result of corrosion, the main properties of metals are lost (Quraishi, Chauhan, & Saji, 2021; Verma, Ebenso, & Quraishi, 2020). Corrosion of metal materials occurs in aqueous and atmospheric environments (Quraishi, Chauhan, & Saji, 2021; Verma, Quraishi, & Ebenso, 2020). It depends on many important factors, such as the temperature, pH of the corrosive solution, metal reactivity, component values in metal alloys, nature of corrosive ions and concentrations, metal surface nature and concentration of oxygen (Berdimurodov, Kholikov, Akbarov, Guo, Kaya,

Katin, Verma, Rbaa, and Dagdag, 2022a; Berdimurodov, Kholikov, Akbarov, Guo, Kaya, Verma, Rbaa, and Dagdag, 2022d). Metallic materials also corrode during industrial applications such as pickling, acid cleaning, acidizing, crude oil transportation, heating and cooling (Chaubey et al., 2021; Umoren et al., 2019). The corrosion of metallic materials is a serious economic, environmental and industrial issue. Approximately 2.5–3 trillion US dollars (estimated 3.5–4 % of global GDP) are lost due to corrosion-related problems (Berdimurodov, Kholikov, Akbarov, Guo, Abdullah, & Elik, 2021; Haldhar et al., 2021; Shahmoradi et al., 2021). Developed countries, such as the US, China, India, the United Kingdom, France, Germany, Brazil and others, have spent large portions of their budgets on mitigating corrosion problems. In engineering, material and chemical sciences, several effective ways to protect metals from corrosion have been suggested; these methods include the use of corrosion inhibitors, galvanization, electrochemical (anodic and cathodic protection), dealloying, coatings, alloying and painting, which are the most commonly used methods in corrosion protection (Verma, Alrefaee, Rhee, et al., 2021; Verma & Quraishi, 2021). Corrosion inhibitors are inorganic and organic compounds (Berdimurodov, Kholikov, Akbarov, Obot, & Guo, 2021; Berdimurodov, Verma, Kholikov, Akbarov, & Guo, 2021; Dagdag et al., 2021). They are water soluble and efficiently inhibit corrosion. Nevertheless, there are highly toxic chemicals, which are a serious problem that limits their wide use in industries because of increasing ecological awareness and strict environmental regulations (Obot et al., 2019; Verma, Alfantazi, & Quraishi, 2021). Currently, green and efficient corrosion inhibitors (Berdimurodov, Kholikov, Akbarov, Guo, Kaya, Katin, Verma, Rbaa, Dagdag, and Haldhar, 2022b) are very important for protecting against corrosion (Berdimurodov et al., 2020; Verma, Kazi, Alqahtani, et al., 2021).

At present, the macrocycles and organic molecules with hetero atoms, polymeric materials and inorganic salts are mostly used as corrosion inhibitors. The macrocyclic compounds are large planar systems, their following derivatives are most used as effective corrosion inhibitors: the crown ethers, phthalocyanines, porphyrin rings, cyclodextrins and calixarenes. Some pharmaceutical compounds are macrocyclic compounds such as antibiotics. These compounds have good chelate effects, which means that the macrocyclic compounds strongly interacted with the metal's surface through the chelate centres (Alrefaee et al., 2021; Verma, Abdellattif, Alfantazi, & Quraishi, 2021). Their mass is high, it is also responsible for the large size of the metal surface is protected from corrosion. It is also confirmed that the phenyl rings, conjugation, chelate centres and greater number of heteroatoms p-bonds are attributed to an increase in corrosion inhibition. Additionally, the number and size of heteroatoms of the macrocyclic compounds can also affect the corrosion performance (Quraishi, Chauhan, & Ansari, 2021). These inhibitors can protect metals from destructive corrosion in aqueous systems, which include acidic (0.1–1 M HCl, H₂SO₄, H₃PO₄, H₂S), saline (3.5 % NaCl or simulated sea water), neutral, bacterial or microbial solutions.

The organic molecules with hetero atoms (P, O, S, N, etc.) are also the next most used corrosion inhibitors. The benzimidazoles, benzotriazoles, oxadiazoles, thiazoles, indoles, tetrazoles, triazoles, imidazoles, pyrazole, pyrimidines and pyridines are mostly used organic molecules with hetero atoms (P, O, S, N, etc.). The core of plant extracts, phytochemicals pharmaceutical compounds, ionic liquids, carbohydrates and proteins are also organic heterocyclic compounds. These compounds are the most efficient corrosion inhibitors. This is due to they have more hetero atoms and functional groups, which promote corrosion inhibition (Quraishi, Chauhan, & Ansari, 2021; Verma, Alrefaee, Quraishi, et al., 2021).

Polymer corrosion inhibitors are the next important type of corrosion inhibitors. For example, carbohydrates, polysaccharides, polysulfide, phosphate esters, polycarboxylates/polycarboxylic acids, polyanilines, polyaspartates and other polyaminoacids, polyvinylamide derivatives and polyamine derivatives are mostly used in corrosion inhibitors. These

polymer type corrosion inhibitors contained more active functional groups, which are mainly responsible for their corrosion inhibition (Dwivedi et al., 2021; Fathima Sabirneeza et al., 2015; Tiu & Advincula, 2015). It is confirmed that the corrosion protection of polymer corrosion inhibitors was over 90–98 % in CO₂ and H₂S contamination, acid stimulation and oxygen saturated environments.

Inorganic salts are interestingly performed in corrosion protection. For example, chromates are the most powerful corrosion inhibitors for copper, zinc, aluminium, carbon steel and mild steel in aggressive acidic, alkaline, saline and another medium. However, these compounds are hazardous chemicals. The cerium chloride (CeCl₃) and sodium silicate (Na₂Si₂O₅) are also the most efficient inorganic salts for zinc corrosion in an aerated corrosive solution of 0.5 M NaCl. The lanthanide salts are more efficient for the various metal in saline environments. The Cu-Ni alloys were mostly performed for steel in 0.6 M NaCl (Verma et al., 2017).

Green corrosion inhibitors are synthesized in environmentally friendly ways, such as through ultrasonic irradiation, microwave irradiation, mechanochemical mixing, solid-state reactions, hydrothermal reactions and multicomponent reactions (Berdimurodov, Kholikov, Akbarov, & Guo, 2021a; Zhu et al., 2022). It is indicated that β -CD-based compounds are sustainable and green corrosion inhibitors. Currently, they are often used in corrosion protection (Verma, Alrefae, Quraishi, et al., 2021). The corrosion inhibitors are adsorbed onto the metal surface to form a stronger protective thin film. The chemical and physical adsorption mechanisms are most favourable for inhibitor adsorption and the formation of protective films (Chauhan et al., 2020a; Quadri et al., 2021). The contact between the metal surface and corrosive solution can be effectively insulated by the formation of a defender layer. As a result, the diffusion of or penetration by corrosive anions, water molecules and oxygen are considerably reduced. Mainly β -CD derivatives contained more nitrogen atoms, so, their nitrogen atoms are protonated. The results obtained in several research works (Berdimurodov, Kholikov, Akbarov, Guo, Kaya, et al., 2021; Berdimurodov, Kholikov, Akbarov, Guo, Kaya, Katin, Verma, Rbaa, and Dagdag, 2022a) have shown that physical adsorption occurs by electrostatic interactions between the positively charged nitrogen atoms of the inhibitor and the negatively charged metal surface. On the other hand (Bahgat Radwan et al., 2021; Berdimurodov, Kholikov, Akbarov, & Guo, 2021b), they adsorb onto the metal surface by the formation of rigid covalent bonds (Mishra et al., 2020). It is the emphasis on the fact that β -CD-based compounds may react with metal ions. This is due to these compounds containing more electron-rich heteroatoms, functional groups and aromatic π -systems, which support the chemical interaction between the corrosion inhibitor and metal surface. The electron pairs from the inhibitor are transferred to vacant d-orbitals of metal; as a result, rigid chemical bonds are formed.

1.3. Basics in β -CD properties for corrosion inhibition

Table S1 lists the fundamental β -CD properties (Amiri & Rahimi, 2016). β -CD is a macrocyclic oligomer that contains 7 glucosidic units. It contains truncated cone-shaped structures with a hydrophilic exterior surface and a hydrophobic interior cavity. This cavity enables guest molecules to be included in the formation of supramolecular complexes (Amiri & Rahimi, 2016). Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), differential scanning calorimetry, scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD) and proton nuclear magnetic resonance (¹H NMR) have confirmed that the hydrophobic cavity of β -CD enables the efficient formation of host-guest complexes and the encapsulation of organic compounds (Saji, 2019). The outer diameter, cavity diameter (Å), the height of the torus (Å) and cavity volume (Å³) can be made more available through the development and innovation of β -CD for creating new types of corrosion inhibitors. The main properties (properties, volatility, optical properties, dispersibility, stability, solubility, chemical and physical performances) of targeted compounds are considerably

changed in the formation of host-guest complexes with β -CD. In particular, the corrosion inhibition performances of other compounds are also enhanced by β -CD. The molecular structure of β -CD makes it an excellent molecular container for metal-organic, inorganic, organometallic, organic, polymer and ionic liquids, which may be anionic, cationic, neutral or radical compounds.

1.4. Importance of the molecular structure of β -CD for corrosion inhibition

Fig. S1 shows the molecular structure of β -CD (Upadhyay & Kumar, 2009). The molecular structure of β -CD has been investigated to determine its efficacy as a supramolecular agent, polymer inclusion complex and nano-compound in corrosion science. β -CD has a nonhygroscopic, homogeneous, crystalline molecular structure and contains 7 D-glucose units, which are attached by α -(1 $\rightarrow$ 4) glycosidic linkages. The nonbonding electron pairs of the glycosidic oxygen bridges are directed towards the inside of the cavity, leading to a high electron density and Lewis base character. These properties suggest that the β -CD cavity is comparatively hydrophobic compared to the exterior faces, which are hydrophilic. The primary hydroxyl groups (connected to glucose units by -CH₂) and secondary hydroxyl groups (connected directly to glucose units) on the outside of the β -CD are responsible for achieving good water solubility (Shahini, Ramezanzadeh, & Mohammadloo, 2021; Umoren & Eduok, 2016; Upadhyay & Kumar, 2009). β -CD contains a hydrophobic cavity and hydrophilic exterior, though it contains inner and outer hydroxyl functional groups. The hydrophobic cavity and inner hydroxyl functional groups promote the formation of host-guest complexes and nanocarriers. The β -CD modifications were formed through the outer hydroxyl functional groups. For example, the β -CD was modified with the nanomaterials and polymers by the reaction between the outer hydroxyl functional groups and carboxyl functional groups of substrates. The inhibition properties of β -CD can be improved by chemical modification on -OH groups on the exterior rims.

The outer dimension of β -CD is 1.54 nm, while the inner dimension is 0.65 nm. The H-1', H-2', H-4' and H-6' protons are cited at the outer surface of β -CD, which promotes the hydrophilicity, while the H-3' and H-5' protons inside the central cavity lead to the hydrophobicity of the central cavity. β -CD has a glucose-4C₁ (chair) conformation. The primary hydroxyl groups (n) are located at the narrower rim, whereas the wider rim is lined with secondary hydroxyl groups (2n). The many hydroxyl groups outside of the β -CD make the molecule water-soluble, while the inside of the cavity is hydrophobic. Their water solubility and ability to encapsulate hydrophobic moieties within their core cavities through noncovalent interactions are aided by these features (Tang et al., 2020; Upadhyay & Ali, 2018).

1.5. Importance and inhibition effectiveness of β -CD-based compounds in corrosion protection

1.5.1. Importance of β -CD-based compounds in corrosion protection

β -CD-based compounds have excellent water solubility and high inhibition efficiency at high and low temperatures at low concentrations. These properties make these compounds more effective in preventing metal corrosion in cooling and heating systems. These compounds are also environmentally friendly and inexpensive components of corrosion protection. These properties make them new generations of corrosion inhibitors, and in the future, they will be used primarily as protective agents. Additionally, the inhibition properties, fundamental performances and physicochemical characteristics of organic compounds, polymers, inorganic salts, coordination compounds, nanotubes, nanoparticles, natural compounds, nanocarriers, graphene oxide and inclusion complexes are extremely enhanced by β -CD. β -CD-based compounds are synthesized by environmentally friendly and cost-effective methods. Finally, these compounds can be suitably modified, have versatile applications and commercial availability, are easy to

process, undergo complexation and chelating behaviour and are highly soluble (Dehghani et al., 2020a, 2020c; Dehghani, Bahlakeh, Ramezanzadeh, & Hossein Jafari Mofidabadi, 2021; Verma & Quraishi, 2021).

Effectiveness of β -CD-based compounds at inhibiting corrosion.

β -CD-based corrosion inhibitors can cover a large area of a metal surface as a firmly attached, compact film. They have a large structure, π -bonds, and several active chemical groups. The active functional groups containing heteroatoms (N, O, S, etc.) are present in their molecular structures, and the inhibitor donates the lone pairs of electrons from the heteroatoms to the vacant d-orbitals of the metal (Fe, Al, Cu, Zn, etc.). They can oxidize the metal, thereby forming a passive/protective layer on the metal surface (de Souza et al., 2016; Umoren & Eduok, 2016). A thin, protective film has been formed in the presence of β -CD-based corrosion inhibitors. This film is more stable in highly acidic, basic, saline, condensate and other electrolyte solutions. The inhibition efficiency was over 98 % at low concentrations (10–100 mg/L). It has been confirmed (Verma & Quraishi, 2021) that good corrosion inhibitors require more polar functional groups: $-\text{SO}_3\text{H}$ (sulfonic acid), $-\text{CONH}_2$ (amide), $-\text{COOC}_2\text{H}_5$ (ester), $-\text{COOH}$ (carboxyl), $-\text{NO}_2$ (nitro), $-\text{CN}$ (nitrile), $-\text{N}<(\text{3-amine})$, $-\text{NH}_2$ (amino; 1-amine), $-\text{OMe}$ (methoxy), $-\text{S}$ (thio-ether), $-\text{O}$ (ether), $-\text{OH}$ (hydroxyl) and multiple bonds of side chains and aromatic ring(s): $-\text{C}\equiv\text{N}$, $-\text{C}\equiv\text{C}-$, $-\text{N}=\text{N}-$, $>\text{C}=\text{O}$, $-\text{N}=\text{C}<$ and $>\text{C}=\text{C}<$. β -CD-based corrosion inhibitors contain the above polar functional groups, adsorption centres, multiple bonds of side chains and aromatic ring(s), and these structural features are responsible for the high inhibition efficiency (Tang et al., 2020; Verma & Quraishi, 2021; Dewangan et al., 2022; Omar Dagdag et al., 2022).

1.5.2. In comparison with other types of cyclodextrins

The three types of cyclodextrins are named (6-membered cyclodextrins) α -, (8-membered cyclodextrins) β -, and (10-membered cyclodextrins) γ -cyclodextrins occur naturally. It is confirmed (Shahini, Ramezanzadeh, & Mohammadloo, 2021; Umoren & Eduok, 2016) that β -cyclodextrin and its derivatives are mostly applied as green corrosion inhibitors for various metals in acidic, saline and other corrosion solutions. The reasons for this are the following:

- (i) β -CD is an easily produced, economically efficient, and environmental friendly molecule;
- (ii) β -CD is more efficient to form the host-guest inclusion complex through its hydrophobic cavity;
- (iii) The inhibition performance of β -CDs can be rose efficiently by chemical modification on $-\text{OH}$ groups on the exterior rims;
- (iv) β -CD was mostly in pharmacology, textile industry and other main industries, therefore, expired products of β -CD from the above industries are more comfortable recycling and used as green corrosion sources.

1.6. Greenness in the selection of β -CD-based compounds as corrosion inhibitors

The increasing ecological awareness and strict environmental regulations in the modern industry require developing green materials. In modern times, sustainable and environmentally friendly corrosion inhibitors based on β -CD compounds are used in many industries due to their high sustainability in corrosion protection. Traditional corrosion inhibitors are toxic and expensive. Various organizations, including REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of the Chemical), the WHO (World Health Organization), the (IPCS) International Programme on Chemical Safety and the OSPAR (Oslo Paris Commission), calculate the environmental influence of chemical compounds such as corrosion inhibitors. These international standards indicate that corrosion inhibitors have negligible environmental toxicity, do not exhibit bioaccumulation behaviour, are non-volatile, and have high natural biodegradability. β -CD compounds are natural and are synthesized according to the regulations of these international

standards. The toxicity of corrosion inhibitors is estimated according to the lethal concentration (LC_{50}) and ethical concentration (EC_{50}) values. It has been shown that if the magnitude of the $\text{EC}_{50}/\text{LC}_{50}$ ratio surpasses 10 mg/L, then the corrosion inhibitor is a green material (Verma, Alrefaee, Quraishi, et al., 2021). The $\text{EC}_{50}/\text{LC}_{50}$ ratio of β -CD-based compounds supports their greenness in corrosion protection. The partition coefficient ($\log K_{\text{OW}}$ or D^{OW}) indicates the level of bioaccumulation. When the $\log K_{\text{OW}}$ or D^{OW} magnitude is under 3, corrosion inhibitors have nonbioaccumulative behaviour. The OSPAR regulations confirmed that the biodegradation rate of an environmentally friendly chemical is 60 % or more in 28 days (Verma, Alrefaee, Quraishi, et al., 2021). The partition coefficient – a test of the distribution of the chemical between an octanol and water mixture expressed as Log (Po/w) shows the bioaccumulation evaluation. Green chemicals require a log (Po/w) of less than 3. It is believed that β -CD-based compounds are nonbioaccumulative and highly biodegradable materials because they are natural compounds. This review article describes the main characteristics of β -CD-based environmentally sustainable compounds as corrosion inhibitors for various metals (Altin et al., 2018; Eddib et al., 2012; Wang et al., 2015).

1.6.1. Challenges for future research and perspectives

It is suggested that β -CD compounds would be synthesized by green methods, such as using biological sustainable catalysts and green solvents, which include water, ionic liquids and supercritical CO_2 . Other green methods include ultrasonic irradiation or heating, energy-efficient microwaves, mechanochemical mixing, solid-state reactions, hydrothermal reactions and multicomponent reactions (Saji, 2019; Tang et al., 2020; Umoren & Eduok, 2016) would be suggested in future research direction. This would be β -CD compounds sustainable corrosion inhibitors in future.

1.7. Classification of β -CD-based compounds as corrosion inhibitors

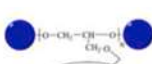
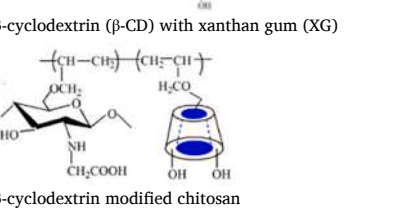
In this review, it is estimated that β -CD-based corrosion inhibitors are classified into the following categories according to the literature review:

- (i) β -CD modification with natural and synthetic polymers;
- (ii) grafted β -CD with organic compounds;
- (iii) β -CD-based supramolecular (host-guest) systems with organic molecules;
- (iv) β -CD-based supramolecular (host-guest) systems with polymer;
- (v) β -CD-based graphene oxide materials;
- (vi) β -CD-based nanoparticle materials;
- (vii) β -CD-based nanotube materials.
- (viii) β -CD-based nanocarriers.

They differ in their corrosion inhibition characteristics, chemical and physical properties, molecular or materials structures, polar functional groups and other features. The following details have described the classification of β -CD-based compounds as corrosion inhibitors:

- (i) β -CD was modified with the natural and synthetic polymers by the outdoor active hydroxyl functional groups in the formation of the simple ether bonds. The molecular structures of these compounds are presented in Tables 1 and 2. It is clear from these details, that this type of β -CD modification is formed by the building of $\text{O}-\text{C}$ bonds. For instance, Cao, Zou, Wang, Chen, et al. (2021) modified β -CD with natural xanthan gum (XG) to create β -CD modified with a natural polymer (β -CD-XG). In comparison, Wang et al. (2021) introduced new β -CD modifications with polyacrylamide as corrosion-resistant molecules for X80 steel in a 1 mol/L sulfuric acid solution. This grafted β -CD was a water-soluble, nontoxic, low-cost and high-efficiency synthetic polymer.

Table 1
Main characteristics of β -CD modifications with natural polymers as corrosion inhibitors.

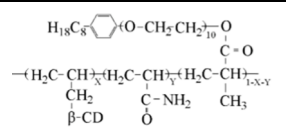
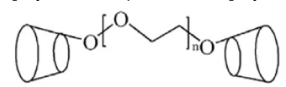
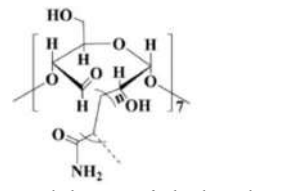
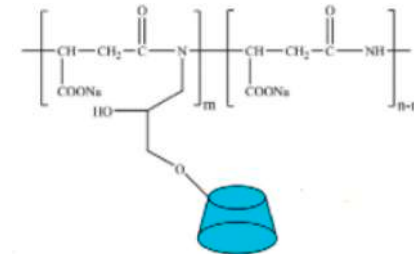
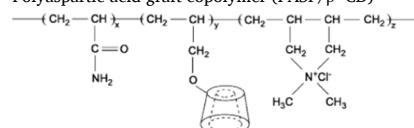
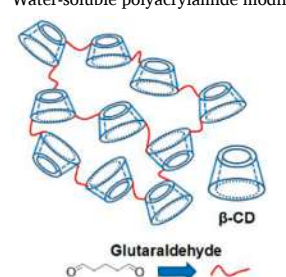
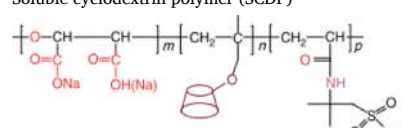
N ^o	Name/molecular structure	Metal type/ electrolyte	Protective degree/inhibitor type/adsorption isotherm	Ref.
1.		X80 steel/1 M H ₂ SO ₄	94.85 % at 150 mg/L/mixed-type corrosion inhibitor predominantly as anodic inhibitor/Langmuir	(Cao, Zou, Wang, Chen, et al., 2021)
2.		L80 steel/1 mol/ L HCl	94.74 % at 200 mg/L/mixed-type inhibitor, primarily acts on the anode/Langmuir	(Cao, Zou, Wang, Liang, et al., 2021)
3.	 β -cyclodextrin (β -CD) with xanthan gum (XG)	Carbon steel/0.5 M HCl	96.02 % at 230 mg/L/mixed-type corrosion inhibitor which involved both physisorption and chemisorption/Langmuir	(Liu et al., 2015)

- (ii) β -CD was effectively grafted with organic compounds through the decarbonisation reaction. Table 3 shows the main characteristics of grafted β -CD with organic molecules as corrosion inhibitors. For instance, Eddib et al. (2012) introduced hydroxypropyl-beta-cyclodextrin (HP- β -CD) as a natural and effective corrosion inhibitor for 316 austenitic stainless steel in 0.1 M HCl.
- (iii) At present, β -CD supramolecular systems are also employed as corrosion inhibitors. These molecules are three-dimensional (3D) constructed systems. They have two parts the host and the guest, and the cavity size of the host (β -CD) is under 1 nm. The host and guest are linked or interact through hydrophobic effects, coordination bonds, close packing, van der Waals forces, CH- π bonds, cation- π bonds, hydrogen (H) bonding, dipole-dipole forces, ion-dipole interactions and ion-ion interactions. Table 4 indicated the molecular structure of β -CD-based supramolecular (host-guest) systems with organic molecules as corrosion inhibitors. For instance, Fan et al. (2014a) synthesized β -CD-based supramolecular (host-guest) systems based on β -CD and octadecylamine (ODA) n-hexane through a fast hybrid method.
- (iv) The polymers are interesting guests for β -CD host. Currently, some polymers are encapsulated into β -CD host cavity to form stable polymer based host-guest systems. The polymer β -CD-based supramolecular (host-guest) systems are more stable, in which the host and guest interact through π interactions, H bonding and noncovalent interactions. Polymer supramolecular compounds are self-organized macromolecules of conventional polymers (Chugh et al., 2021; Ma et al., 2020), in which the host and guest are stabilized by noncovalent interactions. Table 5 lists the molecular structures of polymer β -CD-based supramolecular (host-guest) systems as corrosion inhibitors. For instance, Ma et al. (2019) synthesized a water-soluble crosslinked β -CD polymer with glutaraldehyde.
- (v) At present, graphene oxide is modified with β -CD to enhance its inhibition properties. Table 6 shows the molecular structure of β -CD-based graphene oxide materials as corrosion inhibitors. In this modification, the β -CD is linked with the graphene oxide by the formation of O-C bonds, which are strong covalent bonds. For instance, Haruna et al. (2019) synthesized cyclodextrin-based functionalized graphene oxide (CD-GO), and its inhibition performance for steel in a 1 M HCl solution was studied by weight and electrochemical methods.
- (vi) The nanoparticles are most used in corrosion protection, because of their multifunctional properties. Currently, the β -CD modifications with the nanoparticles are an important issue in developing the anticorrosion properties of nanoparticles. Table 7 reveals the estimated structure of the β -CD-based nanoparticle material as a corrosion inhibitor. For example, Yang et al. (2020) prepared β -CD-silica-based nanoparticles and studied their inhibition performances for Mg alloys (AZ31) in a 3.5 % NaCl solution. In these compounds, the role of β -CD is nanocontainer, which carried out the corrosion inhibitors.
- (vii) The nanotube materials are new materials in corrosion protection. Some research works suggested that the β -CD modifications with nanotubes are more efficient as corrosion inhibitors. The corrosion performances of nanotubes were increased by the β -CD modifications. The size of nanotubes is importantly rose with the β -CD modifications. Then, the nanotubes contained many corrosion inhibitors. For example, Brycht et al. (2018) studied the corrosion inhibition properties of β -cyclodextrin-multiwalled carbon nanotube modification of AISI-type 316 L stainless steel in 3.5 % NaCl solution at 1.0×10^{-3} M by PDP methods.
- (viii) β -CD-based nanocarriers are mostly used in protective coatings. The β -CD was modified to coatings by the various methods. β -CD-based nanocarriers encapsulate or load various types of inhibitors and/or self-healing agents (Habib et al., 2021). It was found that the synergistic effects between the host and guest in the nanocarriers are very important. These effects are very strong in β -CD-based nanocarriers. Both the β -CD and encapsulated organic compounds synergistically enhanced key coating properties to maximize impact. Table 8 shows the main properties of β -CD-based nanocarriers as corrosion inhibitors in protective coatings. As shown, the 2-mercaptobenzothiazole (MBT), 2-mercaptobenzimidazole (MBI) were mainly loaded/capsulated organic and inorganic-organic compounds.

2. β -CD modifications with natural polymer as green and efficient corrosion inhibitors

β -CD has been modified with natural polymers to create new polymer-type corrosion inhibitors. Natural polymers have been used because although some are not soluble, their structures contain electron-rich functional groups, which promote corrosion inhibition performance (Cao, Zou, Wang, Chen, et al., 2021). The β -CD modified with natural

Table 2Main characteristics of the β -CD modified with synthetic polymers as corrosion inhibitors.

N ^o	Name/molecular structure	Metal type/electrolyte	Protective degree/inhibitor type/adsorption isotherm	Ref.
1.	 poly(AM-co-A-β-CD-co-AE) polymer	Carbon steel/0.5 M H ₂ SO ₄	90 %/—	(Zou et al., 2012)
2.	 β-cyclodextrin polyethylene glycol (β-CDePEG)	Q235 carbon steel/0.5 M H ₂ SO ₄	97 ± 0.05 % at 100 mg/L/mixed-type corrosion inhibitor/Langmuir	(Zou, Liu, et al., 2014)
3.	 β-cyclodextrin grafted polyacrylamide	Pipeline steel (X80 steel)/1 mol/L H ₂ SO ₄	91.34 % at 200 mg/L/mixed-type inhibitors predominantly as cathodic inhibitor/Langmuir	(Wang et al., 2021)
4.	 Polyaspartic acid graft copolymer (PASP/β-CD)	N80 carbon steel/Simulate oilfield water (50.0 g/L of NaCl, 2.0 g/L of MgCl ₂ ·6H ₂ O, 6.0 g/L of Na ₂ SO ₄ , 4.0 g/L of CaCl ₂ , and 0.4 g/L NaHCO ₃).	94.6 % at 250 mg/L/mixed-type/-	(Fu et al., 2020)
5.	 Water-soluble polyacrylamide modified by β-cyclodextrin (ACDPAM)	X70 steel/0.5 mol/L H ₂ SO ₄	6 % at 150 mg/L/mixed-type inhibitor/Langmuir	(Yan et al., 2014)
6.	 Soluble cyclodextrin polymer (SCDP)	Mild steel/3.5 % NaCl solution.	92.2 % at 30 °C and 125 mg/L/-	(Ma et al., 2019)
7.	 β-MEA was synthesized from β-cyclodextrin (β-CD), 3-chloro-2-methylpropene (MAC), epoxysuccinic acid (ESA), and 2-acrylamido-2-methyl propane sulfonic acid (AMPS) with a (NH₄)₂S₂O₈-NaHSO₃.	N80 carbon steel/solution A: NaCl = 7.5 g/L, BaCl ₂ ·2H ₂ O = 0.66 g/L; solution B: NaCl = 7.5 g/L, Na ₂ SO ₄ = 0.8 g/L.	Approximately 100 % at 20 mg/L/-	(Chem et al., 2017)
8.	 Divinyl sulfone cross-linked β-cyclodextrin polymer (βCDS-P)	Zn anode/3.5 M KOH in the temperature range 25–55 °C.	93.61 % at 250 ppm/Langmuir	(Abd El-Lateef & Elremaily, 2016)

(continued on next page)

Table 2 (continued)

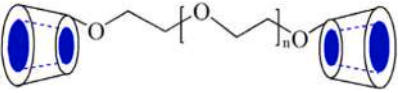
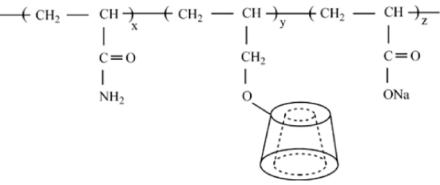
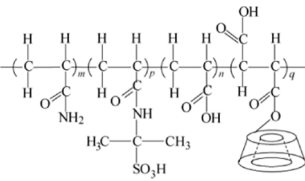
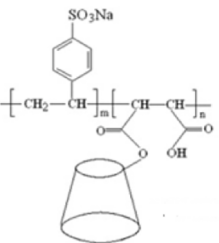
N ^o	Name/molecular structure	Metal type/electrolyte	Protective degree/inhibitor type/adsorption isotherm	Ref.
9.	 β-cyclodextrin-polyethylene glycol (β-CD-PEG)	Steel/produced-water in shale gas well	89.1 %, at the 180 mg/L/-	(Liu et al., 2016)
10.	 β-Cyclodextrin-modified acrylamide polymer (poly(AM-co-A-b-CD-co-NaAA))	X70 steel/0.5 M H ₂ SO ₄ solution	84.9 % for 150 mg L at 303 K/ mixed-type inhibitor/Langmuir	(Zou, Yan et al., 2014)
11.	 β-cyclodextrin [poly(AA-AM-AMPS-MAH-β-CD)]	P110 carbon steel/0.5 M hydrochloric acid	-/73% at 150 mg/L/mixed-type inhibitor/-	(He et al., 2014a)
12.	 Water-soluble modification of β-CD-MA prepared via the reaction of beta cyclodextrin (β-CD) and maleic anhydride (MA).	Iron/CaCO ₃ and Ca ₃ (PO ₄) ₂ scale	99.9 % of scale inhibition efficiency for CaCO ₃ and 95.5 % for Ca ₃ (PO ₄) ₂	(Gu et al., 2013)

Table 3

Main characteristics of grafted β-CD with organic molecules as corrosion inhibitors.

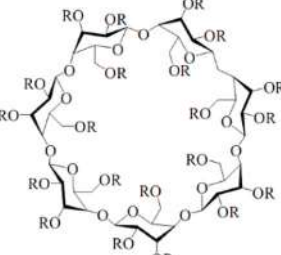
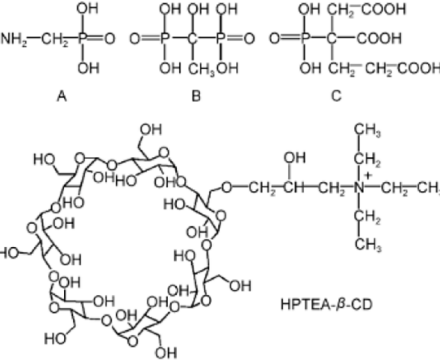
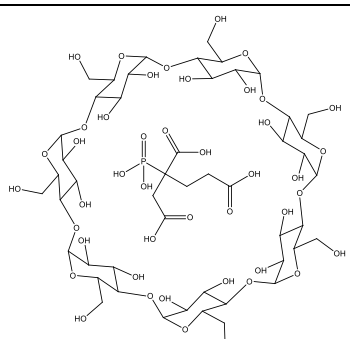
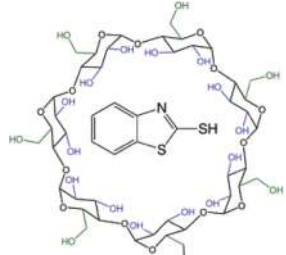
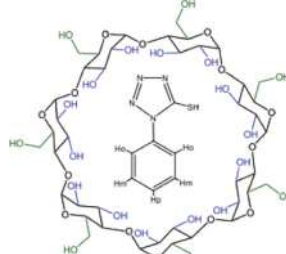
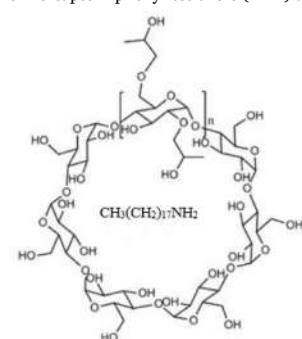
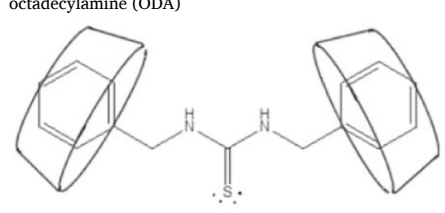
N ^o	Name/molecular structure	Metal type/electrolyte	Protective degree/inhibitor type/adsorption isotherm	Ref.
1.	 Hydroxypropyl-beta-cyclodextrin (HP-β-CD), (C ₄₂ H _{70-n} O ₃₅) (C ₃ H ₇ O) _n , R = H, n = 6.31.	316 austenitic stainless steel/0.1 M HCl	54 % at 10 mM/anodic inhibitors/-	(Eddib et al., 2012)
2.	 Organic phosphate molecules A, B, C, and HPTEA-β-CD.	Q235 steel/-	91.50 %/-	(Wang et al., 2015)

Table 4Main characteristics of β -CD-based supramolecular (host-guest) systems with organic molecules as corrosion inhibitors.

N ^o	Name/molecular structure	Metal type/electrolyte	Protective degree/inhibitor type/adsorption isotherm	Ref.
1.	 2-Phosphonobutane-1,2,4-tricarboxylic acid (PBTCA) with β-CD	Q235 carbon steel/0.1 M sulfuric acid	90 % at 100 mg/L/Mixed type/-	(Zou, Tang, Zhao, et al., 2013) (Zou, Tang, Lan, et al., 2013)
2.	 2-mercapto-benzothiazole and β-CD	Zinc/0.1 M KCl	–	(Altin et al., 2019)
3.	 5-mercapto-1-phenyl-tetrazole (MPT) and β-CD	Bronze/environmental sample solutions (acid rain)	98 % at 654 M ⁻¹	(Monticelli et al., 2019)
4.	 Hydroxypropyl-β-cyclodextrin (HP-β-CD) supramolecular complex with octadecylamine (ODA)	Q235A steel/simulated boiler water condensate from power plants	95 % at 85 °C and 50 mg/L/-	(Fan et al., 2014b)
5.	 Dibenzylthiourea (DBT) with α and β forms of hydroxypropylated cyclodextrins	Carbon steel/1 M HCl	91.3 % (HP α CD:DBT) and 85.9 % (HP β CD:DBT) complexes at 0.1 mM/-	(de Souza et al., 2016)

(continued on next page)

Table 4 (continued)

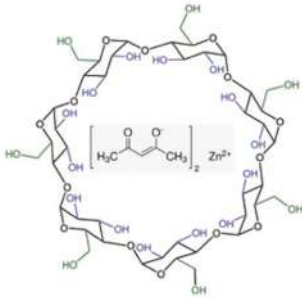
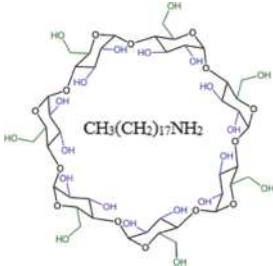
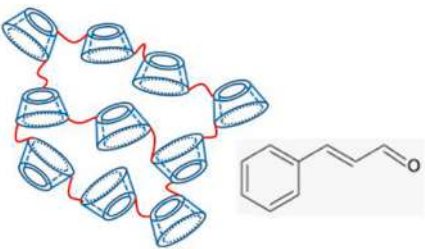
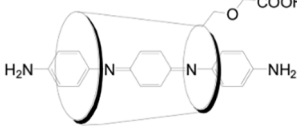
N ^o	Name/molecular structure	Metal type/electrolyte	Protective degree/inhibitor type/adsorption isotherm	Ref.
6.		Mild steel/3.5 wt% NaCl solution	88 %/-	(Dehghani et al., 2020a)
7.	 β-Cyclodextrin (β-CD) and octadecylamine (ODA)	Mild/condensate water 20# steel/condensate water	Highly efficient at 50 mg/L/ Langmuir/- 83.3 % at 50 mg/L/-	(Fan, Wei, et al., 2018) (Fan et al., 2014a)

Table 5

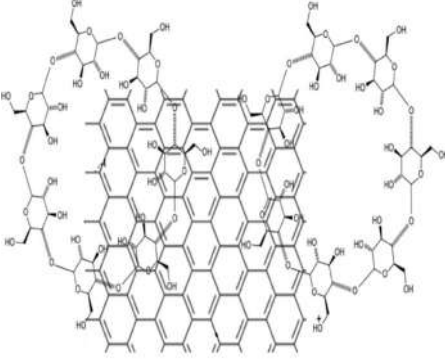
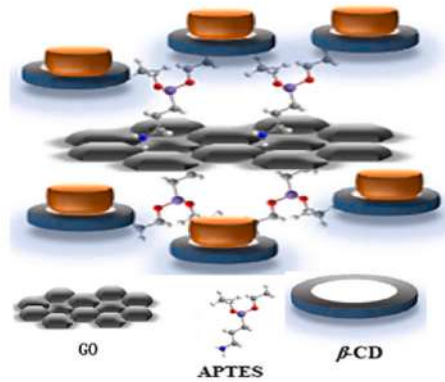
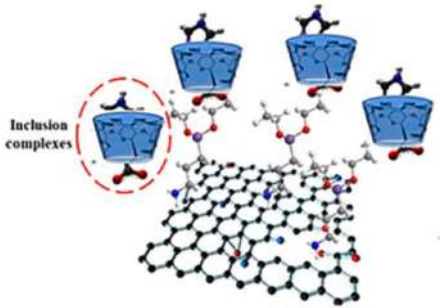
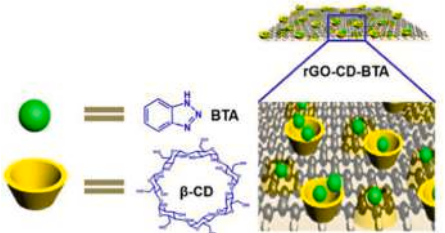
Main characteristics of polymer β-CD-based supramolecular (host-guest) systems as corrosion inhibitors.

N ^o	Name/molecular structure	Metal type/electrolyte	Protective degree/inhibitor type/adsorption isotherm	Ref.
1.		Mild Steel/3.5 % NaCl Solution	92.2 % at 30 °C and 125 mg/L/-	(Ma et al., 2019)
2.	 Carboxymethylated beta-cyclodextrin (CM-β-CD) and an aniline trimer (AT)	Q235 carbon steel/1 M HCl solution	99.2 % at 250 mg/L/Langmuir solution	(Yang et al., 2019)

polymers is highly water-soluble and more polar molecules. The increased solubility of β-CD in the aqueous phase is attributed to the addition of soluble natural polymers. Additionally, β-CD modifications with natural polymers are environmentally friendly, biodegradable, inexpensive, nonvolatile, good inhibition polymers and nontoxic compounds (Liu et al., 2015). These properties make the selected corrosion inhibitors more efficient for metal protection. Therefore, β-CD modifications with natural polymers have garnered interest in creating excellent corrosion inhibitors in the gas and oil industries (Cao, Zou, Wang, Liang, et al., 2021). Some research works are divided into the syntheses of β-CD modifications with natural polymers and studies on their corrosion inhibition performance. Table 1 indicates the main characteristics of β-CD modified with natural polymers as corrosion inhibitors. For example, Cao, Zou, Wang, Chen, et al. (2021) modified β-CD with

natural xanthan gum (XG) to create β-CD modified with a natural polymer (β-CD-XG). The inhibition performance of this modification for X80 steel in 1 M H₂SO₄ was studied by the PDP, ESI and WL, and it was found that the maximum inhibition efficiency was 94.85 % at 150 mg/L and that it is a mixed-type corrosion inhibitor predominantly as an anodic inhibitor obeying the Langmuir isotherm. This β-CD-XG chemisorbed onto the metal surface according to the results of the surface and adsorption experiments. In another study (Cao, Zou, Wang, Liang, et al., 2021), the inhibition properties of β-CD-XG for L80 steel in 1 mol/L HCl were studied by X-ray photoelectron spectroscopy, Fourier transform infrared spectroscopy, adsorption isotherm electrochemical methods and surface analysis. A tight adsorption film was formed by the presence of β-CD-XG on the surface of L80 steel in 1 mol/L HCl. -CH₂-O-CH₂-, -CH₂-O-, -COO- and -OH functional groups promote the inhibition acts

Table 6Main characteristics of β -CD-based graphene oxide materials as corrosion inhibitors.

N ^o	Name/molecular structure	Metal type/electrolyte	Protective degree/inhibitor type/adsorption isotherm	Ref.
1.	 Cyclodextrin-based functionalized Graphene Oxide (CD-GO)	X60 carbon steel/HCl at room temperature	81.17 at 15 v/v %/mixed-type inhibitor/-	(Haruna et al., 2019)
2.	 Cerium acetylacetonate (CeA)/beta-cyclodextrin (β-CD)/graphene oxide (GO)	Mild steel (ST12 type)/3.5 % NaCl solution	88 %/-	(Dehghani et al., 2020c)
3.	 L-His@β-CD-AGI	Mild steel (ST12 type)/3.5 % NaCl solution	75 %/-	(Dehghani, Bahlakeh, Ramezanzadeh, & Hossein Jafari Mofidabadi, 2021)
4.	 Graphene/β-cyclodextrin/benzotriazole (BTA) loaded	Steel/3.5 wt% NaCl	–	(Chengbao Liu et al., 2018)

(continued on next page)

Table 6 (continued)

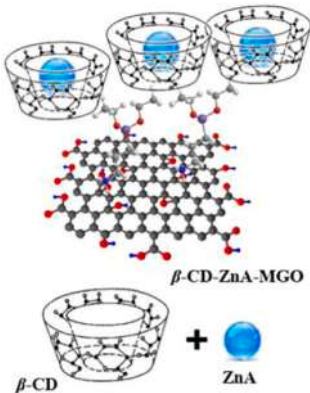
N ^o	Name/molecular structure	Metal type/electrolyte	Protective degree/inhibitor type/adsorption isotherm	Ref.
5.	 β -CD-ZnA-MGO	Steel/3.5 wt% NaCl	93 %/-	(Dehghani et al., 2020d)

Table 7

Main characteristics of β -CD-based nanoparticle materials as corrosion inhibitors.

N ^o	Name/molecular structure	Metal type/electrolyte	Protective degree/inhibitor type/adsorption isotherm	Ref.
1.	 mHMS Hollow mesoporous silica (HMS) with cysteine (Cys) and cyclodextrin (HMS-s (Cys))	Mg alloys (AZ31)/3.5 % NaCl solution	60 % at 60 ppm/-	(Yang et al., 2020)

of selected inhibitors (Fig. S2). β -CD-XG is a more electron-donating polymer; it electrostatically adsorbs onto metal surfaces by the electron donor regions. The oxygen atoms of the $\text{CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-}$, $\text{-CH}_2\text{-O-}$, -COO- and -OH functional groups are more electron-donating and represent the electronegative regions in β -CD-XG. The hydrogen evolution reaction was effectively insulated by the protective film of β -CD-XG.

In the following research work (Liu et al., 2015), β -CD was modified with natural chitosan to create a new corrosion-resistant polymer for carbon steel in 0.5 M HCl. It was analysed by energy dispersive spectroscopy, scanning electron microscopy, electrochemical impedance spectroscopy, potentiodynamic polarization and weight loss measurements, and the results showed that the inhibition efficiency of β -CD-chitosan was 96.02 % at 230 mg/L and that it is a mixed-type corrosion inhibitor that underwent both physisorption and chemisorption, obeying the Langmuir adsorption model. The electrochemical measurements demonstrated that the cathodic and anodic Tafel slopes changed slightly in the presence of β -cyclodextrin-modified chitosan, indicating that the anodic metal dissolution reaction and cathodic hydrogen evolution were significantly reduced.

2.1. Key in critical review of recent developments and challenges for future research

In these research works (Cao, Zou, Wang, Chen, et al., 2021; Cao, Zou, Wang, Liang, et al., 2021), the impact of β -CD on the corrosion inhibition of natural polymer-based corrosion inhibitors and the comparisons with the polymer corrosion inhibitors were have not discussed and reviewed. It is crucially important to identify the corrosion inhibition of β -CD modifications with natural polymers. The next critical issue is that the corrosion acts for various metals in aggressive saline solutions were not studied. In future research, these issues would be addressed to develop protective materials.

3. β -CD modifications with synthetic polymers as green and efficient corrosion inhibitors

Interestingly, synthetic polymer-based corrosion inhibitors are used in corrosion inhibition because of their large size and because they have more electron-rich functional groups. Synthetic polymer-type inhibitors can cover large metal surfaces. Many research works have confirmed the effectiveness of synthetic polymers for metal surfaces. However, synthetic polymers are not soluble in the aqueous phase. Recently, β -CD was modified with a synthetic polymer to increase its inhibition effectiveness and water solubility. Table 2 lists the main characteristics of β -CD modifications with natural polymers as corrosion inhibitors. For example, Wang et al. (2021) introduced new β -CD modifications with polyacrylamide as corrosion-resistant molecules for X80 steel in a 1 mol/L sulfuric acid solution. This grafted β -CD was a water-soluble, nontoxic, low-cost and high-efficiency synthetic polymer. It was found that (1) SEM, EDX and FT-IR analysis more intuitively confirmed that β -CD-PAM can form a dense film on the surface of X80 steel, effectively inhibiting attack by the corrosion medium; (2) the adsorption of β -CD with the natural polymer onto the metal surface conforms to the Langmuir isotherm adsorption model and is mainly based on chemical adsorption; (3) electrochemical impedance spectroscopy revealed that this β -CD modified with the natural polymer can adsorb on the surface of X80 steel to suppress corrosion; (4) polarization experiments demonstrated that this β -CD modified with the natural polymer is a mixed-type inhibitor and predominantly a cathodic inhibitor; (5) the corrosion inhibition efficiencies obtained from weight-loss measurements and electrochemical experiments were consistent; and (6) this β -CD modified with the natural polymer showed excellent corrosion inhibition performance for X80 steel in 1 M H_2SO_4 , and inhibition was enhanced with increasing concentrations of this β -CD modified with the natural polymer. Fu et al. (2020) modified β -CD with a polyaspartic acid graft to create a new synthetic copolymer (PASP/ β -CD). The inhibition

Table 8Main properties of β -CD-based nanocarriers as corrosion inhibitors in protective coatings.

N ^o	Inhibitor carrier system	Matrix/trigger	Metal type/electrolyte	Protection degree	Ref.
1.	γ -Cyclodextrin (γ -CD)/2-mercaptobenzothiazole (MBT) and 2-mercaptobenzimidazole (MBI)	Hybrid sol/pH	2024 aluminium alloy panels/an aqueous and air exposed sodium chloride (5 % NaCl) solution	98.22 % at room temperature	(Rahimi & Amiri, 2016)
2.	β -CD/p-anisidine complex and 1H-benzotriazole	Halloysite clay/pH	AA2024 aluminium samples/0.5 M NaCl solution	–	(Akhondi & Jamalizadeh, 2020b)
3.	Amphiphilic β -CD nanocarrier/dopamine (DOP)	sol-gel/pH	Iron/3.5 % NaCl electrolyte	69 % after 48 h immersion in 3.5 % NaCl solution	(Dehghani, Bahlakeh, Ramezanzadeh, and Mofidabadi, 2021d)
4.	β -CD/2-mercaptobenzothiazole (MBT), 2-mercaptobenzimidazole (MBI) and thiosalicylic acid (TSA)	Poly(vinyl butyral) coating/pH	Zinc/1 M KOH	–	(Altin et al., 2017)
5.	α -Cyclodextrin (α -CD)/2-mercaptobenzothiazole (MBT) or 2-mercaptobenzimidazole (MBI)	Sol-gel coating/sonic energy	–	–	(Amiri & Rahimi, 2014)
6.	β -CD/L-citrulline (L-Cit)	Silane coating/pH	Steel/3.5 % NaCl electrolyte	87 % after 48 h immersion in 3.5 % NaCl solution	(Dehghani, Bahlakeh, Ramezanzadeh, and Mofidabadi, 2021c)
7.	β -CD/2-mercapto-benzo-thiazole (MBT) and 2-mercapto-benzimidazole (MBI)	Hybrid sol/pH	2024 aluminium alloy panels/3.5 % NaCl electrolyte	67.55 %	(Rahimi & Amiri, 2015a)
8.	β -CD/L-histidine (L-His)	Silane coating/pH	Steel/3.5 % NaCl solution	88 % at 1000 ppm	(Dehghani, Bahlakeh, Ramezanzadeh, & Mofidabadi, 2021c)
9.	β -CD/Benzimidazole	Silane (sol-gel)-based coatings/pH	Steel/3.5 % NaCl solution	84 % at 1000 ppm	(Dehghani, Bahlakeh, Ramezanzadeh, & Hossein Jafari Mofidabadi, 2021)
10.	β -CD/acetylacetone (CeA)	Silane coating/pH	Mild steel/3.5 % NaCl solution	84 % after 72 h immersion	(Dehghani et al., 2020b)
11.	β -CD/zinc acetylacetone	Silane coating/pH	Mild steel/3.5 % NaCl solution	85 % after 5 h immersion	(Dehghani et al., 2020a)
12.	β -CD-multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs)/benzimidazole (BZ)	epoxy resin/-	Steel/3.5 % NaCl solution	–	(He et al., 2016)
13.	β -CD/cerium acetylacetone	Silanized graphene oxide coating/pH	Mild steel/3.5 % NaCl solution	84 % after 48 h immersion	(Dehghani et al., 2020c)
14.	α -cyclodextrin (α -CD)/(2-mercaptobenzothiazole (MBT) and 2-mercapto-benzimidazole (MBI))/cure agents: tetramethoxysilane (TMOS), 3-glycidyloxypropyl-trimethoxysilane (GPTMS)	Hybrid sol/pH	2024 aluminium alloy/5 % NaCl	Approximately 70 %	(Rahimi & Amiri, 2015b)
15.	β -CD/zinc acetylacetone/graphene oxide	Epoxy coating/pH	Mild steel/3.5 % NaCl solution	97 % after 24 h immersion	(Dehghani et al., 2020d)
16.	β -CD/benzotriazole (BTA)/graphene oxide	Epoxy resin (E-51)/pH	Carbon steel/3.5 % NaCl solution	–	(Chengbao Liu et al., 2018)

performance of PASP/ β -CD for N80 carbon steel was investigated in simulated oilfield water by XRD, EDS, SEM, weight loss experiments and electrochemical methods. The simulated oilfield water was composed of 50.0 g/L NaCl, 2.0 g/L $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 6.0 g/L Na_2SO_4 , 4.0 g/L CaCl_2 , and 0.4 g/L NaHCO_3 . The maximum inhibition efficiency was 94.6 % at 250 mg/L. The results also indicated that the chemical modification of β -cyclodextrin had a better scale effect for magnesium, sodium and calcium ions. Ma et al. (2019) built a polymer-type supramolecular system by combining a soluble cyclodextrin polymer (SCDP) and glutaraldehyde and investigated the inhibition performance of this system. It is revealed that this system was polar and soluble in an aqueous solution (Dewangan et al., 2022). The molecular structure of this modification was confirmed by proton nuclear magnetic resonance (^1H NMR) spectroscopy, X-ray diffraction and morphology analysis. Next, the soluble cyclodextrin polymer (host) was modified with trans-cinnamaldehyde (guest, CA) to create a host-guest complex. Finally, FTIR was used to identify the molecular construction assembly of the trans-cinnamaldehyde (guest, CA) and SCDP (host). The ability of the SCDP/CA polymer inclusion complex to inhibit the corrosion of mild steel in 3.5 % NaCl solution was studied by surface and electrochemical methods. The FTIR analyses showed that the hydrogen bonds were the main binding force between SCDP and CA. ^1H NMR revealed that the exterior hydroxyl groups of the β -CD were the active sites for cross-linking. It was found that the polarization resistance of the anodic and cathodic processes was effectively blocked by the presence of the SCDP/CA corrosion inhibitor. The theoretical results confirmed that SCDP/CA

adsorbed on the metal surface in parallel adsorption positions. In subsequent research work (Chem et al., 2017), a new β -CD-based polymer (β -MEA) was synthesized from 2-acrylamido-2-methyl propane sulfonic acid (AMPS) and β -CD with the $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8\text{-NaHSO}_3$ redox initiator system by aqueous solution radical polymerization. Thermogravimetric analysis, gel permeation chromatography, time-of-flight mass spectrometry and IR spectroscopy were employed to characterize the β -MEA. The corrosion inhibition performance, scale, thermal stability, molecular weight and molecular structure were also studied. The obtained results confirmed that β -MEA is a better scale inhibitor for BaSO_4 , indicating that β -MEA destroyed the BaSO_4 film on the metal surface. Therefore, it would be useful to protect against the scale corrosion of metal surfaces in the gas and oil industries. The maximum inhibition efficiency of β -MEA was 91.2 % at 1 g/L in the selected saline medium. The corrosion inhibition performance and scale performance were determined for N80 carbon steel in Solution A: $\text{NaCl} = 7.5$ g/L, $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0.66$ g/L and Solution B: $\text{NaCl} = 7.5$ g/L, $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 0.8$ g/L. XRD and SEM were used to identify the crystal morphology of the scale. Zou, Liu, et al. (2014) synthesized a new bridged β -cyclodextrin polyethylene glycol (β -CD-PEG) through the reaction of β -CD with PEG, which was characterized by Fourier transform infrared spectroscopy. Weight loss, PDP and EIS experiments were used to investigate the inhibition performance of β -CD-PEG for Q235 carbon steel in 0.5 M HCl. The obtained results suggested that β -CD-PEG was a mixed-type inhibitor and exhibited excellent corrosion inhibition of Q235 carbon steel. The inhibition performance depends on the nature of adsorption. This

inhibitor effectively adsorbed on the metal surface in the parallel adsorption positions. A protective film was formed on the metal surface by the formation of rigid covalent bonds. Fig. S3 shows the EIS results of Q235 carbon steel in 0.5 M HCl in the presence of PEG or bridged β -CD-PEG at 100 mg/L, showing that the obtained Nyquist plots are single depressed semicircles. These plots indicate that the corrosion and inhibition mechanisms are controlled by the charge transfer mechanism. This research confirmed that the hydroxyl functional groups of polyvinyl alcohol and polyethylene glycol are mainly responsible for the corrosion inhibition performance of β -CD-PEG, indicating that the inhibitor adsorbed on the metal surface by forming rigid covalent bonds between the d-orbitals of steel and the hydroxyl functional groups. The change in size of the Nyquist plots was dependent on the change in inhibitor concentrations, and its size increased with increasing concentrations. The corrosion inhibition performance increased with the large molecular size of the synthetic polymer, showing that the larger molecular size ensures greater coverage of the metallic surface.

3.1. Key in critical review of recent developments and challenges for future research

The role of β -CD in increasing the corrosion inhibition performances of β -CD modification with synthetic polymers has not been studied. Some syntheses methodology of β -CD modification with synthetic polymers was not environmentally friendly and required some hazardous solvents. The corrosion inhibition for aluminium, copper and magnesium was not studied. These critical issues would be solved in the next research works, because, green materials in corrosion protection are important in various industries such as chemical and gas-oil industries.

4. β -CD with grafted organic molecules as green and efficient corrosion inhibitors

Nontoxic and natural inhibitors based on grafted β -CD with organic molecules as corrosion inhibitors are used in corrosion inhibition. These compounds are water soluble and have high inhibition efficiency. Table 3 shows the main characteristics of grafted β -CD with organic molecules as corrosion inhibitors. For example, Eddib et al. (Eddib et al., 2012) introduced hydroxypropyl-beta-cyclodextrin (HP- β -CD) as a natural and effective corrosion inhibitor for 316 austenitic stainless steel in 0.1 M HCl. The inhibition performance of HP- β -CD increased with increasing inhibitor concentration; the maximum inhibition achieved was 54 % at 10 mM. The results of electrochemical investigations confirmed that HP- β -CD is an anodic inhibitor (it forms an adsorbing film on the metal surface and blocks the active corrosion sites), whereas the cathodic half-reaction is not significantly affected. Fig. S4 shows the EIS results of 316 stainless steel samples in 0.1 M HCl without and with various concentrations of HP- β -CD at 293 K (frequencies are indicated in the Nyquist plot). The values of the solution resistance, polarization resistance, double layer capacitance, charge-transfer resistance and constant phase elements were estimated from the obtained Nyquist and Bode phase plots. It was found that the solution resistance, polarization resistance, and charge-transfer resistance increased with an increasing inhibitor in the corrosive solution, while the double layer capacitance and constant phase elements decreased in the inhibited system, confirming that the protective film of inhibitor molecules forms energetic blocks during charge transfer between the cathode and anode. The values in constant phase elements indicated the heterogeneity on the metal surface. The obtained results confirmed that HP- β -CD is a good inhibitor. HP- β -CD is a good inhibitor because that the electron donor groups (O and N for chitosan and O for HP- β -CD) increase the inhibition effectiveness. The presence of delocalized electrons, active functional groups, electron-rich heteroatoms, more negative or positive regions, double bonds and free electrons in the molecules favoured their interaction with a positively charged surface.

In another study (Wang et al., 2015), the inhibition performance of

cationic β -CD (HPTEA- β -CD) with grafted sodium phosphonobutane-tricarboxylic acid (C), hydroxyethylenediphosphonic acid (B) and amino methylene phosphonic acid (A) on mild steel was studied by molecular dynamics simulations and quantum chemical calculations. The nitrogen, oxygen, phosphorous and carbon atoms were highly reactive sites in the molecule, indicating that the inhibitors adsorbed onto the metal surface at these reactive regions. The equilibrium adsorption behaviour of three HPTEA- β -CD inclusion complexes with molecules A, B, and C on a Fe (001) surface and molecular C-HPTEA- β -CD was illustrated by the MD simulation; the obtained results show that their adsorption energy is high, suggesting that they are excellent corrosion inhibitors for mild steel. The maximum inhibition efficiency was 91.50 %, which is in accordance with the theoretical results.

4.1. Key in critical review of recent developments and challenges for future research

The Langmuir adsorption isotherms for β -CD with grafted organic molecules on the metal surface were have not studied in these research works (Eddib et al., 2012; Wang et al., 2015), because, the anodic and cathodic adsorption mechanisms are crucially important to characterize the inhibitor nature of β -CD with grafted organic molecules.

5. β -CD-based supramolecular (host-guest) systems with organic molecules as green and efficient corrosion inhibitors

Supramolecular compounds are new materials for corrosion protection (Berdimurodov, Kholikov, Akbarov, Guo, Kaya, Kumar Verma, Rbaa, and Dagdag, 2022c; Fan et al., 2019; Ma et al., 2020; Yeganeh et al., 2020). Currently, β -CD supramolecular systems are also employed as corrosion inhibitors. Supramolecular compounds are similar to three-dimensional (3D) constructed systems. They have two parts the host and the guest, and the cavity size of the host (β -CD) is lower than 1 nm. The guests may be small or large organic molecules or polymer compounds. It has been suggested that the host and guest are linked or interact through hydrophobic effects, coordination bonds, close packing, van der Waals forces, CH- π bonds, cation- π bonds, hydrogen (H) bonding, dipole-dipole forces, ion-dipole interactions and ion-ion interactions (Amiri & Rahimi, 2015; Berdimurodov, Kholikov, Akbarov, Guo, Kaya, et al., 2021; Fan, Hao, et al., 2018). The bond strengths of these intermolecular forces are weaker than those of covalent bonds; the strength of a carbon-carbon single bond is ~ 350 kJ/mol, that of ion-ion interactions is 250 kJ/mol, that of H bonding is 5–65 kJ/mol, and that of van der Waals forces is 5 kJ/mol (Saji, 2019). Natural supramolecular systems, such as β -CD-based macromolecules, are important for corrosion protection. Table 4 shows the main characteristics of β -CD-based supramolecular (host-guest) systems with organic molecules as corrosion inhibitors. For example, Fan et al. (2014a) synthesized β -CD-based supramolecular (host-guest) systems based on β -CD and octadecylamine (ODA) n-hexane through a fast hybrid method. Naturally, ODA is insoluble in aqueous solution. The solubility of ODA increased with the formation of the host-guest system. The supramolecular structure of this inhibitor is important to describe the inhibition performance. Outdoor amino functional groups of this supramolecular structure are mainly responsible for the corrosion inhibition. The inhibitor is chemically linked by the amino groups by the transformation of unpaired electrons. Other parts of the supramolecular structure promote insulating the water from the metal surface. Differential scanning calorimetry (DSC), X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) and proton nuclear magnetic resonance spectroscopy (^1H NMR) were used to characterize the supramolecular structure between β -CD and ODA. The inhibition performance of β -CD-ODA was studied for mild steel (Fan, Wei, et al., 2018) and 20# steel (Fan et al., 2014a) in condensate water. It was found that β -CD-ODA formed a monomolecular hydrophobic layer on the steel surface to defend the metal by isolating the corrosive ions and dissolved oxygen. It was suggested that ODA

interacted with the host through strong noncovalent bonds. β -CD-ODA is adsorbed on the metal surface by chemical adsorption. The protective film participated in a coordination interaction between the metal surface and corrosion molecules. The inherent electrostatic properties of ODA may have been responsible for the tilted angle of adsorption on the metal surface. The adsorption process was spontaneous and obeyed the Langmuir adsorption isotherm. In another study (Fan et al., 2014b), a supramolecular hydroxypropyl- β -cyclodextrin (HP- β -CD) complex with octadecylamine (ODA) was synthesized, and its inhibition properties in the simulated boiler water condensate of power plants were studied. The solubility of ODA increased with the formation of the supramolecular system. Owing to the high solubility in water and the excellent absorption characteristics of carbon steel, the anticorrosion performance of the supramolecular complex in the simulated power plant condensate was much better than that of the ODA. In subsequent research (Zou, Tang, Lan, et al., 2013), the inhibition performance of 2-phosphonobutane-1,2,4-tricarboxylic acid (PBTCA) increased with the formation of a host-guest system between hydroxypropyl- β -cyclodextrin (HP- β -CD) and PBTCA. The β -CD cavity was mainly responsible for the rise in the inhibition performance because the β -CD cavity impacts the increase in the solubility of PBTCA and the polarization of the hydroxyl functional groups of β -CD and PBTCA. This development in the corrosion inhibition of organic molecules leads to a new approach to study oil-gas field corrosion inhibition in the process of acid treatment. Monticelli et al. (2019) used a supramolecular system based on 5-mercapto-1-phenyl-tetrazole and β -cyclodextrin for bronze corrosion protection. The stability and geometry of a complex formed by β -cyclodextrin and 5-mercapto-1-phenyl-tetrazole (MPT) were studied by diffusion-ordered spectroscopy (DOSY), NMR titration, complexation-induced shifts (CIS), and nuclear magnetic resonance (NMR) experiments. It was found that the selected host-guest complex was more stable at high temperatures and inhibited corrosion on the metal surface with excellent inhibition efficiency. Fig. S5 shows the self-healing mechanism of a scratched silicon coating (SC) filled with β -CD-ZnA (zinc acetylacetonate (ZnA) inside β -cyclodextrin (β -CD)) (Dehghani et al., 2020a). The β -CD-ZnA inclusion complex was mainly responsible for the corrosion protection shown in Fig. S5. The released ZnA molecules adsorbed on the metal surface at the defect site, controlling metal corrosion by different mechanisms: (i) the acetate ions generated as a result of the decomposition of ZnA interacted with the iron cations, forming an insoluble protective FeA film on the anodic sites of the metal surface; (ii) the heteroatoms present in the acetate molecules formed complexes with the iron cations through an electron sharing mechanism; and (iii) ZnA molecule decomposition in water caused the release of Zn ions, forming stable, insoluble Zn oxide/hydroxide compounds at the cathodic sites of the metal surface, limiting the direct electrolyte contact with the MS surface.

5.1. Key in critical review of recent developments and challenges for future research

The corrosion inhibition of β -CD-based supramolecular (host-guest) systems with organic molecules for aluminium, copper and magnesium were have not been investigated. The impacts of these inhibitors on the above metals' corrosion may be enhanced in the development of β -CD-based compounds. The capsulation processes, the impact of β -CD rings, and corrosion mechanisms are needed to describe. This is due to these facts were have not been fully investigated in corrosion science.

6. Polymer β -CD-based supramolecular (host-guest) systems as green and efficient corrosion inhibitors

The polymer β -CD-based supramolecular (host-guest) compounds are new materials in corrosion protection. In these compounds, the host and guest interact through hydrophobic interactions. Polymer supramolecular compounds are self-organized macromolecules of conventional polymers (Chugh et al., 2021; Ma et al., 2020), in which the host

and guest are stabilized by noncovalent interactions. These compounds are interesting in that they can be used in corrosion protection due to their good features: they are recyclable, self-healing and easy to process. Additionally, they are water-soluble and have high inhibition efficiency (Akhondi & Jamalizadeh, 2020a; El-Bindary et al., 2016; He et al., 2014b; Sapurina & Shishov, 2012). Polymer β -CD-based supramolecular (host-guest) systems also have many functional groups and heteroatoms, which are the main inhibition centres. They can cover large areas on the metal surface because of their large molecular size. Table 5 lists the main characteristics of polymer β -CD-based supramolecular (host-guest) systems as corrosion inhibitors. For example, Ma et al. (2019) synthesized a water-soluble crosslinked β -CD polymer with glutaraldehyde. Then, trans-cinnamaldehyde (SCDP, guest) was mixed with the water-soluble crosslinked β -CD polymer (host) to form the host-guest inclusion complex (SCDP/CD). Next, the inhibition properties of SCDP/CD mild steel in a 3.5 % NaCl solution were investigated by potentiodynamic polarization measurements, showing that SCDP/CD protected 92.2 % of the mild steel. The main reason for the good inhibition efficiency is the presence of the guest moiety. The rise in the polarization resistance of the electrode in the corrosive medium depends on the SCDP/CA assembly. The cathodic and anodic corrosion processes are importantly blocked by the high inhibition efficiency of the SCDP/CD. The efficiency is dependent on the change in inhibitor concentration. The surface morphology results confirmed that the guest molecules were released from the cavity of cyclodextrin and solely adsorbed on the steel surface. This phenomenon was confirmed by the results of the molecular dynamics simulation. The parallel adsorption positions are more favourable for SCDP/CD on the metal surface. Fig. S6 shows the changes in the open circuit potential of mild steel electrodes in corrosive and inhibited 3.5 % NaCl solutions at 30 °C. Fig. S6 clearly indicates that the open circuit potential decreased in inhibitor-free solution, while it remained stable in the inhibited solution, confirming that the inhibitor formed a protective film that was more stable in saline solution at 30 °C. The inhibitor effectively interacted with the metal surface via electron-rich functional groups. The stability of the protective film increased with increasing concentration. Therefore, the polymer-type β -CD supramolecular systems formed thermodynamically stable films on the metal surface by the rigid adsorption of guest molecules. In another study, Yang et al. (F. Yang et al., 2019) synthesized a water-soluble host-guest complex containing carboxymethylated β -cyclodextrin (CM- β -CD) with an aniline trimer (AT). Then, its inhibition efficiency was investigated for Q235 carbon steel in 1 M HCl solution by EIS and PDP spectroscopic methods, showing that the CM- β -CD is more effective corrosion protection agents for steel. The carboxyl, amino functional groups and benzoyl rings are mainly responsible for corrosion inhibition. The formation of an adsorption film of AT-CM- β -CD on the surface of Q235 carbon steel was confirmed by laser scanning confocal microscopy (LSCM) and field emission scanning electron microscopy (FESEM). AT-CM- β -CD adsorbed on the metal surface by chemisorption and physisorption according to the Langmuir adsorption model.

6.1. Key in critical review of recent developments and challenges for future research

The fundamentals of capsulation processes, the impact of inner and outdoor hydroxyl functional groups on the supramolecular system, and the inhibitor nature of the supramolecular system based on polymer- β -CD (host-guest) were have not studied. In future research works, these issues would be tackled to understand the inhibitor nature of polymer β -CD-based supramolecular (host-guest) systems as corrosion inhibitors.

7. β -CD-based graphene oxide materials as green and efficient corrosion inhibitors

Graphene oxide materials are widely used in corrosion protection as effective corrosion inhibitors for various metal materials due to their

desirable characteristics, including impermeability, chemical stability, thermal resistance, mechanical stability, high surface area and good hydrophobicity (Ansari et al., 2020; Ding et al., 2018; Javidparvar, Naderi, & Ramezanzadeh, 2019; Ramezanzadeh et al., 2017). Naturally, graphene oxide is soluble in the aqueous phase because it has water-soluble functional groups, such as hydroxyl and carboxyl groups. Recently, graphene oxide has been functionalized with amine, carboxyl, epoxide and hydroxyl functional groups. These functionalized graphenes are water-soluble, highly polar and good corrosion inhibitors for steel, copper, zinc, aluminium and magnesium metallic materials (Chauhan et al., 2020b; Javidparvar, Naderi, Ramezanzadeh, & Bahlakeh, 2019; Radey et al., 2018). Currently, graphene is functionalized with β -CD to enhance its inhibition properties. Table 6 shows the main characteristics of β -CD-based graphene oxide materials as corrosion inhibitors. For example, Haruna et al. (2019) synthesized cyclodextrin-based functionalized graphene oxide (CD-GO), and its inhibition performance for steel in a 1 M HCl solution was studied by weight and electrochemical methods. It was found that CD-GO is water-soluble, nontoxic, and nonvolatile, adsorbs well onto the steel surface and is an excellent inhibitor. The CD-GO materials were adsorbed on the surface of the steel via oxygen atoms of the CD-GO, forming a CD-GO/metal complex on the steel surface. The CD-GO formed a protective film on the metal surface, and this formation was observed by UV-vis, FTIR and SEM/EDX methods. Waste graphene was used to synthesize CD-GO. A modern electrochemical technique, electrochemical frequency modulation (EFM), was used to analyse the inhibition properties of the CD-GO inhibitor on the steel surface. Fig. S7 shows the intermodulation spectra (EFM result) of X60 carbon steel in corrosive and inhibited 1 M HCl solutions at various concentrations of CD-GO at room temperature. As indicated, the larger current peaks of the harmonic and intermolecular spectra were employed to estimate the values of the causality factors, polarization resistance, current density and Tafel constants. The inhibitor-containing medium exhibited high polarization resistance because the CD-GO adsorbed on the metal surface to form a protective film, blocking the anodic and cathodic electrochemical reactions. When the polarization resistance increased, the corrosion current density decreased dramatically, confirming that CD-GO is a good anti-polarization agent. The obtained values of causal factors also confirmed the accuracy of the results. In another study (Dehghani et al., 2020c), the inclusion complex of cerium acetylacetonate (CeA) in β -CD was grafted onto graphene oxide (GO) through (3-aminopropyl)triethoxysilane (APTES). The APTES is a capsulated corrosion inhibitor into β -CD, which means that the β -CD is carried out APTES onto the metal surface. Additionally, the outdoor hydroxyl functional groups of β -CD-GO system are effectively connected with the metal surface, resulting in the metal surface being insulated from the water and attacks of corrosion ions. The inhibition properties of this inhibitor of steel corrosion in 3.5 % NaCl solution were studied by various experimental and theoretical methods. The obtained results confirmed that (i) the total resistance (R_t) increased from 1469 $\Omega\cdot\text{cm}^2$ (corrosive solution) to 12,083 $\Omega\cdot\text{cm}^2$ (nearly 88 % efficiency, inhibited solution) after 48 h of exposure and (ii) the corrosion current density of the metal decreased from 7.62 $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ (corrosive solution) to 0.08 $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ (inhibited solution). The presence of a corrosion-resistant film over the metallic substrate in the solution phase was confirmed by EDS, FE-SEM and EDS mapping investigations. In comparison, zinc acetylacetonate with β -CD (Dehghani et al., 2020d), benzotriazole (BTA) with β -CD (Chengbao Liu et al., 2018) and l-histidine with β -CD (Dehghani, Bahlakeh, Ramezanzadeh, & Hossein Jafari Mofidabadi, 2021) were grafted onto graphene oxide materials to enhance the inhibition performance of this nanomaterial. The graphene oxide with grafted β -CD was soluble in an aqueous solution. The host molecules of β -CD also increased the inhibition and adsorption properties of these nanomaterials. The presence of R-OH and OH functionalities resulted in a hydrophobic exterior cavity and a hydrophobic interior cavity. The good solubility, molecular size and significant cavity size caused the beta form of CD (β -CD) to be more effective than other

forms. The presence of R-OH and OH functionalities resulted in a hydrophobic exterior cavity and a hydrophobic interior cavity.

7.1. Key in critical review of recent developments and challenges for future research

Preparing β -CD-based graphene oxide materials for corrosion inhibitors is an important aspect of material science. However, the preparation methodology by green methods, intermolecular interactions between the β -CD and graphene oxide, and the impact of functional groups on nanostructure and bonding characteristics were have not explored in present research works. These critical issues would be tackled to develop the nanomaterials modifications with the β -CD in future research works. The preparation methodology β -CD-based nanomaterials would be created and their inhibition performances would be studied.

8. β -CD-based nanoparticle materials as green and efficient corrosion inhibitors

Currently, β -CD-modified nanoparticles are more commonly researched for corrosion inhibition because these modifications are natural and more efficient. Table 7 shows the main characteristics of the β -CD-based nanoparticle material as a corrosion inhibitor. For example, Yang et al. (2020) prepared β -CD-silica-based nanoparticles and studied their inhibition performances for Mg alloys (AZ31) in 3.5 % NaCl solution. Silica-based nanoparticle materials are widely used in medicine and are green materials. β -CD-silica-based nanoparticles are good water-soluble, environmentally friendly, nonvolatile, nontoxic and highly efficient inhibition materials. In the preparation of β -CD-silica-based nanoparticles, silica-based hollow mesoporous silica (HMS) was modified with cysteine (Cys) and cyclodextrin (CD) to construct a pH/glutathione (GSH)/Mg(II)-responsive nanocontainer. Fig. S8 shows a schematic diagram of the release behaviour: (a) detailed description of each component of the structure diagram; (b) free diffusion from a bare HMS; (c) "Controlled release" by GSH or pH deviation from pH = 7 in HMS (Yang et al., 2020). The reasons why this modification enhanced inhibition are as follows (Fig. S8):

- (i) Silica-based nanoparticles are water soluble due to the β -CD cavity;
- (ii) The number of active functional groups (amino acids) increases with the modification of Cys and GSH/Mg(II)
- (iii) The inhibition efficiency increased with modification by functional groups.
- (iv) The hydroxyl functional groups of β -CD are more activated and enhance the inhibition performance.
- (v) The sulfur, amino and carboxyl functional groups are mainly responsible for the formation of rigid covalent bonds between the metal surface and the nanoinhibitor.

9. β -CD-based nanotube materials as green and efficient corrosion inhibitors

β -CD-based nanotube materials are the next important research topic in corrosion inhibition. These materials are environmentally friendly and are efficient corrosion inhibitors used in the gas and oil industries. In future research, corrosion inhibition studies on β -CD-nanotube materials will be widely performed because of their high inhibition potential. Currently, some research works have been performed on β -CD-based nanotube materials as corrosion inhibitors. For example, Brycht et al. (2018) studied the corrosion inhibition properties of β -cyclodextrin-multiwalled carbon nanotube modification of AISI-type 316 L stainless steel in 3.5 % NaCl solution at 1.0×10^{-3} M by PDP methods. According to the obtained results, pitting corrosion was maximally reduced in the presence of the selected nanotube-based β -CD corrosion inhibitor. The

open circuit potential was more stable in the inhibited solution, while the corrosion potential, corrosion rate, corrosion current density and corrosion pitting potential significantly decreased with the inhibitor presence, confirming that the β -CD nanotubes are excellent corrosion inhibitors. In the oil and gas industries, these inhibitors may be more efficient for corrosion protection.

9.1. Key in critical review of recent developments and challenges for future research

The β -CD-based nanoparticle and nanotube materials are new green materials for corrosion inhibitors. The main inhibition characteristics of these materials were have not yet studied. To create β -CD-based nanoparticle and nanotube materials, study their inhibition behaviour, preparation methodology, and electrochemical and surface-morphology natures would be an important task in future research works.

10. β -CD-based nanocarriers as green and efficient corrosion inhibitors in protective coatings

Protective coatings are widely used to prevent the corrosion of metal materials. They can protect metal surfaces from atmospheric and aqueous corrosion. Smart multifunctional coatings are also important in protecting materials against corrosion because of their self-healing properties. The important properties of smart multifunctional coatings are deeply impacted by the synthesis route, the matrix itself, self-healing agents, inhibitors, pigments (including smart carriers) and the type of functionalities. β -CD-based nanocarriers are widely used as corrosion inhibitors in protective coatings. β -CD-based nanocarriers encapsulate or load various types of inhibitors and/or self-healing agents (Habib et al., 2021). Recently, several review articles (Habib et al., 2021; Tong Liu et al., 2021; Lou et al., 2019; Olivieri et al., 2021; Shahini, Taheri, et al., 2021; Zahidah et al., 2017) have discussed the main characteristics of smart carriers in protective coatings. It was found that the synergistic effects between the host and guest in the nanocarriers are very important. These effects are very strong in β -CD-based nanocarriers. Both the β -CD and encapsulated organic compounds synergistically enhanced key coating properties to maximize impact. A sufficient quantity of active species is also important for nanocarriers. The number of encapsulated organic compounds in the β -CD-based nanocarriers was sufficient to achieve long-term delivery and even to respond to multiple damaging events for a period compatible with the coating lifetime. The β -CD-based nanocarriers were more stable over a long time in aggressive media and temperatures, while the encapsulated organic compounds were more stable. The encapsulated organic compounds are released only when needed and must be stored for a period compatible with the expected coating service life. The lifetime of the carriers and their stability under consecutive activation are key to ensuring long-term efficacy. β -CD-based nanocarriers are sensitive and responsive to external stimuli and release the loaded species at the targeted zone. Organic compounds are easily encapsulated in β -CD-based nanocarriers and cannot change their main properties (Habib et al., 2021). Table 8 shows the main properties of β -CD-based nanocarriers as corrosion inhibitors in protective coatings. As shown, the 2-mercaptobenzothiazole (MBT), 2-mercaptobenzimidazole (MBI) (Rahimi & Amiri, 2016), 1H-benzotriazole (Akhondi & Jamalizadeh, 2020b), thiosalicylic acid (TSA) (Altin et al., 2017), L-citrulline (L-Cit) (Dehghani, Bahlakeh, Ramezanzadeh, Hossein Jafari Mofidabadi, & Hossein Mostafatabar, 2021), benzimidazole (Dehghani, Bahlakeh, Ramezanzadeh, & Hossein Jafari Mofidabadi, 2021), acetylacetonate (CeA) (Dehghani et al., 2020b), zinc acetylacetonate (Dehghani et al., 2020a), (2-mercaptobenzothiazole (MBT) and 2-mercapto-benzimidazole (MBI))/cure agents tetramethoxysilane (TMOS), 3-glycidioxypropyl-trimethoxysilane (GPTMS) (Rahimi & Amiri, 2015b), cerium acetylacetonate (Dehghani et al., 2020c), zinc acetylacetonate/graphene oxide (Dehghani et al., 2020d) and benzotriazole (BTA) (Chengbao Liu et al., 2018) were mainly

loaded/capsulated organic and inorganic-organic compounds. The protective coatings were more efficient with β -CD-based nanocarriers of organic and inorganic-organic compounds. The matrix of the β -CD-based nanocarriers was mainly hybrid sol, halloysite clay, sic sol-gel, a poly(vinyl butyral) coating, a silane coating and an epoxy coating, while released was triggered by the pH. β -CD-based nanocarriers of organic and inorganic-organic compounds are also more efficient for aluminium-, steel- and zinc-based materials in saline (3–5 % NaCl) solution. Fig. S9 shows the inhibition mechanism of β -CD-BM nanocarriers (Dehghani, Bahlakeh, Ramezanzadeh, & Hossein Jafari Mofidabadi, 2021). As shown in Fig. S9, benzimidazole (BM) was loaded into the β -CD capsule. The BM interacted with the β -CD capsule both physically and chemically. In the second stage, the BM substituted or replaced the electrolyte molecules on the metal surface. As a result, electrolyte diffusion was reduced. In the final processes, the β -CD-BM nanocarriers fully controlled electrolyte diffusion and adsorbed on the metal surface. The Fe(II)/Fe(III) cations formed on anodic sites interacted with the nitrogen on the BM through the chemical interactions between the free d-orbitals of iron and the electron pairs of nitrogen (Dehghani, Bahlakeh, Ramezanzadeh, & Hossein Jafari Mofidabadi, 2021).

10.1. Key in critical review of recent developments and challenges for future research

At present, the β -CD-based nanocarriers are widely used as corrosion inhibitors in protective coatings. However, the corrosion and inhibition role of β -CD-based nanocarriers on the metal surface was have not been fully described by the surface spectroscopic methods. Because, corrosion and inhibition are surface phenomena, thus, the surface spectroscopic methods can illustrate these processes. In future research, researchers pay attention to the corrosion and inhibition role of β -CD-based nanocarriers on the metal surface.

11. β -CD based compounds as green and efficient corrosion inhibitors of biocorrosion and microbial corrosion

Biocorrosion and microbial corrosion are serious problems in the chemical industry. Approximately 40 % of all internal corrosion events in oil and gas transportation pipelines are linked to biocorrosion and microbial corrosion (Cadosch et al., 2009; Ghorbani et al., 2018; Jiang et al., 2019; Ouyang et al., 2020; Sharifnabi et al., 2014; Talha et al., 2019). The tissierella, family XI, clostridiales, clostridia, firmicutes, the ML635J-40 aquatic group, bacteroidales, bacteroidia, bacteroidetes, spherochaeta, spirochaetaceae, spirochaetales, spirochaetes, spirochaetae, acetobacterium, eubacteriaceae, clostridiales, clostridia, firmicutes, methanosarcina, methanosarcinaceae, methanosarcinales, methanomicrobia, euryarchaeota, desulfococcus, desulfovibrionaceae, desulfovibrionales, deltaproteobacteria, proteobacteria, desulfomicrobium, desulfomicrobiaceae, desulfovibrionales, deltaproteobacteria and proteobacteria are the most common bacteria and microbes involved in biocorrosion and microbial corrosion. Among them, sulfate-reducing bacteria (SRB), such as desulfococcus, desulfovibrio and desulfomicrobium, are the main initiators of biocorrosion and microbial corrosion (Fenyvesi & Sohajda, 2022; Tao Liu et al., 2017; Sprung et al., 2009; G. Xu et al., 2016). These bacteria destroy the metal surface through the sulfate reduction reaction. The protection of steel pipelines from biocorrosion and microbial corrosion is an important task in the chemical industry. Some β -CD-based compounds act as corrosion inhibitors in biocorrosion and microbial-corrosion. Xu et al. (2016) studied the antimicrobial and antibiocorrosion properties of polyethylenimine- β -cyclodextrin (PEI- β -CD) and ferrocene-modified chitosan (Fc-CHT) host-guest complexes. The antimicrobial and anticorrosion properties of these compounds for AISI-type 304 stainless steel (SS) foils against the microalgal attachment of *Amphora coffeaeformis*, *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas* sp. were investigated. It was found that the polyethylenimine- β -cyclodextrin (PEI- β -CD) and

ferrocene-modified chitosan (Fc-CHT) host–guest complexes are the most effective antimicrobial and anticorrosion corrosion agents. The amino and hydroxyl functional groups are mainly responsible for the antimicrobial and anti-corrosion centres. β -CD enhanced the antimicrobial and antibiocoordination effects of the host-guest complex. This β -CD-based compound formed a biofilm on the metal surface, protecting it from sulfate-reducing bacteria. Additionally, the cathodic and/or anodic reactions are affected by the formation of biofilms. The environmental conditions, the condition of the metal surface and the type of microorganisms influenced the stability of the biofilm. It was confirmed that the β -CD-based biofilm is more stable against the microalgal attachment of *Amphora coffeaeformis*, *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas* sp. These findings promote the creation of new materials based on β -CD for protecting steel pipelines from bio and microbial corrosion.

12. β -CD based compounds as green and efficient corrosion inhibitors in biofouling corrosion

Biofouling corrosion is the accumulation of biological contaminants (biofoulants) on the metal surface in aqueous and atmospheric environments. Biofouling corrosion occurs in the marine, water treatment and petrochemical industries. This corrosion is a serious problem; for example, crude oil is difficult to transport inside pipelines with biofouling (Firouzjaei et al., 2020; Flemming, 2020; Koók et al., 2019; Pichardo-Romero et al., 2020; Vinagre et al., 2020; Wu et al., 2020). Water purification and desalination membranes are vulnerable to biofilm colonization, which reduces the flux and contaminates treated water. Biofouling-resistant compounds insulate the metal surface from the accumulation of microorganisms, cells and proteins. β -CD-based compounds are often used as green and efficient inhibitors of biofouling corrosion (Abdolmaleki et al., 2017; Learn et al., 2019; Punitha et al., 2017; S. Xu et al., 2019). For example, Punitha et al. (Punitha et al., 2017) investigated the antifouling activities of β -cyclodextrin-stabilized PEG-based silver nanocomposites. It was found that (i) this green inhibitor effectively prevented biofouling of the metal surface; (ii) this compound is an excellent antifouling agent in marine environments; (iii) both gram-positive and gram-negative bacteria were blocked in the presence of selected corrosion inhibitors; (iv) the β -cyclodextrin-stabilized PEG-based silver nanocomposites acted as surfactants by undergoing hydrophobic-hydrophobic interactions with the metal biocomposite; and (v) waterborne and airborne bacteria were killed by this compound. Fig. S10 shows the proposed structure of the β -cyclodextrin-stabilized PEG-based silver nanocomposites. The good antifouling properties of this inhibitor depend on this molecular structure. The hydroxyl functional groups are mainly responsible for the antifouling centres.

The β -CD-based compounds effectively blocked all biofouling processes, including bacterial adhesion, fibroblast attachment and protein adsorption. It was suggested that (i) the importance of a lack of H-bond donors is less obvious, as glycocalyx-mimetic carbohydrate surfaces (which display many H-bond donors) also effectively resist nonspecific protein adsorption; (ii) overall charge neutrality minimizes the electrostatic interactions that could otherwise attract proteins (or cells) to a surface; and (iii) electronically neutral hydrophilic surfaces, especially those presenting abundant H-bond acceptors without H-bond donors, tend to be the most protein-resistant (Learn et al., 2019).

12.1. Key in critical review of recent developments and challenges for future research

The biocorrosion, microbial and biofouling corrosion of metal materials are serious problems in industries. The β -CD-based compounds were introduced as green materials for the above corruptions. The fundamentals of corrosion protection of metals from the biocorrosion, microbial and biofouling corrosion by the β -CD-based compounds were have not yet described and identified. The researchers pay attention to

solute the above problems, because, it is very important to develop the next generation of corrosion inhibitors. Industrially, there is also one problem with CDs: they may serve as a nutrition source for microbes in microbially influenced corrosion or biofilm formation, and thus absence of toxicity towards bacteria is not always intended.

13. General inhibition and adsorption mechanism of β -CD-based compounds: Theoretical and experimental insights

13.1. Experimental insights into inhibition and adsorption

Inhibition and adsorption mechanisms depend on many factors, such as the type of adsorption, the orientation of the components, the adsorption energies, the chemical and physical interaction mechanisms, the molecular structure, the nature of the metal surface, and the presence of corrosive ions. As observed in a prior study (C. Wang et al., 2021), surface morphology analysis, electrochemical impedance spectroscopy, electrochemical polarization analysis and weight-loss analysis confirmed that the β -CD-PAM effectively protected the steel surface from corrosion processes in 1 mol/L H_2SO_4 . According to the observations, β -CD-PAM is a mixed-type inhibitor with anodic dominance according to the Langmuir adsorption isotherms and PDP results, indicating that β -CD-PAM adsorbs onto the metal surface by chemical and physical adsorption mechanisms. The corrosion inhibitor increased the charge transfer resistance in between the anode and cathode; this result was obtained by EIS. This behaviour is due to the adsorption and inhibition of β -CD-PAM on the metal surface and was also confirmed by energy dispersive X-ray spectroscopy and scanning electron microscopy. Fig. 1 shows the inhibition mechanism of β -cyclodextrin grafted polyacrylamide (β -CD-PAM) on the X80 steel surface (Wang et al., 2021). The $-\text{CONH}_2$ electron-protonating groups and N, O electronegative heteroatoms in the β -CD-PAM molecule were the main anodic adsorption centres. Hydrogen evolution at the cathodic sites was blocked by the anodic adsorption centres. In comparison, the $-\text{OH}$ groups of β -CD-PAM were the physical adsorption centres, as they are more electron-donating. The corrosion inhibitor interacted with the metal surface through electrostatic interactions with the $-\text{OH}$ groups. As a result, the anodic dissolution was considerably reduced (Wang et al., 2021).

13.2. Theoretical insights into inhibition and adsorption

The inhibition and adsorption mechanism was deeply investigated by molecular dynamics (MD) simulations. Fig. S11 shows the molecular dynamics simulations of the adsorption of the β -CD/CA complex onto the surface of mild steel at 303 K: (a) 0 ps, (b) 90 ps, (c) 170 ps, and (d) 230 ps (Ma et al., 2019). As indicated, the β -CD complex was more stable with the guest molecules in the aqueous phase. The guest molecules were stable within the low-polarity cavity of β -CD. The hydroxyl groups of the β -CD interacted with the iron surface through van der Waals forces or electrostatic interactions. After the 90-ps simulation, the complex integrally approached the surface of iron. Next, with the oxygen heteroatom pointing to the iron surface, the guest molecules concurrently disengaged from the hydrophobic cavity of the β -CD after 170 ps of simulation time. In the following step, the β -CD molecules diffused through the bulk water, and the guest molecules adsorbed onto the metal surface (Ma et al., 2019). Fig. S12 shows top and side photos of the equilibrium adsorption position of the guest substance on the metallic substrate at 303 K [50]. As observed, the guest molecule adsorbed onto the metal surface according to the parallel adsorption model. This support covered or protected a large part of the metal surface from corrosion protection, indicating the high inhibition performance of this inhibitor. The binding (E_{bind} , kJ/mol) and adsorption energies (E_{ads} , kJ/mol) were estimated by the MD simulation analysis by Eqs. (1) and (2):

$$E_{\text{ads}} = E_{\text{total}} - (E_{\text{iron+water}} + E_{\text{com+water}}) + E_{\text{water}} \quad (1)$$

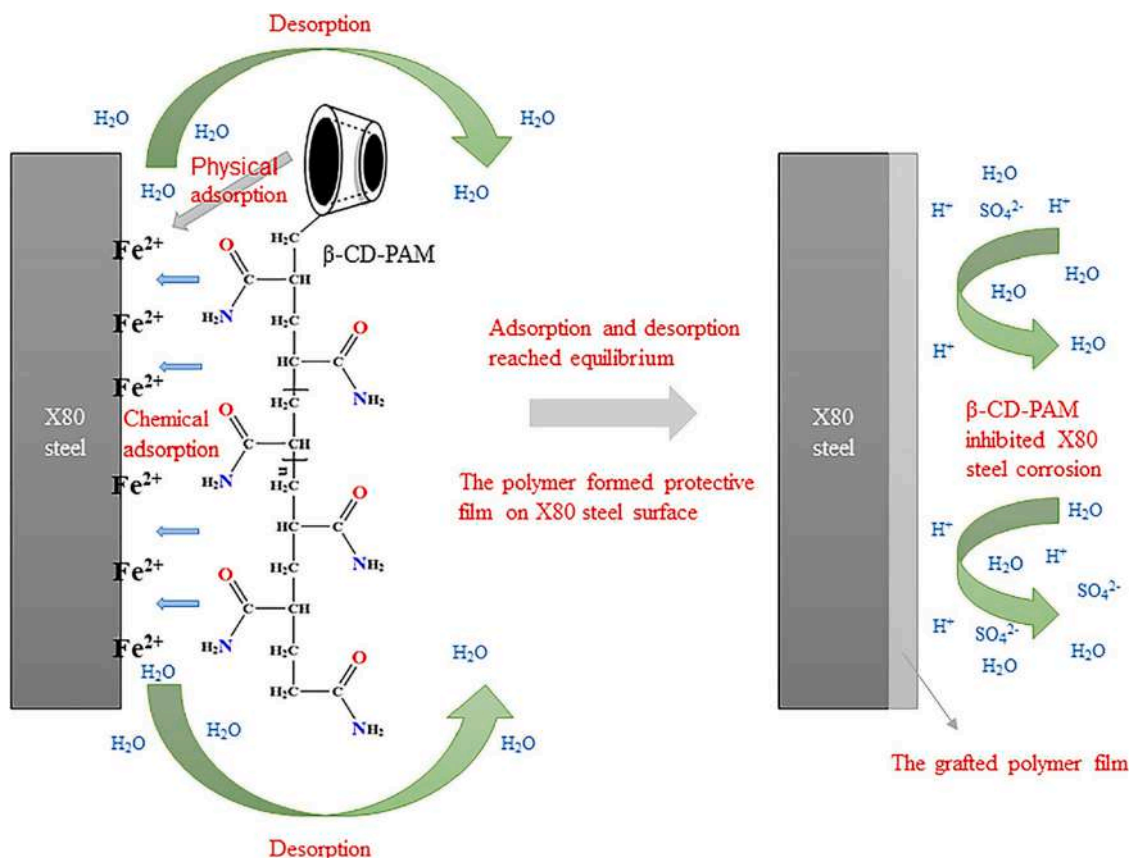


Fig. 1. Inhibition mechanism of β -CD-PAM on the X80 steel surface (Wang et al., 2021).

$$E_{\text{bind}} = -E_{\text{ads}} \quad (2)$$

where E_{water} is the energy of all water molecules, kJ/mol; $E_{\text{iron+water}}$ is the energy of iron and water; E_{total} is the energy of the total system; E_{water} is the energy of all water molecules, kJ/mol; and $E_{\text{com+water}}$ is the energy of the β -CD/CA complex and water, kJ/mol. It was found that the values of E_{ads} and E_{bind} were -469.2 and 469.2 kJ/mol, respectively, showing the high adsorption ability of this inhibitor. The negative values of E_{ads} confirmed that the adsorption of the complex on the metal surface was spontaneous and involved high binding strength [50].

14. Application of natural β -CD as a corrosion inhibitor for zinc metal surfaces

Natural β -CD has been studied as a corrosion inhibitor for zinc metal surfaces. For example, Altin et al. (Altin et al., 2018) investigated the inhibition performance of β -CD for Zn in 0.1 M KCl solution. 0.1 M KCl solution was selected for the corrosion tests in this research work because chloride ions strongly corrode metal surfaces. This research focused on finding solutions for the corrosion of zinc surfaces. The Raman spectroscopy results confirmed the monomolecular adsorption layer of β -CD on the zinc surface and the adsorption interaction on the metal/electrolyte solution surface. A band-like diagram of the β -CD/ZnO interface was obtained through ultraviolet photoelectron spectroscopy (UPS) and angular-dependent X-ray photoelectron spectroscopy (ADXPS), finding that the large energy level shift at the interface closely resembles the energy level alignment in an n-p junction. The corrosion inhibition is the main reason for the sharp increase in the energy level. Therefore, the inhibitor can block the corrosion processes, resulting in a reduction in the electron transfer and an increase in the energy level. EIS and SEM were used to study the corrosion inhibition performance of β -CD for Zn in 0.1 M KCl solution. It was found that (i) the maximum

inhibition performance of β -CD for Zn in 0.1 M KCl solution was over 85 % at low concentrations, (ii) β -CD effectively adsorbed on the Zn surface, and (iii) the corrosion rate dramatically decreased with inhibitor addition (Altin et al., 2018).

14.1. Key in critical review of recent developments and challenges for future research

The water solubility of β -CD in 0.1 M KCl solution was indicated (Altin et al., 2018). This indicator is very important to use in chemical industries. The experiments were not carried out at high temperatures, it is needed to identify the corrosion inhibition performance of natural β -CD at high temperatures. The electrochemical processes of inhibition of natural β -CD were not described in this research work, because, exploring the corrosion inhibition is important to developing the next generation of corrosion inhibitors.

15. Conclusion and future perspectives

15.1. Conclusion

Recent developments, innovations and future opportunities for green β -cyclodextrin-based corrosion inhibitors were reviewed and discussed with relevant examples. The rapid advancement of β -CD-based compounds for use in corrosion protection and their numerous benefits have sparked much interest in corrosion prevention applications. These types of materials are very important because they protect metallic materials from destructive corrosion in large industries such as the chemical, petrochemical, oil-gas, automobile and metallurgical industries. This review detailed the most recent developments of β -CD-based compounds used in corrosion protection, focusing on manufacturing methods, corrosion protection applications, and current problems for β -CD-based

anticorrosion materials. The fundamental theory, importance, developments and innovations of β -CD modifications with natural and synthetic polymers, β -CD grafted with organic compounds, β -CD-based supramolecular (host-guest) systems with organic molecules, polymer β -CD-based supramolecular (host-guest) systems, β -CD-based graphene oxide materials, β -CD-based nanoparticle materials and β -CD-based nanocarriers were discussed as corrosion inhibitors for various metals in different harsh corrosion environments. The corrosion inhibition of β -CD-based compounds for biocorrosion, microbial corrosion and biofouling was also reviewed.

According to the obtained conclusion, it is claimed:

- (i) These compounds are sustainable, inexpensive, environmentally friendly, highly water soluble and have high inhibition efficiency.
- (ii) The main properties (volatility, optical properties, dispersibility, stability, solubility, chemical and physical performances) of targeted compounds are considerably changed in the formation of host-guest complexes with β -CD.
- (iii) Corrosion inhibition performances of compounds are also enhanced with β -CD.
- (iv) The molecular structure of β -CD makes it an excellent molecular container for metal organic, inorganic, organometallic, and organic compounds, polymers and ionic liquids, which may be anionic, cationic, neutral or radical compounds.
- (v) Many hydroxyl groups on the outside of the β -CD make the molecule water soluble, while the inside of the cavity is hydrophobic.
- (vi) β -CD's water solubility and ability to encapsulate hydrophobic moieties within its core cavities through noncovalent interactions are aided by these features (Upadhyay & Ali, 2018).
- (vii) These compounds can be modified, have versatile applications, are commercially available and easy to process, exhibit complexation and chelating behaviour and are highly soluble.
- (viii) β -CD-based corrosion inhibitors can cover a large area of a metal surface with a firmly attached/compact film.
- (ix) The inhibition activity of outdoor hydroxyl functional of β -CD was enhanced with the modification.
- (x) The inhibition power of β -CD was developed by the polar regions of modification substrates.
- (xi) The inhibitor donates its lone pairs of electrons to the vacant d-orbitals of the metal (Fe, Al, Cu, Zn, etc.). It can oxidize the metal, thereby forming a passive/protective layer on the metal surface (de Souza et al., 2016; Umoren & Eduok, 2016).

15.2. Challenges for future research and perspectives

β -CD-based compounds for corrosion protection applications should be created and optimized simultaneously to meet all of these needs; true future breakthroughs are needed. β -CD compounds can be synthesized by green methods, such as using biological sustainable catalysts and green solvents; such solvents include water, ionic liquids and supercritical CO_2 . Other green methods include irradiation or heating, energy-efficient microwave irradiation, mechanochemical mixing, solid-state reactions, hydrothermal reactions and multicomponent reactions (Saji, 2019; Tang et al., 2020; Umoren & Eduok, 2016). These processes can be used to fabricate sustainable, cost-effective, efficient and environmentally friendly corrosion inhibitors. This review will be helpful in creating, enhancing and innovating the next green and efficient materials for future corrosion protection in high-impact industries.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119719>.

References

- Abd El-Lateef, H. M., & Elremaily, M. A. E. A. A. (2016). Divinyl sulfone cross-linked β -cyclodextrin polymer as new and effective corrosion inhibitor for Zn anode in 3.5 M KOH. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 69(9), 1783–1792. <https://doi.org/10.1007/s12666-016-0838-3>
- Abdelkader, M. B., Azizi, N., Baffoun, A., Chevalier, Y., & Majdoub, M. (2019). Fragrant microcapsules based on β -cyclodextrin for cosmetotextile application. *Journal of Renewable Materials*, 7(12), 1347–1362.
- Abdolmaleki, A., Mallakpour, S., Mahmoudian, M., & Sabzalian, M. R. (2017). A new polyamide adjusted triazinyl- β -cyclodextrin side group embedded magnetic nanoparticles for bacterial capture. *Chemical Engineering Journal*, 309, 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.10.063>
- Akhond, M., & Jamalizadeh, E. (2020a). Fabrication of β -cyclodextrin modified halloysite nanocapsules for controlled release of corrosion inhibitors in self-healing epoxy coatings. *Progress in Organic Coatings*, 145, Article 105676.
- Akhond, M., & Jamalizadeh, E. (2020b). Fabrication of β -cyclodextrin modified halloysite nanocapsules for controlled release of corrosion inhibitors in self-healing epoxy coatings. *Progress in Organic Coatings*, 145(March). <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105676>
- Akolkar, S. V., Kharat, N. D., Nagargoje, A. A., Subhedar, D. D., & Shingate, B. B. (2020). Ultrasound-assisted β -cyclodextrin catalyzed one-pot cascade synthesis of pyrazolopyranopyrimidines in water. *Catalysis Letters*, 150(2), 450–460.
- Alrefae, S. H., Rhee, K. Y., Verma, C., Quraishi, M. A., & Ebenso, E. E. (2021). Challenges and advantages of using plant extract as inhibitors in modern corrosion inhibition systems: Recent advancements. *Journal of Molecular Liquids*, 321, Article 114666. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114666>
- Alsaiee, A., Smith, B. J., Xiao, L., Ling, Y., Helbling, D. E., & Dichtel, W. R. (2016). Rapid removal of organic micropollutants from water by a porous β -cyclodextrin polymer. *Nature*, 529(7585), 190–194.
- Altin, A., Rohwerder, M., & Erbe, A. (2017). Cyclodextrins as carriers for organic corrosion inhibitors in organic coatings. *Journal of The Electrochemical Society*, 164(4), C128–C134. <https://doi.org/10.1149/2.0481704jes>
- Altin, A., Krzywicki, M., Sarfraz, A., Toparli, C., Laska, C., Kerger, P., Zerardjan, A., Mayrhofer, K. J. J., Rohwerder, M., & Erbe, A. (2018). Cyclodextrin inhibits zinc corrosion by destabilizing point defect formation in the oxide layer. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 9(1), 936–944. <https://doi.org/10.3762/bjnano.9.86>
- Altin, A., Vimalanandan, A., Sarfraz, A., Rohwerder, M., & A. E. (2019). Pretreatment with a β -cyclodextrin - corrosion inhibitor complex stops an initiated corrosion process on zinc. *Langmuir*, 35(1), 70–77. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b03441>
- Amiri, S., & Rahimi, A. (2014). Preparation of supramolecular corrosion-inhibiting nanocontainers for self-protective hybrid nanocomposite coatings. *Journal of Polymer Research*, 21(10). <https://doi.org/10.1007/s10965-014-0566-5>
- Amiri, S., & Rahimi, A. (2015). Synthesis and characterization of supramolecular corrosion inhibitor nanocontainers for anticorrosion hybrid nanocomposite coatings. *Journal of Polymer Research*, 22(5), 1–9.
- Amiri, S., & Rahimi, A. (2016). Anticorrosion behavior of cyclodextrins/inhibitor nanocapsule-based self-healing coatings. *Journal of Coatings Technology and Research*, 13(6), 1095–1102.
- Ansari, K. R., Chauhan, D. S., Quraishi, M. A., & Saleh, T. A. (2020). Surfactant modified graphene oxide as novel corrosion inhibitors for mild steels in acidic media. *Inorganic Chemistry Communications*, 121, Article 108238.
- Bahgat Radwan, A., Mannah, C. A., Sliem, M. H., Al-Qahtani, N. H. S., Okonkwo, P. C., Berdimurodov, E., Mohamed, A. M., & Abdullah, A. M. (2021). Electrospun highly corrosion-resistant polystyrene-nickel oxide superhydrophobic nanocomposite coating. *Journal of Applied Electrochemistry*, 51(11), 1605–1618. <https://doi.org/10.1007/s10800-021-01603-8>
- Bai, C., Xu, P., Qi, W., Kong, Q., Wang, J., Liao, T., & Xiong, G. (2021). Preparation and characterization of a sustained-release bio-preservative based on β -cyclodextrin encapsulated eugenol. *Food Bioscience*, 42, Article 101192.
- Berdimurodov, E., Kholikov, A., Akbarov, K., Xu, G., Abdullah, A. M., & Hosseini, M. (2020). New anti-corrosion inhibitor (3ar,6ar)-3a,6a-di-p-tolyltetrahydroimidazo [4,5-d]imidazole-2,5(1 h,3h)-dithione for carbon steel in 1 M HCl medium: Gravimetric, electrochemical, surface and quantum chemical analyses. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(10), 7504–7523. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.08.025>
- Berdimurodov, E., Kholikov, A., Akbarov, K., & Guo, L. (2021a). Experimental and theoretical assessment of new and eco-friendly thioglycoluril derivative as an effective corrosion inhibitor of St2 steel in the aggressive hydrochloric acid with sulfate ions. *Journal of Molecular Liquids*, 335, Article 116168. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116168>
- Berdimurodov, E., Kholikov, A., Akbarov, K., & Guo, L. (2021b). Inhibition properties of 4,5-dihydroxy-4,5-di-p-tolylimidazolidine-2-thione for use on carbon steel in an aggressive alkaline medium with chloride ions: Thermodynamic, electrochemical, surface and theoretical analyses. *Journal of Molecular Liquids*, 327, Article 114813. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114813>
- Berdimurodov, E., Kholikov, A., Akbarov, K., Guo, L., Abdullah, A. M., & Eliak, M. (2021). A gossypol derivative as an efficient corrosion inhibitor for St2 steel in 1 M HCl + 1

- M KCl: An experimental and theoretical investigation. *Journal of Molecular Liquids*, 328, Article 115475. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115475>
- Berdimurodov, E., Kholikov, A., Akbarov, K., Guo, L., Kaya, S., Katin, K. P., Kumar Verma, D., Rbaa, M., Dagdag, O., & Haldhar, R. (2021). Novel bromide-cucurbit[7]uril supramolecular ionic liquid as a green corrosion inhibitor for the oil and gas industry. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 901, Article 115794. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2021.115794>
- Berdimurodov, E., Kholikov, A., Akbarov, K., Obot, I. B., & Guo, L. (2021). Thioglycoluril derivative as a new and effective corrosion inhibitor for low carbon steel in a 1 M HCl medium: Experimental and theoretical investigation. *Journal of Molecular Structure*, 1234, Article 130165. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130165>
- Berdimurodov, E., Verma, D. K., Kholikov, A., Akbarov, K., & Guo, L. (2021). The recent development of carbon dots as powerful green corrosion inhibitors: A prospective review. *Journal of Molecular Liquids*, 118124. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.118124>
- Berdimurodov, E., Kholikov, A., Akbarov, K., Guo, L., Kaya, S., Katin, K. P., Verma, D. K., Rbaa, M., & Dagdag, O. (2022). Novel cucurbit[6]uril-based [3]rotaxane supramolecular ionic liquid as a green and excellent corrosion inhibitor for the chemical industry. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 633, Article 127837. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127837>
- Berdimurodov, E., Kholikov, A., Akbarov, K., Guo, L., Kaya, S., Katin, K. P., Verma, D. K., Rbaa, M., Dagdag, O., & Haldhar, R. (2022). Novel gossypol-indole modification as a green corrosion inhibitor for low-carbon steel in aggressive alkaline-saline solution. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 637, Article 128207. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.128207>
- Berdimurodov, E., Kholikov, A., Akbarov, K., Guo, L., Kaya, S., Kumar Verma, D., Rbaa, M., & Dagdag, O. (2022). Novel glycoluril pharmaceutically active compound as a green corrosion inhibitor for the oil and gas industry. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 907, Article 116055. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2022.116055>
- Berdimurodov, E., Kholikov, A., Akbarov, K., Guo, L., Kaya, S., Verma, D. K., Rbaa, M., & Dagdag, O. (2022). New and green corrosion inhibitor based on new imidazole derivate for carbon steel in 1 M hcl medium: Experimental and theoretical analyses. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 58, 11–44. <https://www.scientific.net/JERA.58.11>
- Bezerra, F. M., Lis, M. J., Firmino, H. B., Dias da Silva, J. G., Curto Valle, R. d. C. S., Borges Valle, J. A., ... Tessaro, A. L. (2020). The role of β -cyclodextrin in the textile industry. *Molecules*, 25(16), 3624.
- Brycht, M., Vajdle, O., Sipka, K., Robak, J., Rudnicki, K., Piechocka, J., Tasić, A., Skrzypek, S., & Guzvány, V. (2018). B-cyclodextrin and multiwalled carbon nanotubes modified boron-doped diamond electrode for voltammetric assay of carbendazim and its corrosion inhibition behavior on stainless steel. *Ionics*, 24(3), 923–934. <https://doi.org/10.1007/s11581-017-2253-0>
- Cadosch, D., Chan, E., Gautschi, O. P., Simmen, H., & Filgueira, L. (2009). Bio-corrosion of stainless steel by osteoclasts—in vitro evidence. *Journal of Orthopaedic Research*, 27(7), 841–846.
- Cao, Y., Zou, C., Wang, C., Chen, W., Liang, H., & Lin, S. (2021). Green corrosion inhibitor of β -cyclodextrin modified xanthan gum for X80 steel in 1 M H₂SO₄ at different temperature. *Journal of Molecular Liquids*, 341, Article 117391. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117391>
- Cao, Y., Zou, C., Wang, C., Liang, H., Lin, S., Liao, Y., & Shi, L. (2021). β -cyclodextrin modified xanthan gum as an eco-friendly corrosion inhibitor for L80 steel in 1 M HCl. *Cellulose*, 28(17), 11133–11152. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04240-8>
- Chandra, A., Aggarwal, G., Manchanda, S., & Narula, A. (2019). Formulation optimization and biopharmaceutical evaluation of imatinib mesylate loaded β -cyclodextrin nanosponges. *Development*, 7(5), 362.
- Chaubey, N., Savita, Quraishi, A., Chauhan, D. S., & Quraishi, M. A. (2021). Frontiers and advances in green and sustainable inhibitors for corrosion applications: A critical review. *Journal of Molecular Liquids*, 321, Article 114385. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114385>
- Chauhan, D. S., Quraishi, M. A., Ansari, K. R., & Saleh, T. A. (2020a). Graphene and graphene oxide as new class of materials for corrosion control and protection: Present status and future scenario. *Progress in Organic Coatings*, 147(January). <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105741>
- Chauhan, D. S., Quraishi, M. A., Ansari, K. R., & Saleh, T. A. (2020b). Graphene and graphene oxide as new class of materials for corrosion control and protection: Present status and future scenario. *Progress in Organic Coatings*, 147, Article 105741. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105741>
- Chem, A. J., Tang, M., Li, C. J., Ye, C. Z., & Kou, B. Z. (2017). A novel eco-friendly scale and corrosion inhibitor modified by b-cyclodextrin. *Australian Journal of Chemistry*, 70(8), 933–942. <https://doi.org/10.1071/CH16720>
- Chen, T. C., Yu, S.-C., Hsu, C.-M., Tsai, F.-J., & Tsai, Y. (2018). A water-based topical chinese traditional medicine (Zicao) for wound healing developed using 2-hydroxypropyl- β -cyclodextrin. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 165, 67–73.
- Chew, S. C., Tan, C. P., & Nyam, K. L. (2018). Microencapsulation of refined kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil by spray drying using β -cyclodextrin/gum arabic/sodium caseinate. *Journal of Food Engineering*, 237, 78–85.
- Chugh, B., Thakur, S., Pani, B., & Singh, A. K. (2021). Coordination polymers as corrosion inhibitors. In *Supramolecular Chemistry in Corrosion and Biofouling Protection* (pp. 275–286). CRC Press.
- Crini, G., & Aleya, L. (2021). Cyclodextrin applications in pharmacy, biology, medicine, and environment. In *Environmental Science and Pollution Research* (pp. 1–4). Springer.
- Crini, G., Fenyvesi, E., & Szentle, L. (2021). Outstanding contribution of professor József szejtli to cyclodextrin applications in foods, cosmetics, drugs, chromatography and biotechnology: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(3), 2619–2641.
- Dagdag, O., Berisha, A., Mehmeti, V., Haldhar, R., Berdimurodov, E., Hamed, O., Jodeh, S., Igaz, H., Sherif, E.-S. M., & Ebenso, E. E. (2021). Epoxy coating as effective anti-corrosive polymeric material for aluminum alloys: Formulation, electrochemical and computational approaches. *Journal of Molecular Liquids*, 117886. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117886>
- Dagdag, O., Haldhar, R., Kim, S.-C., Guo, L., Gouri, M. E., Berdimurodov, E., ... Ebenso, E. E. (2022). Recent progress in epoxy resins as corrosion inhibitors: design and performance. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 1–22.
- Dalal, D. S., Patil, D. R., & Tayade, Y. A. (2018). β -cyclodextrin: A green and efficient supramolecular catalyst for organic transformations. *The Chemical Record*, 18(11), 1560–1582.
- de Souza, T. M., Cordeiro, R. F. B., Viana, G. M., Aguiar, L. C. S., de Senna, L. F., Malta, L. F. B., & D'Elia, E. (2016). Inclusion compounds of dibenzylthiourea with hydroxypropylated-cyclodextrins for corrosion protection of carbon steel in acidic medium. *Journal of Molecular Structure*, 1125, 331–339. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2016.06.072>
- Dehghani, A., Bahlakeh, G., & Ramezanzadeh, B. (2020a). Beta-cyclodextrin-zinc acetylacetonate (β -CD@ZnA) inclusion complex formation as a sustainable/smart nanocarrier of corrosion inhibitors for a water-based siliconized composite film: Integrated experimental analysis and fundamental computational electroni. *Composites Part B: Engineering*, 197(March), Article 108152. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108152>
- Dehghani, A., Bahlakeh, G., & Ramezanzadeh, B. (2020b). Construction of a sustainable/controlled-release nano-container of non-toxic corrosion inhibitors for the water-based siliconized film: Estimating the host-guest interactions/desorption of inclusion complexes of cerium acetylacetonate (CeA) with beta-cycl. *Journal of Hazardous Materials*, 399(June), Article 123046. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123046>
- Dehghani, A., Bahlakeh, G., & Ramezanzadeh, B. (2020c). Designing a novel targeted-release nano-container based on the silanized graphene oxide decorated with cerium acetylacetonate loaded beta-cyclodextrin (β -CD-CeA-MGO) for epoxy anti-corrosion coating. *Chemical Engineering Journal*, 400(June), Article 125860. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125860>
- Dehghani, A., Bahlakeh, G., & Ramezanzadeh, B. (2020d). Synthesis of a non-hazardous/smart anti-corrosion nano-carrier based on beta-cyclodextrin-zinc acetylacetonate inclusion complex decorated graphene oxide (β -CD-ZnA-MGO). *Journal of Hazardous Materials*, 398(March), Article 122962. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122962>
- Dehghani, A., Bahlakeh, G., Ramezanzadeh, B., & Hossein Jafari Mofidabadi, A. (2021). 2D reduced-graphene oxide (rGO) nanosheets decorated with L-histidine loaded- β -cyclodextrin for efficient epoxy nano-composite anti-corrosion properties; DFT-D modeling/experimental assessments. *FlatChem*, 30(July), Article 100309. <https://doi.org/10.1016/j.flatc.2021.100309>
- Dehghani, A., Bahlakeh, G., Ramezanzadeh, B., Hossein Jafari Mofidabadi, A., & Hossein Mostafatabar, A. (2021). Benzimidazole loaded β -cyclodextrin as a novel anti-corrosion system; Coupled experimental/computational assessments. *Journal of Colloid and Interface Science*, 603, 716–727. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.06.130>
- Dehghani, A., Bahlakeh, G., Ramezanzadeh, B., & Mofidabadi, A. H. J. (2021a). Application of L-citrulline loaded beta-cyclodextrin nano-carrier for fabrication of a corrosion protective silane film on mild-steel. *Progress in Organic Coatings*, 161 (September), Article 106484. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106484>
- Dehghani, A., Bahlakeh, G., Ramezanzadeh, B., & Mofidabadi, A. H. J. (2021b). Cyclodextrin-based nano-carrier for intelligent delivery of dopamine in a self-healable anti-corrosion coating. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), Article 105457. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105457>
- Deng, C., Cao, C., Zhang, Y., Hu, J., Gong, Y., Zheng, M., & Zhou, Y. (2022). Formation and stabilization mechanism of β -cyclodextrin inclusion complex with C10 aroma molecules. *Food Hydrocolloids*, 123, Article 107013.
- Dewangan, Y., Verma, D. K., Berdimurodov, E., Haldhar, R., Dagdag, O., Tripathi, M., Mishra, V. K., & Kumar, P. A. (2022). N-hydroxypyrazine-2-carboxamide as a new and green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium: Experimental, surface morphological and theoretical approach. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/01694243.2022.2068884>
- Ding, R., Li, W., Wang, X., Gui, T., Li, B., Han, P., Tian, H., Liu, A., Wang, X., & Liu, X. (2018). A brief review of corrosion protective films and coatings based on graphene and graphene oxide. *Journal of Alloys and Compounds*, 764, 1039–1055.
- Dwivedi, A., Bharti, P. K., & Shukla, S. K. (2021). An overview of the polymeric materials that can be used to prevent metal corrosion: A review. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, 8(3), 863–872. <https://doi.org/10.18596/JOTCSA.894374>
- Eddib, A., Albrimi, Y. A., Addi, A. A., Douch, J., Souto, R. M., & Hamdani, M. (2012). Inhibitory action of non toxic compounds on the corrosion behaviour of 316 austenitic stainless steel in hydrochloric acid solution: Comparison of chitosan and cyclodextrin. *International Journal of Electrochemical Science*, 7(8), 6599–6610.
- El-Bindary, A. A., El-Sonbati, A. Z., Diab, M. A., Ghoneim, M. M., & Serag, L. S. (2016). Polymeric complexes—LXII. Coordination chemistry of supramolecular schiff base polymer complexes—A review. *Journal of Molecular Liquids*, 216, 318–329.
- Fan, B., Wei, G., Zhang, Z., & Qiao, N. (2014a). Characterization of a supramolecular complex based on octadecylamine and β -cyclodextrin and its corrosion inhibition properties in condensate water. *Corrosion Science*, 83, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.01.043>
- Fan, B., Wei, G., Zhang, Z., & Qiao, N. (2014b). Preparation of supramolecular corrosion inhibitor based on hydroxypropyl- β -cyclodextrin / octadecylamine and its anti-corrosion properties in the simulated condensate water. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 2(2009), 104–111. <https://doi.org/10.1108/ACMM-04-2013-1256>
- Fan, B., Hao, H., Yang, B., & Li, Y. (2018). Insights into the inhibition mechanism of a novel supramolecular complex towards the corrosion of mild steel in the condensate

- water: Experimental and theoretical studies. *Research on Chemical Intermediates*, 44 (10), 5711–5736.
- Fan, B. M., Wei, B. Y., Hao, H., Feng, Y. H., & Yang, B. (2018). Understanding the inhibition mechanism of a supramolecular complex as the corrosion inhibitor for mild steel in the condensate water. *Materials Science Forum*, 913, 424–438. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.913.424>
- Fan, B., Ma, Y., Wang, M., Hao, H., Yang, B., Lv, J., & Sun, H. (2019). Revealing the assembly mechanism of an octadecylamine based supramolecular complex on mild steel in condensate water: Correlative experimental and theoretical studies. *Journal of Molecular Liquids*, 292, Article 111446.
- Fathima Sabirneeza, A. A., Geethanjali, R., & Subhashini, S. (2015). Polymeric corrosion inhibitors for iron and its alloys: A review. *Chemical Engineering Communications*, 202 (2), 232–244. <https://doi.org/10.1080/00986445.2014.934448>
- Fenyvesi, É., & Sohajda, T. (2022). Cyclodextrin-enabled green environmental biotechnologies. *Environmental Science and Pollution Research*, 1(0123456789). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18176-w>
- Firouzjaei, M. D., Seyedpour, S. F., Aktij, S. A., Giagnorio, M., Bazrafshan, N., Mollahosseini, A., Samadi, F., Ahmadi, P., S., Firouzjaei, F. D., & Esfahani, M. R. (2020). Recent advances in functionalized polymer membranes for biofouling control and mitigation in forward osmosis. *Journal of Membrane Science*, 596, Article 117604.
- Flemming, H.-C. (2020). Biofouling and me: My Stockholm syndrome with biofilms. *Water Research*, 173, Article 115576.
- Foroutan, R., Peighambarpour, S. J., Latifi, P., Ahmadi, A., Alizadeh, M., & Ramavandi, B. (2021). Carbon nanotubes/β-cyclodextrin/MnFe2O4 as a magnetic nanocomposite powder for tetracycline antibiotic decontamination from different aqueous environments. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), Article 106344.
- Fu, L., Lv, J., Zhou, L., Li, Z., Tang, M., & Li, J. (2020). Study on corrosion and scale inhibition mechanism of polyaspartic acid grafted β-cyclodextrin. *Materials Letters*, 264, Article 127276. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127276>
- Ghorbani, H., Abdollah-Zadeh, A., Bagheri, F., & Poladi, A. (2018). Improving the bio-corrosion behavior of AISI316L stainless steel through deposition of ta-based thin films using PACVD. *Applied Surface Science*, 456, 398–402.
- Giovannelli, L., Milanesi, A., Ugazio, E., Fracchia, L., & Segale, L. (2021). Effect of methyl-β-cyclodextrin and trehalose on the freeze-drying and spray-drying of sericin for cosmetic purposes. *Pharmaceuticals*, 14(3), 262.
- Gu, X., Qiu, F., Zhou, X., Qi, J., Zhou, Y., Yang, D., Guo, Q., & Guo, X. (2013). Synthesis and application of terpolymer scale inhibitor in the presence of β-cyclodextrins. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 109, 177–186. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2013.08.021>
- Habib, S., Shakoor, R. A., & Kahraman, R. (2021). A focused review on smart carriers tailored for corrosion protection: Developments, applications, and challenges. *Progress in Organic Coatings*, 154, Article 106218. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106218> (November 2020).
- Haji, A. (2020). Functional finishing of textiles with β-cyclodextrin. *Frontiers of Textile Materials: Polymers, Nanomaterials, Enzymes, and Advanced Modification Techniques*, 87–116.
- Haldhar, R., Kim, S.-C., Berdimurodov, E., Verma, D. K., & Hussain, C. M. (2021). Corrosion inhibitors: Industrial applications and commercialization. In *Vol. 1404. Sustainable corrosion inhibitors II: Synthesis, design, and practical applications* (pp. 10–219). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2021-1404.ch010>
- Haruna, K., Saleh, T. A., Obot, I. B., & Umoren, S. A. (2019). Cyclodextrin-based functionalized graphene oxide as an effective corrosion inhibitor for carbon steel in acidic environment. *Progress in Organic Coatings*, 128, 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.11.005> (November 2018).
- He, Y., Yang, Q., & Xu, Z. (2014a). A supramolecular polymer containing β-cyclodextrin as corrosion inhibitor for carbon steel in acidic medium. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 87(12), 1936–1942. <https://doi.org/10.1134/S1070427214120234>
- He, Y., Yang, Q., & Xu, Z. (2014b). A supramolecular polymer containing β-cyclodextrin as corrosion inhibitor for carbon steel in acidic medium. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 87(12), 1936–1942.
- He, Y., Zhang, C., Wu, F., & Xu, Z. (2016). Fabrication study of a new anticorrosion coating based on supramolecular nanocontainer. *Synthetic Metals*, 212, 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2015.10.022>
- Javidparvar, A. A., Naderi, R., & Ramezanzadeh, B. (2019). Designing a potent anti-corrosion system based on graphene oxide nanosheets non-covalently modified with cerium/benzimidazole for selective delivery of corrosion inhibitors on steel in NaCl media. *Journal of Molecular Liquids*, 284, 415–430.
- Javidparvar, A. A., Naderi, R., Ramezanzadeh, B., & Bahlakeh, G. (2019). Graphene oxide as a pH-sensitive carrier for targeted delivery of eco-friendly corrosion inhibitors in chloride solution: Experimental and theoretical investigations. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 72, 196–213.
- Jiang, W., Wang, J., Zhao, W., Liu, Q., Jiang, D., & Guo, S. (2019). Effect of Sn addition on the mechanical properties and bio-corrosion behavior of cytocompatible Mg–4Zn based alloys. *Journal of Magnesium and Alloys*, 7(1), 15–26.
- Kamble, M., Zaheer, Z., Mokale, S., & Zainuddin, R. (2019). Formulation optimization and biopharmaceutical evaluation of imatinib mesylate loaded β-cyclodextrin nanosponges. *Pharmaceutical Nanotechnology*, 7(5), 343–361.
- Kekes, T., Kolliopoulos, G., & Tzia, C. (2021). Hexavalent chromium adsorption onto crosslinked chitosan and chitosan/β-cyclodextrin beads: Novel materials for water decontamination. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), Article 105581.
- Koók, L., Bakonyi, P., Harnisch, F., Kretschmar, J., Chae, K.-J., Zhen, G., Kumar, G., Rózenberszki, T., Tóth, G., & Nemestóthy, N. (2019). Biofouling of membranes in microbial electrochemical technologies: Causes, characterization methods and mitigation strategies. *Bioresource Technology*, 279, 327–338.
- Kumar, A., Sharma, G., Naushad, M., & Thakur, S. (2015). SPION/β-cyclodextrin core-shell nanostructures for oil spill remediation and organic pollutant removal from waste water. *Chemical Engineering Journal*, 280, 175–187.
- Learn, G. D., Lai, E., & von Recum, H. A. (2019). Cyclodextrin polymer coatings resist protein adsorption and mammalian cell adhesion in vitro. In *40. Transactions of the annual meeting of the society for biomaterials and the annual international biomaterials symposium* (p. 200).
- Liu, Y., Zou, C., Yan, X., Xiao, R., Wang, T., & Li, M. (2015). B-cyclodextrin modified natural chitosan as a green inhibitor for carbon steel in acid solutions. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 54(21), 5664–5672. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b00930>
- Liu, Y., Zou, C., Li, C., Lin, L., & Chen, W. (2016). Evaluation of β-cyclodextrin-polyethylene glycol as green scale inhibitors for produced-water in shale gas well. *Desalination*, 377, 28–33. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.09.007>
- Liu, T., Cheng, Y. F., Sharma, M., & Voordouw, G. (2017). Effect of fluid flow on biofilm formation and microbiologically influenced corrosion of pipelines in oilfield produced water. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 156(May), 451–459. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.06.026>
- Liu, C., Zhao, H., Hou, P., Qian, B., Wang, X., Guo, C., & Wang, L. (2018). Efficient Graphene/Cyclodextrin-based nanocontainer: Synthesis and host-guest inclusion for self-healing anticorrosion application. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(42), 36229–36239. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b11108>
- Liu, C., Wang, P., Liu, X., Yi, X., Zhou, Z., & Liu, D. (2019). Multifunctional β-cyclodextrin MOF-derived porous carbon as efficient herbicides adsorbent and potassium fertilizer. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(17), 14479–14489.
- Liu, T., Ma, L., Wang, X., Wang, J., Qian, H., Zhang, D., & Li, X. (2021). Self-healing corrosion protective coatings based on micro/nanocarriers: A review. *Corrosion Communications*, 1, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.ccorcom.2021.05.004>
- Lou, X. Y., Li, Y. P., & Yang, Y. W. (2019). Gated materials: Installing macrocyclic arenes-based supramolecular nanovalves on porous nanomaterials for controlled cargo release. *Biotechnology Journal*, 14(1), 1–28. <https://doi.org/10.1002/biot.201800354>
- Ma, Y., Fan, B., Zhou, T., Hao, H., Yang, B., & Sun, H. (2019). Molecular assembly between weak crosslinking cyclodextrin polymer and trans-cinnamaldehyde for corrosion inhibition towards mild steel in 3.5% NaCl solution: Experimental and theoretical studies. *Polymers*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/polym11040635>
- Ma, Y., Zhou, T., Zhu, W., Fan, B., Liu, H., Fan, G., Hao, H., Sun, H., & Yang, B. (2020). Understanding the anticorrosive mechanism of a cross-linked supramolecular polymer for mild steel in the condensate water: Comprehensive experimental, molecular docking, and molecular dynamics investigations. *Journal of Molecular Modeling*, 26(4), 1–17.
- Marques, C. S., Carvalho, S. G., Bertoli, L. D., Villanova, J. C. O., Pinheiro, P. F., Dos Santos, D. C. M., Yoshida, M. I., de Freitas, J. C. C., Cipriano, D. F., & Bernardes, P. C. (2019). β-cyclodextrin inclusion complexes with essential oils: Obtention, characterization, antimicrobial activity and potential application for food preservative sachets. *Food Research International*, 119, 499–509.
- Mishra, A., Aslam, J., Verma, C., Quraishi, M. A., & Ebenso, E. E. (2020). Imidazoles as highly effective heterocyclic corrosion inhibitors for metals and alloys in aqueous electrolytes: A review. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 114, 341–358. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2020.08.034>
- Monticelli, C., Fantin, G., Di Carmine, G., Zanotto, F., & Balbo, A. (2019). Inclusion of 5-mercapto-1-phenyl-tetrazole into β-cyclodextrin for entrapment in silane coatings: An improvement in bronze corrosion protection. *Coatings*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/coatings9080508>
- Niu, X., Mo, Z., Yang, X., Sun, M., Zhao, P., Li, Z., Ouyang, M., Liu, Z., Gao, H., & Guo, R. (2018). Advances in the use of functional composites of β-cyclodextrin in electrochemical sensors. *Microchimica Acta*, 185(7), 1–17.
- Obot, I. B., Meroufel, A., Onyeachu, I. B., Alenazi, A., & Sorour, A. A. (2019). Corrosion inhibitors for acid cleaning of desalination heat exchangers: Progress, challenges and future perspectives. *Journal of Molecular Liquids*, 296, Article 111760. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111760>
- Olivieri, F., Castaldo, R., Cocca, M., Gentile, G., & Lavorgna, M. (2021). Mesoporous silica nanoparticles as carriers of active agents for smart anticorrosive organic coatings: A critical review. *Nanoscale*, 13(20), 9091–9111. <https://doi.org/10.1039/d1nr01899j>
- Ouyang, Y., Zhao, J., Qiu, R., Hu, S., Niu, H., Zhang, Y., & Chen, M. (2020). Nanowall enclosed architecture infused by lubricant: A bio-inspired strategy for inhibiting bio-adhesion and bio-corrosion on stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 381, Article 125143.
- Pawar, S., & Shende, P. (2020). A comprehensive patent review on β-cyclodextrin cross-linked nanosponges for multiple applications. *Recent Patents on Nanotechnology*, 14 (1), 75–89.
- Petitjean, M., García-Zubiri, I. X., & Isasi, J. R. (2021). History of cyclodextrin-based polymers in food and pharmacy: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(4), 3465–3476.
- Pichardo-Romero, D., García-Arce, Z. P., Zavala-Ramírez, A., & Castro-Muñoz, R. (2020). Current advances in biofouling mitigation in membranes for water treatment: An overview. *Processes*, 8(2), 182.
- Piletti, R., Zanetti, M., Jung, G., de Mello, J. M. M., Dalcanton, F., Soares, C., Riella, H. G., & Fiori, M. A. (2019). Microencapsulation of garlic oil by β-cyclodextrin as a thermal protection method for antibacterial action. *Materials Science and Engineering: C*, 94, 139–149.

- Punitha, N., Saravanan, P., Mohan, R., & Ramesh, P. S. (2017). Antifouling activities of β -cyclodextrin stabilized peg based silver nanocomposites. *Applied Surface Science*, 392, 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.07.114>
- Quadri, T. W., Olasunkanmi, L. O., Fayemi, O. E., Akpan, E. D., Verma, C., Sherif, E. S. M., Khaled, K. F., & Ebenso, E. E. (2021). Quantitative structure activity relationship and artificial neural network as vital tools in predicting coordination capabilities of organic compounds with metal surface: A review. *Coordination Chemistry Reviews*, 446, Article 214101. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2021.214101>
- Quraishi, M. A., Chauhan, D. S., & Ansari, F. A. (2021). Development of environmentally benign corrosion inhibitors for organic acid environments for oil-gas industry. *Journal of Molecular Liquids*, 329, Article 115514. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115514>
- Quraishi, M. A., Chauhan, D. S., & Saji, V. S. (2021). Heterocyclic biomolecules as green corrosion inhibitors. *Journal of Molecular Liquids*, 341, Article 117265. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117265>
- Radey, H. H., Khalaf, M. N., & Al-Sawaad, H. Z. (2018). Novel corrosion inhibitors for carbon steel alloy in acidic medium of 1N HCl synthesized from graphene oxide. *Open Journal of Organic Polymer Materials*, 8(04), 53.
- Rahimi, A., & Amiri, S. (2015a). Anticorrosion hybrid nanocomposite coatings with encapsulated organic corrosion inhibitors. *Journal of Coatings Technology and Research*, 12(3), 587–593. <https://doi.org/10.1007/s11998-015-9657-4>
- Rahimi, A., & Amiri, S. (2015b). Self-healing hybrid nanocomposite coatings with encapsulated organic corrosion inhibitors. *Journal of Polymer Research*, 22(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s10965-014-0624-z>
- Rahimi, A., & Amiri, S. (2016). Self-healing anticorrosion coating containing 2-mercaptobenzothiazole and 2-mercaptobenzimidazole nanocapsules. *Journal of Polymer Research*, 23(4). <https://doi.org/10.1007/s10965-016-0973-x>
- Ramezanzadeh, B., Kardar, P., Bahlakeh, G., Hayatgheib, Y., & Mahdavian, M. (2017). Fabrication of a highly tunable graphene oxide composite through layer-by-layer assembly of highly crystalline polyaniline nanofibers and green corrosion inhibitors: Complementary experimental and first-principles quantum-mechanics modeling approaches. *The Journal of Physical Chemistry C*, 121(37), 20433–20450.
- Ren, T., & Xu, Z. (2018). Study of isomeric pentacyclic triterpene acids in traditional chinese medicine of forsythiae fructus and their binding constants with β -cyclodextrin by capillary electrophoresis. *Electrophoresis*, 39(7), 1006–1013.
- Saji, V. S. (2019). Supramolecular concepts and approaches in corrosion and biofouling prevention. *Corrosion Reviews*, 37(3), 187–230. <https://doi.org/10.1515/corrrev-2018-0105>
- Sapurina, I. Y., & Shishov, M. A. (2012). Oxidative polymerization of aniline: Molecular synthesis of polyaniline and the formation of supramolecular structures. *New Polymers for Special Applications*, 740(7), 272.
- Shahini, M. H., Ramezanzadeh, B., & Mohammadloo, H. E. (2021). Recent advances in biopolymers/carbohydrate polymers as effective corrosion inhibitive macromolecules: A review study from experimental and theoretical views. *Journal of Molecular Liquids*, 325, Article 115110. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.115110>
- Shahini, M. H., Taheri, N., Mohammadloo, H. E., & Ramezanzadeh, B. (2021). A comprehensive overview of nano and micro carriers aiming at curtailing corrosion progression. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 126, 252–269. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.06.053>
- Shahmoradi, A. R., Ranjbarghanei, M., Javidparvar, A. A., Guo, L., Berdimurodov, E., & Ramezanzadeh, B. (2021). Theoretical and surface/electrochemical investigations of walnut fruit green husk extract as effective inhibitor for mild-steel corrosion in 1M HCl electrolyte. *Journal of Molecular Liquids*, 338, Article 116550. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116550>
- Sharifnabi, A., Fathi, M. H., Yekta, B. E., & Hossainilipour, M. (2014). The structural and bio-corrosion barrier performance of mg-substituted fluorapatite coating on 316L stainless steel human body implant. *Applied Surface Science*, 288, 331–340.
- Shuang, Y., Zhang, T., & Li, L. (2020). Preparation of a stilbene diamido-bridged bis (β -cyclodextrin)-bonded chiral stationary phase for enantioseparations of drugs and pesticides by high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1614, Article 460702.
- Sprung, C., Wählich, D., Hüttel, R., Seldel, J., Meyer, A., & Wolf, G. (2009). Detection and monitoring of biofilm formation in water treatment systems by quartz crystal microbalance sensors. *Water Science and Technology*, 59(3), 543–548. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.001>
- Talha, M., Ma, Y., Kumar, P., Lin, Y., & Singh, A. (2019). Role of protein adsorption in the bio corrosion of metallic implants—A review. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 176, 494–506.
- Tang, W., Zou, C., Da, C., Cao, Y., & Peng, H. (2020). A review on the recent development of cyclodextrin-based materials used in oilfield applications. *Carbohydrate Polymers*, 240(8), Article 116321. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116321>
- Tiu, B. D. B., & Advincula, R. C. (2015). Polymeric corrosion inhibitors for the oil and gas industry: Design principles and mechanism. *Reactive and Functional Polymers*, 95, 25–45. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2015.08.006>
- Umoren, S. A., & Eduok, U. M. (2016). Application of carbohydrate polymers as corrosion inhibitors for metal substrates in different media: A review. *Carbohydrate Polymers*, 140, 314–341. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.12.038>
- Umoren, S. A., Solomon, M. M., Obot, I. B., & Suleiman, R. K. (2019). A critical review on the recent studies on plant biomaterials as corrosion inhibitors for industrial metals. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 76, 91–115. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.057>
- Upadhyay, S. K., & Ali, S. M. (2018). Molecular recognition of flunarizine dihydrochloride and β -cyclodextrin inclusion complex by NMR and computational approaches. *Chemistry Central Journal*, 12(1), 1–9.
- Upadhyay, S. K., & Kumar, G. (2009). NMR and molecular modelling studies on the interaction of fluconazole with β -cyclodextrin. *Chemistry Central Journal*, 3(1), 1–9.
- Verma, C., & Quraishi, M. A. (2021). Gum arabic as an environmentally sustainable polymeric anticorrosive material: Recent progresses and future opportunities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184(April), 118–134. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.050>
- Verma, C., Ebenso, E. E., & Quraishi, M. A. (2017). Corrosion inhibitors for ferrous and non-ferrous metals and alloys in ionic sodium chloride solutions: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 248, 927–942. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.10.094>
- Verma, C., Ebenso, E. E., & Quraishi, M. A. (2020). Molecular structural aspects of organic corrosion inhibitors: Influence of –CN and –NO₂ substituents on designing of potential corrosion inhibitors for aqueous media. *Journal of Molecular Liquids*, 316, Article 113874. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113874>
- Verma, C., Quraishi, M. A., & Ebenso, E. E. (2020). Quinoline and its derivatives as corrosion inhibitors: A review. *Surfaces and Interfaces*, 21(July). <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100634>
- Verma, C., Abdellatif, M. H., Alfantazi, A., & Quraishi, M. A. (2021). N-heterocycle compounds as aqueous phase corrosion inhibitors: A robust, effective and economic substitute. *Journal of Molecular Liquids*, 340, Article 117211. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117211>
- Verma, C., Alfantazi, A., & Quraishi, M. A. (2021). Quantum dots as ecofriendly and aqueous phase substitutes of carbon family for traditional corrosion inhibitors: A perspective. *Journal of Molecular Liquids*, 343, Article 117648. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117648>
- Verma, C., Alrefae, S. H., Quraishi, M. A., Ebenso, E. E., & Hussain, C. M. (2021). Recent developments in sustainable corrosion inhibition using ionic liquids: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 321, 114484. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114484>. Elsevier B.V.
- Verma, C., Alrefae, S. H., Rhee, K. Y., Quraishi, M. A., & Ebenso, E. E. (2021). Thiol (–SH) substituent as functional motif for effective corrosion protection: A review on current advancements and future directions. *Journal of Molecular Liquids*, 324, Article 115111. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.115111>
- Verma, D. K., Kazi, M., Alqahtani, M. S., Syed, R., Berdimurodov, E., Kaya, S., Salim, R., Asatkar, A., & Haldhar, R. (2021). N-hydroxybenzothioamide derivatives as green and efficient corrosion inhibitors for mild steel: Experimental, DFT and MC simulation approach. *Journal of Molecular Structure*, 1241, Article 130648. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130648>
- Vinagre, P. A., Simas, T., Cruz, E., Pinori, E., & Svenson, J. (2020). Marine biofouling: A European database for the marine renewable energy sector. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(7), 495.
- Wang, T. Y., Zou, C. J., Li, D. X., Chen, Z. L., Liu, Y., Li, X. K., & Li, M. (2015). Theoretical investigation on cyclodextrin inclusion complexes with organic phosphoric acid as corrosion inhibitor. *Wuli Huaxue Xuebao / Acta Physico-Chimica Sinica*, 31(12), 2294–2302. <https://doi.org/10.3866/PKU.WHXB201510161>
- Wang, C., Zou, C., & Cao, Y. (2021). Electrochemical and isothermal adsorption studies on corrosion inhibition performance of β -cyclodextrin grafted polyacrylamide for X80 steel in oil and gas production. *Journal of Molecular Structure*, 1228, Article 129737. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129737>
- Wu, Y., Xia, Y., Jing, X., Cai, P., Igalavithana, A. D., Tang, C., Tsang, D. C. W., & Ok, Y. S. (2020). Recent advances in mitigating membrane biofouling using carbon-based materials. *Journal of Hazardous Materials*, 382, Article 120976.
- Xu, C., Wang, X., Wang, J., Hu, H., & Wan, L. (2010). Synthesis and photoelectrical properties of β -cyclodextrin functionalized graphene materials with high bio-recognition capability. *Chemical Physics Letters*, 498(1–3), 162–167.
- Xu, G., Pranantyo, D., Xu, L., Neoh, K. G., Kang, E. T., & Teo, S. L. M. (2016). Antifouling, antimicrobial, and antibiobiofilm multilayer coatings assembled by layer-by-layer deposition involving host-guest interaction. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 55(41), 10906–10915. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b02190>
- Xu, S., Wang, P., Sun, Z., Liu, C., Lu, D., Qi, J., & Ma, J. (2019). Dual-functionalization of polymeric membranes via cyclodextrin-based host-guest assembly for biofouling control. *Journal of Membrane Science*, 569, 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.10.012> (August 2018).
- Xue, J., Shen, J., Zhang, R., Wang, F., Liang, S., You, X., Yu, Q., Hao, Y., Su, Y., & Jiang, Z. (2020). High-flux nanofiltration membranes prepared with β -cyclodextrin and graphene quantum dots. *Journal of Membrane Science*, 612, Article 118465.
- Yan, X., Zou, C., & Qin, Y. (2014). A new sight of water-soluble polyacrylamide modified by β -cyclodextrin as corrosion inhibitor for X70 steel. *Starch*, 66, 968–975. <https://doi.org/10.1002/star.201400063>
- Yang, S., Zong, P., Hu, J., Sheng, G., Wang, Q., & Wang, X. (2013). Fabrication of β -cyclodextrin conjugated magnetic HNT/iron oxide composite for high-efficient decontamination of U (VI). *Chemical Engineering Journal*, 214, 376–385.
- Yang, F., Liu, Y., Liu, T., Liu, S., & Zhao, H. (2019). Aniline trimer-including carboxymethylated β -cyclodextrin as an efficient corrosion inhibitor for Q235 carbon steel in 1 M HCl solution. *RSC Advances*, 9(52), 30249–30258. <https://doi.org/10.1039/c9ra04047a>
- Yang, S. S., Chen, Z., Chen, T. Q., & Fu, C. Y. (2020). Hollow mesoporous silica nanoparticles decorated with cyclodextrin for inhibiting the corrosion of mg alloys. *ACS Applied Nano Materials*, 3(5), 4542–4552. <https://doi.org/10.1021/acsnanm.0c00616>
- Yeganeh, M., Omid, M., Mortazavi, S. H. H., Etemad, A., Nazari, M. H., & Marashi, S. M. (2020). Application of mesoporous silica as the nanocontainer of corrosion inhibitor. In *Corrosion Protection at the Nanoscale* (pp. 275–294). Elsevier.
- Zahidah, K. A., Kakooei, S., Ismail, M. C., & Bothi Raja, P. (2017). Halloysite nanotubes as nanocontainer for smart coating application: A review. *Progress in Organic Coatings*, 111(June), 175–185. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2017.05.018>

- Zhang, J., Li, M., & Mao, H. (2019). Cross-linked enzyme aggregates of recombinant cyclodextrin glycosyltransferase for high-purity β -cyclodextrin production. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(5), 1528–1533.
- Zhang, J., Mao, H., Li, M., & Su, E. (2019). Cyclodextrin glucosyltransferase immobilization on polydopamine-coated Fe₃O₄ nanoparticles in the presence of polyethyleneimine for efficient β -cyclodextrin production. *Biochemical Engineering Journal*, 150, Article 107264.
- Zhang, M., Wei, X., Xu, X., Jin, Z., & Wang, J. (2020). Synthesis and characterization of water-soluble β -cyclodextrin polymers via thiol-maleimide 'click' chemistry. *European Polymer Journal*, 128, Article 109603.
- Zhu, B., Jia, L., Guo, X., Yin, J., Zhao, Z., Chen, N., Chen, S., & Jia, Y. (2019). Controllable assembly of a novel cationic gemini surfactant containing a naphthalene and amide spacer with β -cyclodextrin. *Soft Matter*, 15(15), 3198–3207.
- Zhu, M., Guo, L., He, Z., Marzouki, R., Zhang, R., & Berdimurodov, E. (2022). Insights into the newly synthesized N-doped carbon dots for Q235 steel corrosion retardation in acidizing media: A detailed multidimensional study. *Journal of Colloid and Interface Science*, 608, 2039–2049. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.10.160>
- Zou, C., Tang, Q., Tan, N., Xiao, P., & Hu, X. (2012). Cyclodextrin and methacrylic acid octyl phenols poly(ethylene oxide) ester-induced synergistic effect in a novel poly (AM-co-A- β -CD-co-AE) polymer. *Starch/Stärke*, 64(4), 281–289. <https://doi.org/10.1002/star.201100139>
- Zou, C. J., Tang, Q. W., Lan, G. H., Tian, Q., & Wang, T. Y. (2013). Enhancement inhibition efficiency of PBTCA depending on the inclusion complex with hydroxypropyl- β -cyclodextrin. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, 76(1–2), 61–68. <https://doi.org/10.1007/s10847-012-0173-1>
- Zou, C. J., Tang, Q. W., Zhao, P. W., Guan, E. D., Wu, X., & Ye, H. (2013). Further study on the inclusion complex of 2-phosphonobutane-1,2,4-tricarboxylic acid with β -cyclodextrin: A new insight of high inhibition efficiency for protecting steel corrosion. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 103, 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2013.02.013>
- Zou, C., Liu, Y., Yan, X., Qin, Y., Wang, M., & Zhou, L. (2014). Synthesis of bridged β -cyclodextrin-polyethylene glycol and evaluation of its inhibition performance in oilfield wastewater. *Materials Chemistry and Physics*, 147(3), 521–527. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2014.05.025>



Ionic liquids as green and smart lubricant application: an overview

Dakeshwar Kumar Verma¹ · Yeestdev Dewangan¹ · Ajaya Kumar Singh² · Raghvendra Mishra³ ·
Md Abu Bin Hasan Susan⁴ · Rajae Salim⁵ · Mustapha Taleb⁵ · Fadoua El Hajjaji⁵ · Elyor Berdimurodov⁶

Received: 26 October 2021 / Revised: 18 July 2022 / Accepted: 21 July 2022
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2022

Abstract

Ionic liquids due to widespread applications in various fields of science, such as physics, chemistry, and engineering, have been an emerging topic in the field of research in the last few decades. Ionic liquids are mainly used as electrolytes, solvents, and functional materials. Thermal stability, solubility, and liquid nature at a wide temperature range are characteristics of ionic liquids. Researches over the last decades have experienced the use of ionic liquid-based nanomaterial composites since ionic liquids are more stable and more useful with nanoconfined materials. The present review paper describes in detail the physical and chemical properties of ionic liquids as well as their various applications as lubricants.

Keywords Nanoconfined ionic liquids · Lubricants · Viscosity · Thermal stability

Introduction

Lubricants are frequently used in various activities of industries like manufacturing and engineering as metal-working fluids (MWFs). They enhance the stability, workability, and productivity and reduce mechanical deterioration of materials when applied between two interfaces of

similar or dissimilar materials such as metals and alloys [1, 2]. Looking at the current demand, there is a need for lubricants that are biodegradable, less toxic, and environment friendly. In terms of green chemistry, it is clear that energy consumption decreases in mechanical applications due to good lubrication properties, which reduce energy loss during friction. Therefore, long life of all materials from friction and wear is protected by using good lubricants, and also excellent lubrication system helps to save the energy, minimize the energy loss, and save the raw materials. Ionic liquids (ILs) had recently been explored as a potential lubricant for various applications. ILs are organic substances in the form of liquid salts that possess some important characteristics such as low melting temperature, high combustible temperature, low vapor pressure, superior thermal stability, low volatility, and easily miscibility with organic substances [3–6]. Many ILs have high thermal stability, so they can potentially be applied for incubation lubrication, in which conventional hydrocarbon oil is unstable. IL-based lubricants have so far been extensively examined as an effectual, sustainable lubricant [7]. Recently, the researchers have produced several brand new IL-based lubricants and their lubrication performance along with desired properties for specific applications has also been systematically evaluated. Several types of IL-based lubricants have now been used in the role of additives, owing to the excellent sustainability, low instability, low hydrothermal burning, and excellent thermal stability

✉ Dakeshwar Kumar Verma
dakeshwarverma@gmail.com

✉ Ajaya Kumar Singh
ajayaksingh_au@yahoo.co.in

✉ Rajae Salim
salimrajae@gmail.com

¹ Department of Chemistry, Government Digvijay Autonomous Postgraduate College, Rajnandgaon, Chhattisgarh, India 491441

² Department of Chemistry, Government VYTPG Autonomous College, Durg, Durg, Chhattisgarh, India

³ Materials Institute, C/ Eric Kandel, 2, Technoetafe, 28906 Getafe, Madrid, Spain

⁴ Department of Chemistry, University of Dhaka, Dhaka 1000, Bangladesh

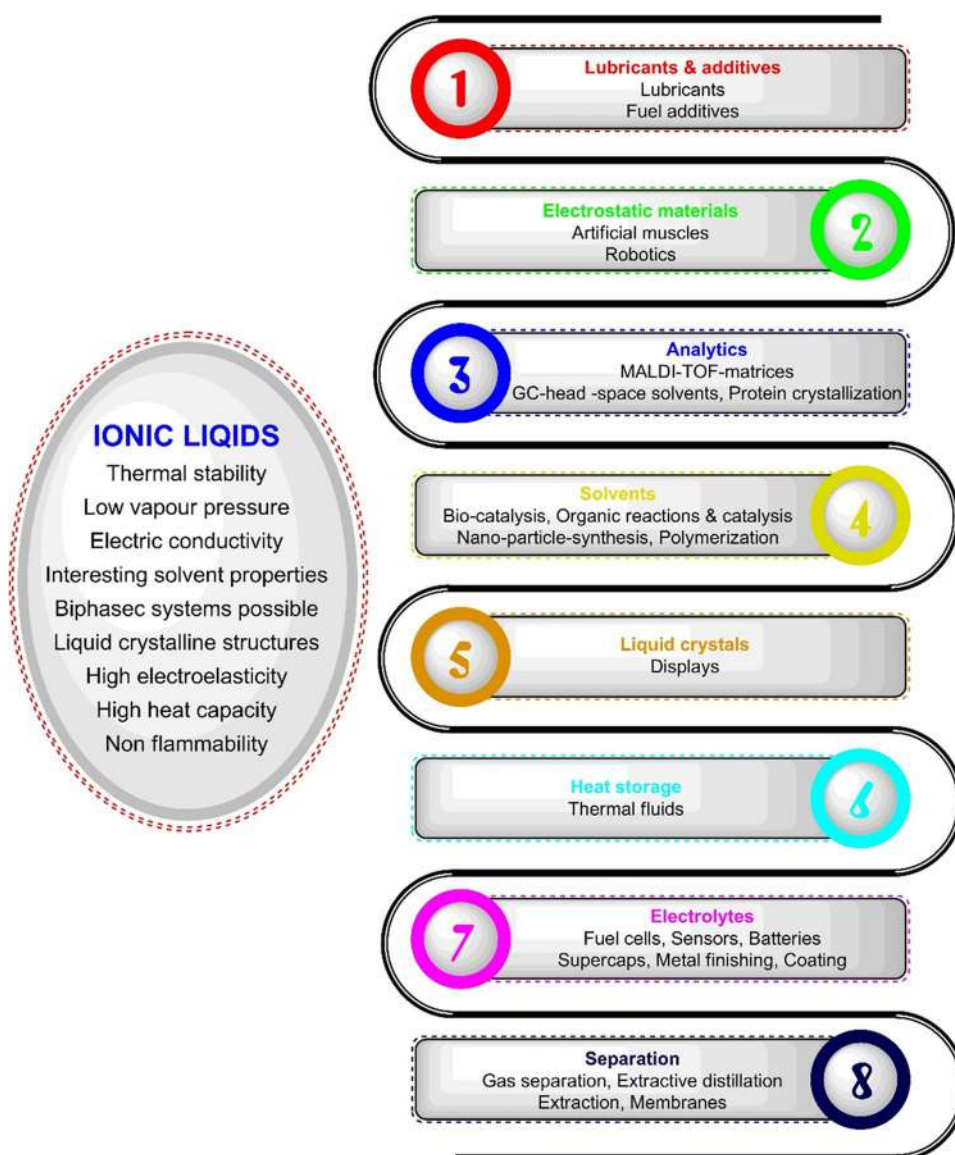
⁵ Engineering Laboratory of Organometallic, Molecular Materials, and Environment, Faculty of Sciences, University Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fez, Morocco

⁶ Faculty of Chemistry, National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan 100034

during high friction and pressure process, and also reliable compatibility of ILs with a base oil (e.g., glycerol, polyethylene glycol, or esters), which make them suitable for future lubricants. Ye et al. reported the first investigation on the use of ILs in the form of lubricants in the year 2001 [8] and since then, the plethora of studies have till now been reported [9]. A variety of ammonium likewise imidazolium ILs have been proven to have more significant stability in comparison to the conventional synthetic oil at 200 °C [10]. Another important advantage of ILs is that different types of ions and diameters can be used; the estimation is in the order of one million combinations, and some are available with their unique property [11]. This means that the ILs can be potentially used for a specific application. However, due to the combination of this large number availability of ILs, it is important for a particular

application to systematically check its performance to reduce the number of potential variations [12, 13]. For example, the nature of the elements is likely to react for creating a protective tribofilm from the surface in the case of the metal, and it can be included as a cation and/or ion; these may include P, F, or B, depending on interfacing surfaces. Figure 1 demonstrates the characteristics and major applications of ILs. Overall, the present review article mainly deals with the ionic liquid-based lubricants, their structures and characteristics of ionic liquid-based lubricants, various chemical properties such as biodegradability, thermal stability, and hydrolytic stability, and physical properties such as density, viscosity and viscosity index, lubricity, specific heat capacity, and ionic conductivity of ionic liquids. Also, mechanism and tribological behavior of ionic liquid-based lubricants are discussed in detail.

Fig. 1 General characteristics and applications of ionic liquids



Ionic liquid-based lubricants

Some of the most common cations are phosphonium, pyridinium, imidazolium, and ammonium, and CF_3SO_3 , PF_6 , BF_4 , and $\text{N}(\text{CF}_3\text{SO}_2)$ are some common anionic ionic liquids. Comprehensive applications of ILs are dependent on the prominent advantages of this superior chemistry and IL is used as a solvent in many machining technology applications [14]. Recent technological advances have helped to tune the properties of traditional lubricants (e.g., perfluoropolyether (PFPE) [15], synthetic ester (SE) [16], polyethylene glycol (PEG) [17], and polyalphaolefin (PAO) [18]) by using ILs.

Structure and characteristics of ionic liquid-based lubricants

Ionic liquids are classified as biological based ionic liquid (organic salt) in addition to those compounds, which are found only in ions and having one or both biological species-based ion. These ions are alternatively incurred positively or negatively charged, and since at least one out of them consists of a delocalized charge, they can act like defective in coordinating their dense structure and protecting against them from forming crystal solid. With those accountable aspects, the ILs hold liquid phase at temperatures below 100°C or room temperature.

Cationic structure

The cationic structure provides exceptional characteristics to ILs. ILs is additionally prescribed for intense miscibility with lubricants due to the low melting point, excellent thermal stability (Fig. 2), and their extraordinary molecular structure of ions [19]. Considering the shape, ions possess pretty much spherical shape ion structure and these types of structured molecules are

regarded as a symmetrical molecule, although convergence is asymmetric [20]. In the shape of ions, the alkyl chains of molecules, as well as quadrilateral structures, vary on moieties. These properties promote the characteristics and aspect of ILs in the role of a cutting-edge lubrication fluid system and as a reliable entrant for high-performance lubricants, which have exceptional chemical as well as physical properties for use in tribochemical and tribological applications.

Anionic structure

It was observed that the protective films were produced during the production of BF_4 and PF_6 in the built IL, and likewise, subsequent investigators began investigating other fluorine such as perfluorodecylphosphate (FAP) amide (NTf_2), triflate (CF_3SO_3 , TF), and BIS triphloromethylphosnil) [21–23]. Boron in other non-fluorinated ions (e.g., BIS (oculotto) Borate, Bob) and phosphorus (e.g., diabetophosphate, DBP) have also been studied (Fig. 3). In the atmosphere of wear, all these ions were considered to pass through favorable reactions as a result of protective film [24–27].

Non-flammability and low vapor pressure of ILs make them a suitable substance for lubricating purposes. Additionally, most ionic liquids (cationic and anionic) have both tribological and rheological properties and the tendency of cavitation is higher for other materials as compared to ionic liquids. The efficiency of the ILs as lubricating oils depends on the nature of both anion and cation. Ammonium- and sulfonium-based ILs have lower tribological properties than phosphonium-based ILs. Additionally, alkyl substituents with long chains increase the tribological efficiency of cationic and anionic ILs but long alkyl chain substituents decrease the thermal stability of the ILs. Usually, hydrophobic ILs show better tribological performances than hydrophilic ionic ILs [28].

Fig. 2 Structures and abbreviations of cations of the ILs used as lubricating materials in the literature

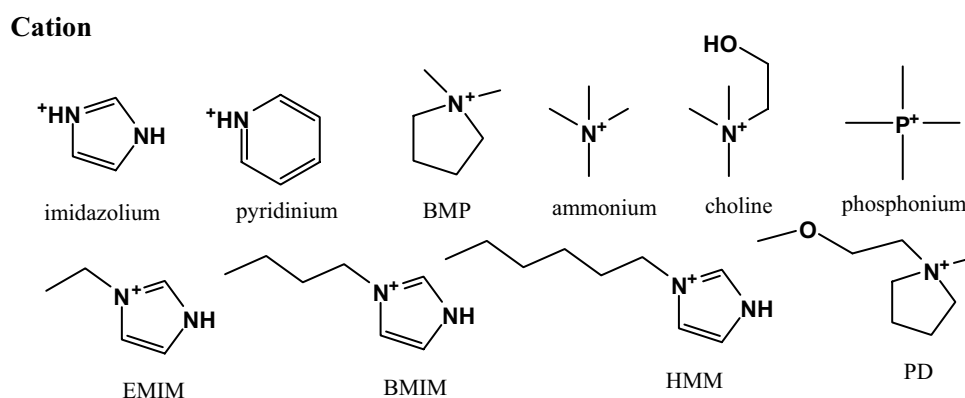
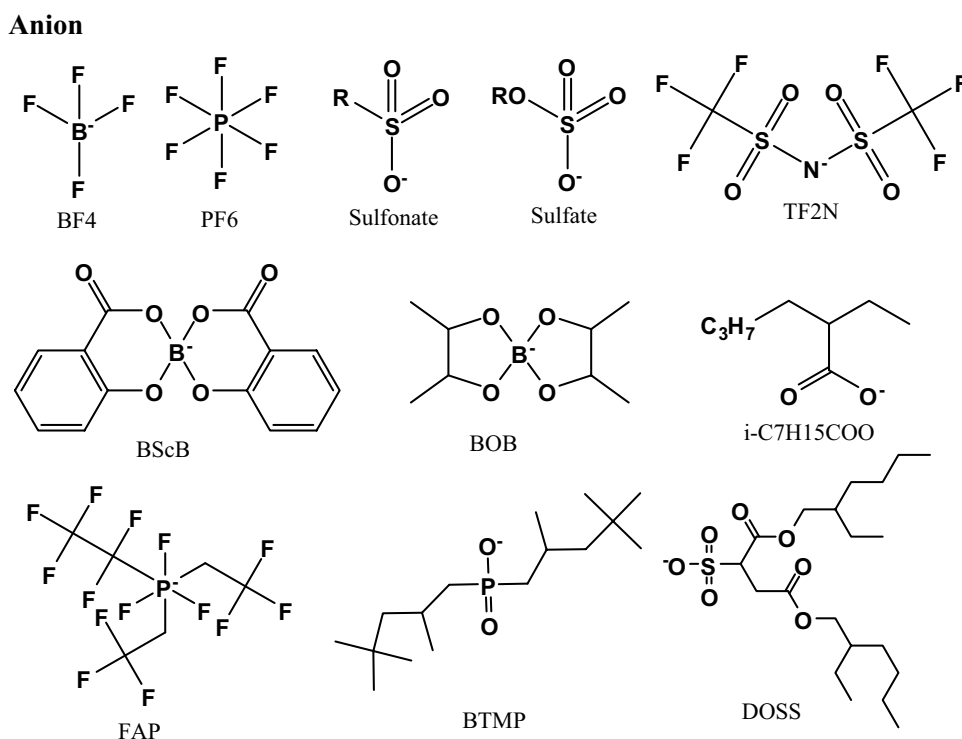


Fig. 3 Structures and abbreviations of anions of the ILs used as lubricating materials in the literature



Chemical properties of ionic liquids

Biodegradability

Biochemical oxidation of lubricants is defined as dissolving chemically lubricant in the environment due to the implementation of live microorganisms. Less ecotoxicity along with rapid biodegradability properties of lubricants are the crucial behavior of an environmentally benign lubricant. The biodegradability and biocompatibility behavior of ionic liquids is dependent on the cationic structures as well as the number of equilibrium molecules. Imidazolium-based ILs are associated with a high level of toxicity along with poor biodegradability and low decomposition stability. Besides, organic materials can also be absorbed by introducing functional polar groups to the alkyl chain. In comparison to water-based or mineral oil-based lubricants, ILs can be recycled and are reusable while maintaining their volume level (non-volatile). Therefore, processing time in addition to the cost of maintenance needs to be minimized [29]. The chemical formulation of ILs helps to determine its physical characteristics. A large number of lengthy carbon chain in ILs increase the viscosity of the ILs because their structure possesses complex branch of the functional groups or alkyl group [30], which correspondingly tends to make them much better with sliding surfaces with high-pressure as well as high-temperature conditions. During the sliding, the chemical interaction between the workpiece surfaces along with ILs is achieved by modifying the surface chemistry.

Designing biodegradation data as part of the design of safer chemicals is equally important as other parameters and properties of ILs. Key characteristics of ILs such as methods of biodegradation analysis, IL design strategies, and surfactant derivatives, to promote IL biodegradation and theoretical approaches for the prediction of biodegradability of ILs, are the most important parameters to design the lubricating performance of ILs. Also, the importance of metabolite studies as part of biodegradation is equally important to design the lubricants especially based on ILs. Low flammability, negligible vapor pressure, and highly polar solvent behavior of ILs make them a good alternative as safer and green to volatile organic compounds (VOCs). Results of previous research revealed the biodegradation, ecotoxicity, and other toxicity of ILs, but biodegradation data are still comparatively scarce.

Thermal stability

Thermal stability is an important characteristic to resist the decomposition of lubricant within the working temperature range. Under high temperature, the chemical degradation of lubricants is notably high that is responsible for the evaporation of fluid as well as a decrease in viscosity. Thus, ILs, e.g., trihexyltetradecylphosphonium bis(2,4,4-trimethylpentyl) phosphinate [31] and 1-butyl-2,3-dimethylimidazolium hexafluorophosphate [32], do not easily evaporate like mineral oil and water. Therefore, these are considered more eco-friendly than traditional lubricants.

Thermogravimetric analysis (TGA) was used extensively in order to determine the thermal stability of ionic liquids soluble in oils in the presence of dinitrogen. Moreover, the air is the most important and realistic medium for the lubricating performance of ILs where oxidation is inevitable. Usually, ILs is more thermally stable as compared to hydrocarbon oils which decomposed at a temperature around 250 °C. Previous research revealed that phosphonium–carboxylate and ammonium–phosphate ILs exhibited lower thermal stability as compared to phosphonium–phosphate ionic liquids, whereas imidazolium- and pyridinium-based ILs relatively exhibited unaffected in the presence of cationic alkyl chain [33].

Hygroscopicity

Any oil lubricates, water acts as a destructive pollutant, and water can degrade the molecules of oil through hydrolysis. The issue of hygroscopic stability in a lubricant is crucial, as it can affect the physical as well as chemical properties of lubricants. Toxic by-products may be produced crushing the surface of the lubricant hydrolysis process which can cause permanent degradation of a lubricant and a decline in quality. For example, ILs containing halogen ions when passing through thermal decomposition through hydro-electric process produce toxic by-products boric acid (H_3BO_3), (phosphoric acid (H_3PO_4), and hydrogen fluoride (HF) which can disrupt the metal surface [34]. ILs such as 1-n-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate [C_4mm][PF_6] and ethyl imidazolium tetrafluoroborate [C_4emem][BF_4] are rich in fluorine and are also sensitive to wet conditions. They undergo hydrolysis and degradation of ions produces highly toxic and very corrosive products of HF. [TFO] $^-$, [NTEF_2] $^-$, [(RO_2PO_2)] $^-$, and [CH_3SO_3] are examples of the formation of non-toxic organic reactions of ILs, which are hydrolysis-stable ions. Many studies reported that ILs when it's in contact with water has a physical properties. The physical characteristics of fluids are the essential properties of lubricants that affect the cooling behavior of the fluids. The capability of coolant minimize temperature is fervently dependent on the heat transfer properties such as convective heat transfer coefficient, specific heat

capacity, thermal conductivity, and specific heat of evaporation. Numerous types of formulations and the physical properties of ILs have been explored by several researchers. Table 1 demonstrates the evaluation of physical as well as thermal properties of ILs, water, and mineral oil. Interestingly, the specific description of data comparability from Table 1 suggests that ILs offer a wide range of physical and thermal properties in comparison with two other normal water-based as well as mineral oil-based coolants.

Physical properties of ionic liquids

Density, viscosity, and viscosity index

The density of ILs is found to be higher than mineral oil as well as water, owing to the higher size and symmetrical shape of their molecular structures. Viscosity (microscopy friction force) in a fluid serves as a resistance to the molecule movements in relative motion under share stress condition [35] and viscosity index (VI) is employed to calculate it using the standard of ASTM D2270 at 40 °C as well as at 100 °C. The applications of IL lubricants offer appropriate liquid ranges for wide applications primarily in the engineering as well as manufacturing. ILs are a group of molecular solvents which shows highly viscous nature. The viscosity of ILs relies on the combination of anions as well as cations viz. by varying the content of their ions. The size and shape, as well as molar mass of the anions, have already been suggested to be the possible contributors to the physical appearance, i.e., viscosity and density as well as thermal stability of ILs [36]. Lighter, smaller, and highly symmetrical structures of the anion molecules contribute extra viscosity in IL systems. Additionally, the thermophysical characteristics including melting point and hydrophobicity, as well as the viscosity of ILs, have been relatively modified by using lengthening the alkyl chain length of the cations. The viscosities of ILs are controlled primarily by van der Waals interactions as well as hydrogen-bonded structures.

Table 1 Physical properties of mineral oils, water, and ionic liquids at 1 bar

S. No	Parameters	Unit	Mineral oil	Water	Ionic liquids	Ref
1	Specific heat capacity, cp at 25 °C	$\text{J g}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.9	4.2	1.0–1.70	41, 42
		$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$	-	75.6	227–1366	43
2	Thermal conductivity, λ	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.1	0.6	0.1–0.2	44
3	Specific heat of vaporization, r	J g^{-1}	210	2260	-	-
		KJ mol^{-1}	-	40.7	115–201	45
4	Kinematic viscosity, ν (at 40 °C)	$\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$	05.20	0.66	20–3333	46
5	Density, ρ at 25 °C	g ml^{-1}	0.9–1.0	0.99	1.0–2.2	-
6	Dynamic viscosity, η (at 40 °C)	mPa s	04–17	0.65	28–3400	46
7	Flash point	°C	< 200	-	> 200	47

Lubricity

The fluid lubricity refers to the capability of lubricating or the ability of lubrication through a lubricant or lubricant ingredients and fluid lubricity are determined by the application of lubricants in minimizing friction as well as wear of the metal sliding pairs. Ionic liquids came into existence as emerging lubricating materials two decades before. Some previous studies suggested the superior performance of ILs over pre-available lubricating fluids on their various properties such as friction coefficient under environmental friendliness, elastohydrodynamic lubrication conditions, thermal oxidation stability, low-temperature fluidity, incompressibility, electrical conductivity, ultralow volatility, viscosity-temperature properties, antiwear performance, and friction reduction under boundary lubrication conditions. Also, the superior behavior of ILs as lubricants over other lubricants in terms of hydraulic fluids, oxygen compressor lubricating fluids, metalworking fluids, micro/nano electromechanical system applications, electrical conductive lubricants, and space lubricants. ILs have potential lubricating oils as well as boundary lubricants on several metal surfaces such as distinctive material pairs [37]. Greater numbers of hydrophobic anions amplify the lubricity effect as well as thermo-oxidative stability [38].

Specific heat capacity

Specific heat capacity of a substance refers to the magnitude of energy needed to raise the temperature of 1 mol by 1 K. The heat capacity of ILs is usually higher compared to water as their unit is inscribed on the molar basis, as mentioned in Table 1 [39–41]. Larger molecular weight is taken into account for these values, which means that suitable amount of heat is required for heating the liquid or is absorbed by the liquid; thereby, the heating, as well as cooling, behavior of the ILs, is considered better than water and mineral oil. The heat capacity of ILs is based on the form of ion chosen instead of its cation in its formulations [42]. An overall trend of escalating heat capacity of ILs suggests that the size of the ion or the molecular weight provides the greater value of heat capacity [43]. ILs having remarkable specific heat capacity as well as comparative thermal conductivity offer more useful cooling features in comparison with water as well as mineral oil.

Ionic conductivity

Ionic conductivities (ICs) were calculated from the Nernst–Einstein relationship using calculated diffusion coefficients and the following equation (Eq. 1) [44].

$$\text{Ionic conductivity} = \sigma_{NE} = \frac{N_l q^2}{V k_B T} (D^+ + D^-) \quad (1)$$

where q is the charge of the cation or anion; N_l is the number of ion pairs; D^- and D^+ are the diffusion coefficients of the anion and cation, respectively; k_B is the Boltzmann constant; V is the molar volume; and T is the absolute temperature. Reddy et al. had reported that experimental ICs of MAF, EAF, and EAP at room temperature are 43.80, 12.16, and 0.87 mS cm⁻¹, respectively as depicted in Fig. 3 [45]. The sequence of experimental ICs for the first triad is EAP for MAF > EAF > PAF and EAF > EAA > second quarter. The IC is calculated from the study of simulation for the first and second triads in the same order. From the simulation study, the IC is 40.62, 7.67, 1.68, 2.28, and 1.35 mS cm⁻¹ respectively for MAF, EAF, PAF, EAA, and EAP. For example, the value of IC for EAF and PAF is 7.67 and 1.68 mS cm⁻¹ respectively. The ionic conductivity of ionic liquids is dependent upon the chain length of alkaline molecules. The increase in the length of the alkaline molecules reduces the conductivity; essentially, the trend effectively arises from the variation of the transmission coefficient of cation and ions. Sunda et al. calculated the ICs of four quaternary ammonium-based ILs and reported similar behavior from their simulations [46].

Mechanism of ionic liquids

It must be mentioned that ionic liquids are not ions in solution; however, ionic liquids are pure compounds like Na + Cl – (l). These pure ionic liquids behave like electrolytic solutions or polar organic solvents. The Coulomb interactions in-between anions and cations are generally stronger; therefore, these types of compounds show higher melting points. The first-order description of ionic liquids is normal charged species in a liquid state [47]. Dipole, hydrogen bonding, and dispersive forces are the main factors for the interactions of IL constituents. The protic ionic liquids are obtained by using strong acid into N-alkylimidazole. The melting points of protic ionic liquids change with symmetry and asymmetry of nitrogen cations, and the lowest melting points are observed asymmetric nitrogen cations [48]. A complexing agent is included, the endothermic move to lower temperature, and melting point can be moved to lower room temperature by using complexing agent. In other words, it leads to enhance the chemical stability for the liquid. The thermodynamic stability of anion complexes is enhanced by holding strong chemical bonds [49].

Additionally, the lubricating behavior of ILs has shown a good correlation with the IL compatibility, concentration, and chemical property, with other material compositions, oil additives and rubbing conditions and contact surfaces. Phosphorus-containing ILs exhibited efficient wear reductions

and friction over the other ionic liquids and base oils. Three different groups of phosphonium-mediated ionic liquids were blended into a PAO base oil at the known content in order to understand the impact of anions [38] and tested at the steel-steel ball on flat sliding contact at high temperature (100 °C). The study suggested the outperformance of all three groups regarding the wear reduction.

The efficient behavior from low to high was observed in the order of phosphonium–sulfonate, phosphonium–carboxylate, and phosphonium–phosphate [38]. Previous research revealed that $[P_{6,6,6,14}][BTMP]$, $[N_{8,8,8,H}][DEHP]$, and $[P_{8,8,8,8}][DEHP]$ exhibited equal to or higher surface protection for both steel-iron and steel-steel contacts as compared to ZDDP [50].

Tribological behavior of ionic lubricants

ILs have been employed as an ingredient or neat lubricant for various lubrication systems. Researchers have illustrated the excellent results from IL-based lubricants because of their exceptional properties and the capability to customize or substitution for the standard lubricant, which is the simple way to achieve an excellent result or better output performance. Additionally, the opportunity of varying the combination of anions and cations provides a considerable advantage and formulations of ILs for particular manufacturing as well as engineering applications. Many studies have shown the potential of the ILs, as well as their physical properties. These parameters are frequently used in antiwear as well as lubrication properties of ILs though these are well known for providing specific aims and objectives. The overall performance of ionic liquids confirms that when ionic liquid mixed with bio-based oil provides the minimum coefficient of frictions, improved tribological performance of oil in the presence of ionic liquid is the result of dipolar structure ionic liquids that leads to absorb on the interacting surfaces and produce the lubrication film [51].

The major concerns included thermal oxidation, toxicity, corrosion, oil miscibility, and cost for the ionic liquids to be used as lubricating agent. The recent development of ionic liquids as thermally stable, noncorrosive, and oil solubility has been largely discussed by some previous researchers. The mainstream research of ionic liquids involved lubrication has been shifted from using ionic liquids as both lubricant additives and as neat or base lubricants. The focus is on developing the halogen- and phosphorus-free ionic liquids as energy efficient and environment-friendly lubricant additives for the steel-based engineering surfaces, and to establish the correlation between structure of anion and tribo-physical properties of ionic liquids. Halogen-free ionic liquids such as borate-based ionic liquids are more important for application as lubricant in the present and future.

1 ionic Liquids as a neat lubricant

There have been a good number of research studies on ionic liquids as neat lubricants [52]. Investigation of neat ionic liquids (e.g., [BMIM] BPH₄) has been mentioned, which has not been well known during the past few years. Since the crystal structure of the IL is monopolized by the C-H-P interactions between the lubricants and the ions, the question occurred whether or not it would be transferred even in the ideal liquid phase structure. By implementing 1D NOSEY NMR and measuring $^{13}CT_1$ relaxation data, almost identical methods of interaction in liquid phase compared to crystal structure can be found. Lyn et al. studied various types of alkyl chain components and $Br^-BF_4^-$, and BF_6^- ions [53] have studied diversity in chemical changes for various types of methylimidazolium salt. They observed high sensitivity in the imidazolium ring for a 2-proton chemical shift (mainly based on the length of the alkyl series, among other factors). The effect was most apparent for bromide salts. Also, they noticed the unexpected H/D exchange for 2-protons. Today, these results can be interpreted as the H-bonding effect, and of course, there is no surprise in the acidity of H₂ in it [54, 55].

2 Ionic liquids as an additive

Apart from the lubricant applications, the use of ILs as lubricant additives and corrosion inhibition proves to reduce friction effectively and to wear different sliding content study suggested the ability to make ILs electric double layer in water [56]. Thus, it is useful for the adsorption of additives in the case of silicon nitride ceramic surface, which is beneficial to the tribology properties of lubricant and reduces the frictional force. Nonetheless, uses of water-based lubricants are primarily constricted under elevated test temperature because of their high volatile characteristic as well as the cooling point. Moreover, the development of tribofilm on ceramic substrates in the course of the lubrication process based on water-based lubricants is very thin. High coefficient of friction and major attached surface clean alkyl phosphate is anticipated in contrast to ILs [57].

3 Tribochemical reaction properties

As a result of their low vapor pressure, ILs serve as a lubricant inside the vacuum condition. Researchers have carried out substantially high vacuum pin-on-disk sliding analysis to understand the consequences of sliding material (Fe, Cu, Al, Ti, etc.) on the decomposition of tribol characteristics of ILs [58]. ILs offer low friction coefficient for every metal. Some partial pressures occurred throughout the sliding; however, the degree of decomposition and the form of discharge gas depend on types of metals. Physical selection turns into a key component of regulating gas discharge, owing to the

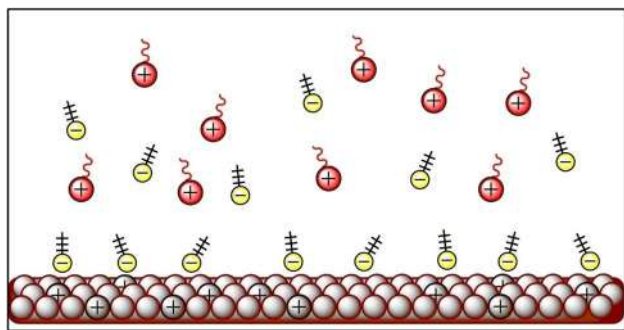


Fig. 4 A schematic representation of layers of ILs adsorbed on a metal surface

triangle decomposition of ionic fluid. Adsorption, chemisorption, and tribochemical reactions are all chemical reactions, which typically show a vital role for developing boundary layer from surface-active substances. In the course of the sliding process, a positive charge is built on the surface of the small convex volume on the metal surface by the energy emitting electron which shows significantly less under the convex number of the contact. Whereas ions are unquestionably interacted with rubbing surfaces, adsorption often occurs on the surface because of the strong electrostatic interaction, even when they are infrequently seen as shown in Fig. 4 [59]. In case, the intense electrostatic interaction of metal surfaces and ILs allows to development of adsorbed, and plays a role to reduce wear and friction.

Ionic liquids as extreme temperature lubricants

The surface properties of IL-lubricant metal during sliding contact at room temperature of 300 °C have been examined by Phillips et al. Before treatment of IL, a few iron samples have been oxidized in Fe_2O_3 as well as Fe_3O_4 form. After that, metallic as well as oxidized samples have been reacted along with ionic fluid at high temperatures. Chemical analysis pronounced the rusting on the surface as a consequence of reactions between ILs as well as steel/iron substrates. A sequence of recent polyethylene glycol has been developed along with functionalized dicationic [60], with alkyl or polyfluoroalkyl substitute. These ILs exhibit excellent thermal stability as well as a reliable lubricant. Imidazolium-based dynamic liquids have much higher degradation temperatures ($T_d > 400$ °C) in comparison with their triazolium alternatives. The attachment of polyfluoroalkyl groups increases antiviral properties; at the same time, a reduction in decomposition temperature is also found. These types of ILs additionally display impressive tribal behavior at 300 °C, which implies their capability of high-temperature lubricants. A different range of decalic ionic fluid, such as polyacylater, polyfluoracilil,

and 1,4-bismithlebenzene, is referred to among the many rings of alkyl-substituted imidazolium [61], which has bridging moieties. The characteristics and properties of these materials have been tailored by the linker series and/or alkaline compounds in the imidazolium ring. Lubrication capability related to ILs is dependent upon the polarity of molecules, thermal stability, orderly layers, and their ability to build tricorrosion processes at the interface.

Conclusion and outlook

This review paper outlines the characteristics of ionic liquids, which are incomparable to several engineering and manufacturing applications especially in the field of lubricating and oils. The viscosity value of the ILs is 3000 mm greater than 20 mm at 2 °C to 40 °C, which is the ability to produce enough lubricant layer, which renders outstanding load carrying capacity on the metal bearing, different lubricant system (hydrodynamic, elastohydrodynamic, and so forth), and the ability to accommodate a wider temperature range for the cooling action, which is found larger in the case of other traditional lubricants. Many current research works have conferred the comprehensive findings of ILs, which clearly classified ILs as suitable advanced lubricants in widespread engineering as well as manufacturing applications. ILs are still moving ahead in the form of lubricants as well as lubricant additives for various common lubricants. It has been demonstrated that ILs have notable abilities which are more reliable than natural cooling (water) and conventional fossil fuel-based lubricants.

Acknowledgements Dr. Dakeshwar Kumar Verma is thankful to the Principal, Govt. Digvijay Autonomous PG College, for providing lab and basic facilities.

Declarations

Conflict of interest The authors declare no competing interests.

References

1. Perez-Martinez CS, Perkin S (2019) Interfacial structure and boundary lubrication of a dicationic ionic liquid. *Langmuir* 35(48):15444–15450
2. Borghi F, Milani P, Podestà A (2019) Solid-like ordering of imidazolium-based ionic liquids at rough nanostructured oxidized silicon surfaces. *Langmuir* 35(36):11881–11890
3. Wang Y, Li L (2020) Uncovering the underlying mechanisms governing the solidlike layering of ionic liquids (ILs) on mica. *Langmuir* 36(11):2743–2756
4. Tu W, Chat K, Szklarz G, Laskowski L, Grzybowska K, Paluch M, Richert R, Adrjanowicz K (2020) Dynamics of Pyrrolidinium-based ionic liquids under confinement. II. The effects of pore size,

- inner surface, and cationic alkyl chain length. *J Phys Chem C* 124(9):5395–5408
5. Groover MP (2013) *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*, 5th edn. John Wiley & Sons, United States of America
 6. Wang YL, Li B, Sarman S, Mocci F, Lu ZY, Yuan J, Laaksonen A, Fayer MD (2020) Microstructural and dynamical heterogeneities in ionic liquids. *Chemical Reviews*, Article ASAP
 7. Yoshida Y, Kitagawa H (2019) Ionic conduction in metal–organic frameworks with incorporated ionic liquids. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 7(1):70–81
 8. Ye C, Liu W, Chen Y, Yu L (2001) Room-temperature ionic liquids: a novel versatile lubricant. *Chem Commun* 21:2244–2245
 9. Bermúdez MD, Jiménez AE, Sanes J, Carrión FJ (2009) Ionic liquids as advanced lubricant fluids. *Molecules* 14:2888–2908
 10. Minami I, Kamimura H, Mori S (2007) Thermo-oxidative stability of ionic liquids as lubricating fluids. *J Synth Lubr* 24:135–147
 11. Canter N (2005) Evaluating ionic liquids as potential lubricants. *Tribol Lubr Technol* 61:15–17
 12. Qu J, Blau PJ, Dai S, Luo H, Meyer HM, Truhan JJ (2009) Tribological characteristics of aluminum alloys sliding against steel lubricated by ammonium and imidazolium ionic liquids. *Wear* 267:1226–1231
 13. Lu Q, Wang H, Ye LW, Xue Q (2004) Room temperature ionic liquid 1-ethyl-3-hexylimidazolium-bis(trifluoromethylsulfonyl)imide as lubricant for steel-steel contact. *Tribol Int* 37:547–552
 14. Wasserscheid P, Gerhardt D, Arlt W (2007) Ionic liquids as operating fluids in high pressure applications. *Chem Eng Tech* 30:1475–1480
 15. Ye C, Liu W, Chen Y, Yu L (2001) Room-temperature ionic liquids: a novel versatile lubricant. *Chem Comm* 2244–2245
 16. Fan M, Song Z, Liang Y, Zhou F, Liu W (2012) In situ formed ionic liquids in synthetic esters for significantly improved lubrication. *ACS Appl Mater Interfaces* 4:6683–6689
 17. Cai MR, Liang YM, Yao MH, Xia YQ, Zhou F, Liu WM (2010) Imidazolium ionic liquids as antiwear and antioxidant additive in poly(ethylene glycol) for steel/steel contacts. *ACS Appl Mater Interfaces* 2:870–876
 18. Somers AE, Howlett PC, MacFarlane DR, Forsyth M (2013) A review of ionic liquid lubricants. *Lubricants* 1:3–21
 19. Xiao H, Guo D, Liu S, Pan G, Lu X (2011) Film thickness of ionic liquids under high contact pressures as a function of alkyl chain length. *Tribol Lett* 41:471–477
 20. Zhou F, Liang Y, Liu W (2009) Ionic liquid lubricants: designed chemistry for engineering applications. *Chem Soc Rev* 38:2590–2599
 21. Qu J, Truhan J, Dai S, Luo H, Blau P (2006) Ionic liquids with ammonium cations as lubricants or additives. *Tribol Lett* 22:207–214
 22. Minami I, Kita M, Kubo T, Nanao H, Mori S (2008) The tribological properties of ionic liquids composed of trifluorotris(pentafluoroethyl) phosphate as a hydrophobic anion. *Tribol Lett* 30:215–223
 23. Jiménez AE, Bermúdez MD, Iglesias P, Carrión FJ, Martínez-Nicolás G (2006) 1-N-alkyl-3-methylimidazolium ionic liquids as neat lubricants and lubricant additives in steel-aluminium contacts. *Wear* 260:766–782
 24. Somers AE, Howlett PC, Sun J, MacFarlane DR, Forsyth M (2010) In Phosphonium ionic liquids as lubricants for aluminium-steel, *Proceedings of the 3rd International Conference on Tribology and Design*, Algarve, Portugal 273–283.
 25. Somers AE, Howlett PC, Sun J, MacFarlane DR, Forsyth M (2010) Transition in wear performance for ionic liquid lubricants under increasing load. *Tribol Lett* 40:279–284
 26. Somers AE, Biddulph SM, Howlett PC, Sun J, MacFarlane DR, Forsyth M (2012) A comparison of phosphorus and fluorine containing IL lubricants for steel on aluminium. *Phys Chem Chem Phys* 14(22):8224–8231
 27. Shah FU, Glavatskih S, MacFarlane DR, Somers A, Forsyth M, Antzutkin ON (2011) Novel halogen-free chelated orthoborate-phosphonium ionic liquids: Synthesis and tribophysical properties. *Phys Chem Chem Phys* 13:12865–12873
 28. Itoh T, Watanabe N, Inada K, Ishioka A, Hayase S, Kawatsura M, Mori S (2009) Design of alkyl sulfate ionic liquids for lubricants. *Chem Lett* 38(1):64–65
 29. Handy ST (2011) Applications of ionic liquids in science and technology. InTech, Rijeka, Croatia.
 30. Brinksmeier E, Meyer D, Huesmann-Cordes AG, Herrmann C (2015) Metalworking fluids - mechanisms and performance. *CIRP Ann - Manuf Technol* 64:605–628
 31. Yu B, Bansal D.G, Qu J, Sun X, Luo H, Dai S, Blau PJ, Bunting BG, Mordukhovich G, Smolenski DJ (201) Oil-miscible and non-corrosive phosphonium-based ionic liquids as candidate lubricant additives. *Wear* 289: 58–64.
 32. Liaw HJ, Chen CC, Chen YC, Chen JR, Huang SK, Liu SN (2012) Relationship between flash point of ionic liquids and their thermal decomposition. *Green Chem* 14:2001–2008
 33. Cao YY, Mu TC (2014) Comprehensive investigation on the thermal stability of 66 ionic liquids by thermogravimetric analysis. *Ind Eng Chem Res* 53:8651–8664
 34. Bart J CJ, Gucciardi E, Cavallaro S (2013) Advanced lubricant fluids, in: *Biolubricants: Science and Technology*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge 824–846.
 35. Wen S, Huang P (2012) *Principles of tribology*, Principles of tribology. John Wiley & Sons, Singapore.
 36. Zhang L, Liu J, He G, Ye Z, Fang X, Zhang Z (2014) Radiative properties of ionic liquid-based nanofluids for medium-to-high-temperature direct absorption solar collectors. *Sol Energy Mater Sol Cells* 130:521–528
 37. Ye C, Liu W, Chen Y, Yu L (2001) Room-temperature ionic liquids: a novel versatile lubricant. *Chem. Commun. (Camb)*. 2244–2245.
 38. Bart J CJ, Gucciardi E, Cavallaro S (2013) Advanced lubricant fluids, in: *Biolubricants: Science and Technology*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge 824–846.
 39. Jiménez AE, Bermúdez MD (2008) Imidazolium ionic liquids as additives of the synthetic ester propylene glycol dioleate in aluminium-steel lubrication. *Wear* 265:787–798
 40. Zhou Y, Leonar DN, Guo W, Qu J (2017) Understanding tribofilm formation mechanisms in ionic liquid lubrication. *Sci Rep* 7:8426
 41. King N, Keranen L, Gunter K, Sutherland J (2001) Wet versus dry turning: a comparison of machining costs, product quality, and aerosol formation. *Soc AutomotEng* 1579.
 42. Ge R, Hardacre C, Jacquemin J, Rooney DW (2009) Thermo-physical properties of ionic liquids. In: Plechkova NV, Rogers RD, Seddon KR (eds) *Ionic liquids: from knowledge to application*. American Chemical Society, Washington DC, pp 43–60
 43. Gómez E, Calvar N, Domínguez Á (2015) Thermal behaviour of pure ionic liquids, in: Handy, S. (Ed.), *Ionic liquids - current state of the art*. InTech, 199–228.
 44. Hansen JP, McDonald IR (2006) *Theory of simple liquids*. Academic Press
 45. Reddy TD, Mallik BS (2017) Protic ammonium carboxylate ionic liquids: insight into structure, dynamics and thermophysical properties by alkyl group functionalization. *Physical Chemistry Chemical Physics* 19(16):10358–70.
 46. Sunda AP, Mondal A, Balasubramanian S (2015) Atomistic simulations of ammonium-based protic ionic liquids: steric effects on structure, low frequency vibrational modes and electrical conductivity. *Phys Chem Chem Phys* 17(6):4625–4633
 47. Tokuda H, Hayamizu K, Ishii K, Susan MA, Watanabe M (2004) Physicochemical properties and structures of room temperature

- ionic liquids. 1. Variation of anionic species. *The Journal of Physical Chemistry B*. 108(42):16593–600.
48. Tokuda H, Hayamizu K, Ishii K, Susan MA, Watanabe M (2005) Physicochemical properties and structures of room temperature ionic liquids. 2. Variation of alkyl chain length in imidazolium cation. *The Journal of Physical Chemistry B* 109(13):6103–10.
 49. Abbott AP, Capper G, Swain BG, Wheeler DA (2005) Electropolishing of stainless steel in an ionic liquid. *Transactions of the IMF* 83(1):51–53
 50. Qu J, Barnhill WC, Luo HM, Meyer HM, Leonard DN, Landauer AK, Kheireddin B, Gao H, Papke BL, Dai S (2015) Synergistic effects between phosphonium-alkylphosphate ionic liquids and zinc dialkyldithiophosphate (ZDDP) as lubricant additives. *Adv Mater* 27:4767–4774
 51. Naveed T, Zahid R, Mufti RA, Waqas M, Hanif MT (2021) A review on tribological performance of ionic liquids as additives to bio lubricants. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology* 235(9):1782–1806
 52. Dupont J, Suarez PAZ, Umpierre AP, De Souza RFJ (2000) Pd (II)-dissolved in ionic liquids: a recyclable catalytic system for the selective biphasic hydrogenation of dienes to monoenes. *BrazChem Soc* 11:293
 53. Lynden-Bell RM, Atamas NA, Vasilyuk A, Hanke CG (2002) Chemical potentials of water and organic solutes in imidazolium ionic liquids: a simulation study. *Mol Phys* 100:3225–3229
 54. Barnhill WC, Qu J, Luo H, Meyer HM III, Ma C, Chi M, Papke BL (2014) Phosphonium-organophosphate ionic liquids as lubricant additives: effects of cation structure on physicochemical and tribological characteristics. *ACS Appl Mater Interfaces* 6(24):22585–22593
 55. Omotowa BA, Phillips BS, Zabinski JS, Shreeve JM (2004) Phosphazene-based ionic liquids: synthesis, temperature-dependent viscosity, and effect as additives in water lubrication of silicon nitride ceramics. *Inorg Chem* 43:5466–5471
 56. Guo Y, Qiao D, Han Y, Zhang L, Feng D, Shi L (2015) Application of alkylphosphate ionic liquids as lubricants for ceramic material. *Ind Eng Chem Res* 54:12813–12825
 57. Minami I (2009) Ionic liquids in tribology. *Molecules* 14:2286–2305
 58. Palacio M, Bhushan B (2010) A review of ionic liquids for green molecular lubrication in nanotechnology. *Tribol Lett* 40:247–268
 59. Jin CM, Ye CF, Phillips BS, Zabinski JS, Liu XQ, Liu WM, Shreeve JM (2006) Polyethylene glycol functionalized dicationic ionic liquids with alkyl or polyfluoroalkyl substituents as high temperature lubricants. *J Mater Chem* 16:1529–1535
 60. Zeng Z, Phillips BS, Xiao JC, Shreeve JM (2008) Polyfluoroalkyl, polyethylene glycol, 1,4-bismethylenebenzene or 1,4-bismethylene-2,3,5,6-tetrafluorobenzene bridged functionalized dicationic ionic liquids: Synthesis and properties as high temperature lubricants. *Chem Mater* 20:2719–2726
 61. Qu J, Luo H (2014) Ionic liquids containing symmetric quaternary phosphonium cations and phosphorus-containing anions, and their use as lubricant additives, U.S. Patent Application 14/184,754, Feb. 20,

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Springer Nature or its licensor holds exclusive rights to this article under a publishing agreement with the author(s) or other rightsholder(s); author self-archiving of the accepted manuscript version of this article is solely governed by the terms of such publishing agreement and applicable law.



Euphorbia prostrata as an eco-friendly corrosion inhibitor for steel: electrochemical and DFT studies

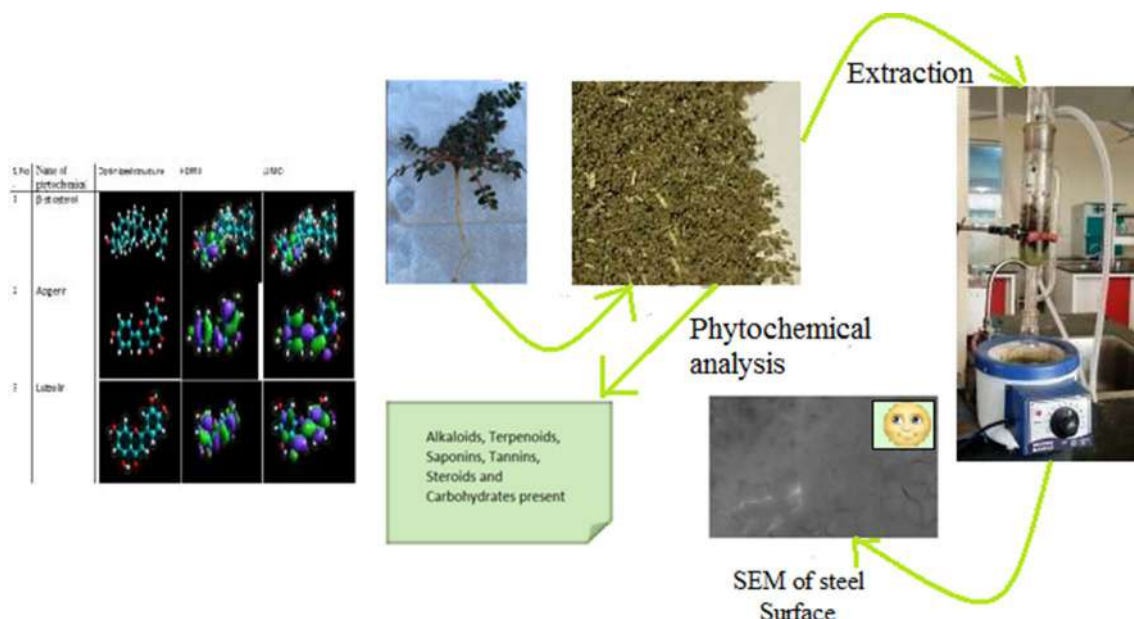
Jasdeep Kaur¹ · Akhil Saxena¹ · Elyor Berdimurodov² · Dakeshwar Kumar Verma³

Received: 30 August 2022 / Accepted: 7 October 2022
 © Institute of Chemistry, Slovak Academy of Sciences 2022

Abstract

The risk of mild steel corrosion during the acid cleaning process can be reduced by using an aqueous extract of *Euphorbia prostrata* plant. The efficiency of *Euphorbia prostrata* plant extract for corrosion inhibition was explored by applying weight loss analysis, SEM, potentiodynamic polarization measurements, electrochemical impedance spectroscopy, and DFT studies on mild steel corrosion in 1 M H₂SO₄. This extract contains β -sitosterol, Campesterol, Stigmasterol, Cholesterol, Apigenin, Luteolin, Apigenin-7-glucoside, Luteolin-7-glucoside, Gallic acid, and Ellagic acid. The availability of multiple bonds and heteroatoms in the phytochemicals of this extract are primarily responsible for its anticorrosive properties. The plant extract solution has a higher ΔH_a in the presence of an inhibitor (47.67 kJ/mol) than in the absence of an inhibitor (8.59 kJ/mol) suggesting that the metal is better protected. Furthermore, from quantum chemical studies, we compared the effectiveness of the phytochemicals present in the extract. At 1500 mg/L, the maximal inhibition efficiency of 96.23% in 1 M H₂SO₄ solution was obtained.

Graphical abstract



Keywords *Euphorbia prostrata* · Electrochemical impedance spectroscopy · Quantum chemical calculations · Green corrosion inhibitors · Economic productivity

✉ Akhil Saxena
 akhil.uis@cumail.in

Extended author information available on the last page of the article

Introduction

Because of its high strength, mild steel is an extensively utilized alloy, with usage in building, engineering, agricultural, and automobile manufacturing and in industrial processes. But steel has a low corrosion resistance and corrosion is caused by a variety of conditions including surface contaminants, stress, heat, and solution interaction. Corrosion seems to become a global issue due to the rapid advancement of industries. By use of acid solution which is extensively utilized in industries for pickling, there is the deterioration of the metal surface. Many chemical processing plants, the oil sector, and plenty of other metal-using industries pay a huge amount of money due to corrosion. According to a survey, the world demand for corrosion inhibitors amounted to \$7.2 billion in the year 2019 and is predicted to increase to \$9.6 billion by the year of 2026 (Hossain et al. 2020). In one survey conducted by NACE during the year of 2016, corrosion damages the financial sector by over 2.5 trillion dollars every year, 10 percent of the world's total metal is destroyed by corrosion, affecting the economy of the country (Fayomi et al. 2019). The International Measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies project was started by NACE International to look into the current position of corrosion management in industry and government, as well as to define methodologies. According to that study global cost of corrosion is determined for some countries as shown in Fig. 1.

Mostly, steel suffers serious corrosion in the presence of aggressive media, so steel material should never be used in acidic media unless it is protected with a protective coating. So to beat this problem, plenty of synthetic compounds have been used but these harm Mother Nature

as well as human beings (El-Hashemy and Sallam 2020). So main focus of recent studies is to discover non-toxic, biodegradable, and efficient inhibitors which are obtained from different plant parts (Sedik et al. 2020). These green corrosion inhibitors are biodegradable, cost-efficient, and easily available and show high inhibition efficiency (Dehghani et al. 2020). Plant parts, such as seeds, roots, bark, fruits, and flower have been used as corrosion inhibitors as these contain many kinds of phytochemicals. Other than phytochemicals many other factors also affect the corrosion inhibition ability of natural products as shown in Fig. 2.

These inhibitors contain many natural compounds such as phenols, amino acids, and proteins, which contain heteroatom like nitrogen, oxygen, and sulfur that play an efficient role in defensive layer formation on the surface of low-carbon steel when employed with an aggressive medium (Saxena et al. 2020; Ahanotu et al. 2020; Chung et al. 2020). Potentiodynamic polarization and EIS were used by Lebrini et al. (Lebrini et al. 2011) to explain the efficient corrosion inhibition action of *Oxandra asbeckii* extract on steel. The alkaloids plant extract is a mixed-type blocker, according to polarization curves. To evaluate the inhibitory efficiency, surface tests were conducted with 1 M hydrogen chloride both with and without application of the extract. Analysis via phytochemical testing revealed this extract contains liri-odenine, azafluorenone, and other terpenoids that are crucial for the appearance of a protective coating upon the metal surface. The performance of a corrosion inhibitor is determined by a variety of factors, including quantity, the role of multiple phytochemicals, and functional group. J. Bhawsar et al. (Bhawsar et al. 2015) established the effectiveness of a *Nicotiana tabacum* extract containing nicotine as a phytochemical and steel inhibitory molecule in 2 M H_2SO_4 with a 94% effectiveness at 1 g/L. Concentration has a direct relationship with inhibition efficiency, but the temperature has an inverse relationship. According to the assessment of the literature described in Table 1, there is successful work to discover green inhibitors for steel.

Furthermore, each day, a large quantity of leaves fall to the ground in our surroundings, and most of them are burnt that pollutes the Mother Nature. So that we can transform this refuse material into a corrosion inhibitor, we will have a useful product at a low cost of production (Oguzie 2006).

The following factors must be considered to choose an appropriate inhibitor: (a) cost and quantity of the inhibitors; (b) long-term toxicological impacts on the ecosystem and living species; and (c) the inhibitor's availability and environmental stability (Farzana et al. 2021). The invention of effective, non-toxic corrosion inhibitors—also known as eco-friendly or green corrosion inhibitors—is currently viewed from a safety perspective as being more important and desirable [35].

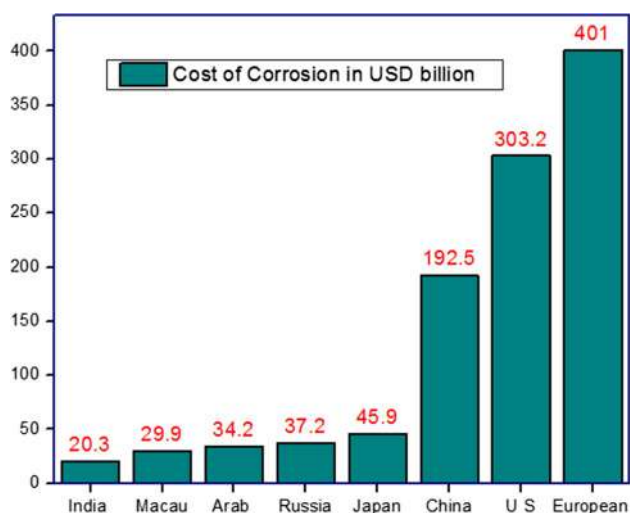


Fig. 1 Global corrosion costs

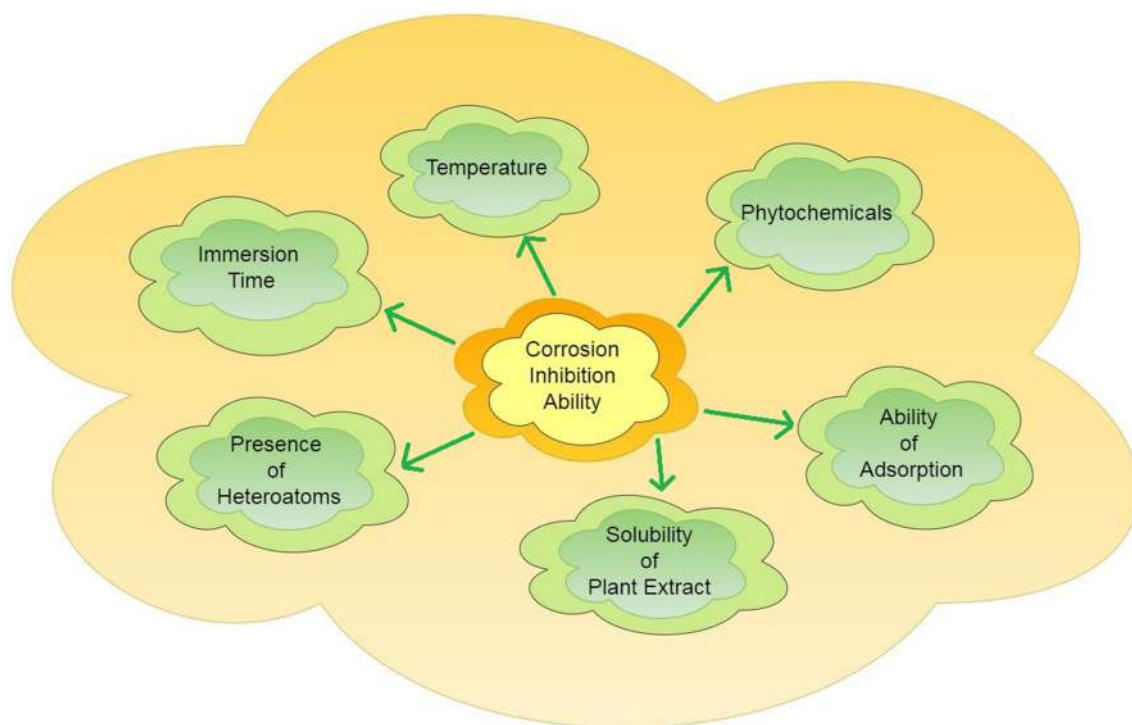


Fig. 2 Factors affecting corrosion inhibition ability

Here we have selected *Euphorbia prostrata* extract. It is also called prostrate spurge and is a species of the family *Euphorbiaceae*. *Euphorbia prostrata* is a tiny, prostrate, green herb with a purple tint with various medicinal properties like antihemorrhoidal, anti-inflammatory, analgesic, hypolipidemic, antidiabetic, antidiarrheal, and antiasthmatic, and also used for many skin ailments (Sharma et al. 2012). Medicinal properties of the *Euphorbia prostrata* aerial part have been studied earlier but corrosion properties are not investigated yet. From the literature, it has been found that *Euphorbia prostrata* extract contains many phytochemicals as displayed in Table 2 (Sharma et al. 2012).

This work aims to find green and eco-friendly corrosion inhibitors and to determine the capacity of *Euphorbia prostrata* extract to inhibit steel corrosion in 1 M sulfuric acid medium.

Experimental work

Preparation of specimens

Table 3 shows the steel composition that was used in this work. The dimensions of the steel sample are 1 cm². Before the corrosion inspection, with a variety of sandpapers, every low-carbon steel coupon was abraded.

Plant collection and inhibitor preparation

Aerial parts of the *Euphorbia prostrata* were collected from Sirhind, Punjab. With the aid of a grinder, the dried plant was then ground into powder. After that, using a Soxhlet device and with around 250 ml of distilled water, 100 g of the dried sample was then refluxed at 80 °C for about 24 h (Pictorially represented in Fig. 3). Then the solution was strained and a hot water bath is used to dry that yield 3.5 g of extract.

Corrosive media preparation

In this current investigation, we have used a 1 M H₂SO₄ solution which is prepared in double-distilled water with Loba Chemie's AR-grade sulfuric acid. To obtain solutions with varying concentration levels, *Euphorbia prostrata* extract was dissolved in 1 M H₂SO₄.

Measurements of weight loss

We kept the corrosive solution volume at 100 ml for weight loss studies. Low-carbon steels having a surface area of 1 cm² were dipped for 24 h in the corrosive medium in this weight loss analysis. Emery sheets of

Table 1 Corrosion inhibition capacity of some plants

S. No	Plant's name	Plant's part	Efficiency/concentration of extract	Medium used	Phytochemicals	References
1	<i>Osmanthus fragrans</i>	Leaves extract	95.3% at 340 ppm	1 M HCl	Ascorbic acid, Gallic acid, β -Caryophyllene	Li et al. (2012a)
2	<i>Artemisia pallens</i>	Aerial part of plant	93% at 400 ppm	1 M HCl	Arbutin, phenolic glycoside, germacranolides, Davanone, pallensin and 4-epipallensin	Garai et al. (2012)
3	<i>Salvia officinalis</i>	Leaves	86.7% at 100 ppm	1 M HCl	Sagecomarin, Rosmarinic acid, Luteolin 7-glucoside, Luteolin 7-glucuronide, Salvianolic acid, Carnosol	Soltani et al. (2012)
4	<i>Lycium shawii</i>	Aerial part	85.4% at 100 ppm	0.5 M HCl	Palmitic acid, Undecanoic acid, Stearic acid, Ergost-5-en-3-ol	Otaibi et al. (2014)
5	<i>Teucrium oliverianum</i>	Aerial part	73.6% at 100 ppm	0.5 M HCl	Undecanoic acid, Stearic acid, Ergost-5-en-3-ol	Otaibi et al. (2014)
6	<i>Dendrocalamus brandisii</i>	Leaves	91.3% at 100 ppm	1 M HCl	Flavonoids, amino acid and amylose	Li and Deng (2012)
7	<i>Neolamarckia cadamba</i>	Bark	82% at 500 ppm	1 M HCl	3 β -isodihydrocadambine	RajaP et al. (2013)
8	<i>Henna</i>	Leaves	74.85% at 1000 ppm	1 M HCl	Lawson, 4-napthaquinone, resin and tannin, coumarins, gallic acid and sterols	Hamdy and Gendy (2013)
9	<i>Euphorbia falcata</i>	Leaves	93.2% at 3000 ppm	1 M HCl	Diterpenes,	Bribri et al. (2013)
10	Watermelon	rind	79% at 2000 ppm	1 M HCl, 0.5 M H ₂ SO ₄	–	Odewunmi et al. (2015)
11	<i>Atropa belladonna</i>	Aerial part	96.6% at 500 ppm	1 M HCl	Atropine, hyoscyamine, scopolamine	Shalabi et al. (2014)
12	<i>Silybum marianum</i>	Leaves	96.4% at 1000 ppm	1 M HCl	Silybin	Soltani et al. (2014)
13	<i>Sida acuta</i>	Leaves	85% at 500 ppm	1 M H ₂ SO ₄	Tannins	Umoren et al. (2011)
14	<i>Dendrocalamus sinicus</i> (Bamboo)	Leaves	78.8% at 200 ppm	0.5 M H ₂ SO ₄	tannins, alkaloids and nitrogen bases, amino acids and proteins	Li et al. (2012b)
15	<i>Nauclea latifolia</i>	Root	94% at 4000 ppm	1 M H ₂ SO ₄	Monoterpene, triterpene, indole alkaloid, saponins	Uwah et al. (2013)
16	<i>Lannea coromandelica</i>	Leaf	93.8% at 2000 ppm	1 M H ₂ SO ₄	Flavonoids, Tannins, Terpenoids, Gums and polysaccharides	Muthukrishnan et al. (2013)
17	<i>Aloe Vera</i>	Leaves	96% at 300 ppm	1 M H ₂ SO ₄	Anthrones, chromones, carbohydrates, enzymes, organic and inorganic compounds, amino acids, proteins, and vitamins	Mehdipour et al. (2014)
18	<i>Citrus aurantium</i>	Leaves	89% at 10,000 ppm	1 M H ₂ SO ₄	Phenolic compound	Hassan et al. (2016)
19	<i>Cryptostegia grandiflora</i>	Leaves	87% at 500 ppm	1 M H ₂ SO ₄	Hydroxyl cinnamic acid, flavonols, phenolic compounds, and hydroxyl benzoic acid	Prabakaran et al. (2016)
20	<i>Aster koraiensis</i>	Leaves	90% at 2000 ppm	1 M H ₂ SO ₄	Benzofurans, polyacetylenes, sesquiterpenoids	Prabakaran et al. (2017)
21	<i>Sida cordifolia</i>	Leaves	98% at 500 ppm	0.5 M H ₂ SO ₄	Vasicinone, Vasicine and Vasicinol	Saxena et al. (2018a)
22	<i>Saraca asoca</i>	Seeds	95% at 100 ppm	0.5 M H ₂ SO ₄	Epicatechin, tannin, saponins and flavonoids	Saxena et al. (2018b)

Table 1 (continued)

S. No	Plant's name	Plant's part	Efficiency/concentration of extract	Medium used	Phytochemicals	References
23	Parsley	Leaves	84% at 500 ppm	0.5 M H ₂ SO ₄	Chromen-2-one, 3,7-dimethyl-octa-1,6-dien-3-ol, 17-(5-ethyl-6-methylheptan-2-yl)-10,13-dimethyl-2,3,4,7,8,9,11,12,14,15,16,17-dodecahydro-1H-cyclopenta[a]phenanthren-3-ol	Abdallah et al. (2018)

various grades were used to polish the mild steel coupons, then it was washed out with acetone and afterward with double-distilled water. After the weighing of steel coupons, all were submerged in 100 mL of 1 M H₂SO₄ with several inhibitor strengths (100, 500, 1000, and 1500 mg/l). The maximum solubility of *Euphorbia prostrata* extract in 1 M sulfuric acid is 1500 mg/l, so the corrosion tests were carried out up to 1500 mg/L because above 1500 mg/L inhibitor concentration no significant changes were observed in inhibition efficiency. The mild steel coupons were removed after being exposed to aggressive media; the mass loss was evaluated after being rinsed with acetone and dried. The weight loss data was estimated using the equations below: (Dehghani et al. 2019a, b)

$$\theta = \frac{W_0 - W_i}{W_0} \quad (1)$$

$$\eta\% = \frac{W_0 - W_i}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

$\eta\%$ = Inhibition Efficiency, θ → Surface coverage, (w_0 and w_i) → Weight loss in the absence and involvement of inhibitors, respectively.

Adsorption isotherm

To study the adsorption behavior, Langmuir isotherm can be applied for the data obtained in weight loss analysis. This isotherm is a plot of C/θ vs. $\log C$. Adsorption is calculated by Eq. 3:

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{\text{ads}}} + C \quad (3)$$

where C specifies the inhibitor concentration, θ is surface coverage and K_{ads} represent the adsorption equilibrium constant.

Electrochemical studies

For electrochemical inspections, a Metrohm Autolab with a three-cell assembly connected to the electrochemical workstation is employed (Anupama et al. 2015; Liao et al. 2017; Lgaz et al. 2017; Rajeswari et al. 2014). A saturated calomel electrode is used as the reference electrode, a platinum electrode as the counter electrode, and a steel electrode as the working electrode is used. The volume of the corrosive medium used in the electrochemical study is 100 ml. Araldite resin is used to conceal the steel coupon, and an active region of 1 cm² is left visible. Before every measurement, the exposed steel surface was mechanically ground using different grades of emery paper. Triplicate experiments were performed for the corrosion tests in order to get high accuracy.

Current–potential curves were obtained when the electrode potential was changed from negative to positive values between – 250 mV and + 250 mV vs. open circuit potential (Palvannan 2014). If the examination rate is just too fast, the potentiodynamic curves will be changed, leading to a misinterpretation of the polarized electrode process due to charge disturbance and a lack of time to attain a steady state. The relationship used to measure efficiency is as follows (Rajeswari et al. 2014)

$$\eta\% = \frac{I_{0\text{corr}} - I_{i\text{corr}}}{I_{0\text{corr}}} \times 100 \quad (4)$$

The density of the corrosion current present without and with *Euphorbia prostrata* expressed by $I_{0\text{corr}}$ and $I_{i\text{corr}}$.

EIS studies were conducted in the same electrochemical workstation and with three electrodes assembly. Before each experiment, the working electrode was dipped in the corrosive media for about 45 min to set the open circuit potential. By using Eq. 5, the efficiency of the inhibition was examined. (Nofrizal et al. 2011)-

$$\eta\% = \frac{R_{\text{ct}} - R_{\text{ct}}^0}{R_{\text{ct}}} \times 100 \quad (5)$$

Table 2 Various phytochemicals of *Euphorbia prostrata*

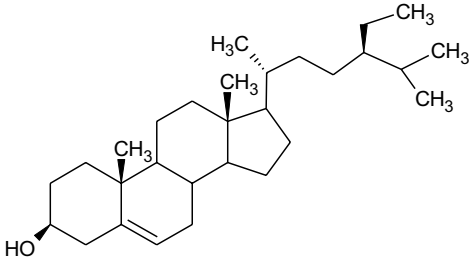
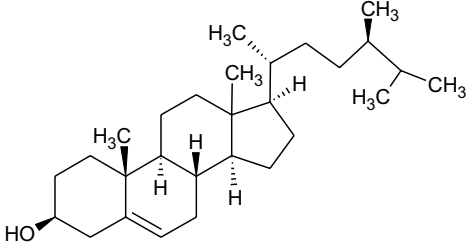
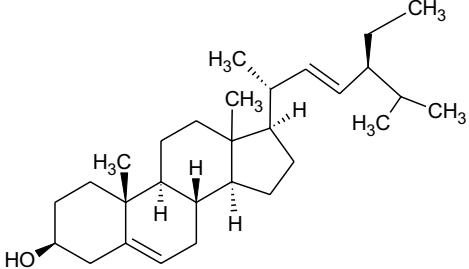
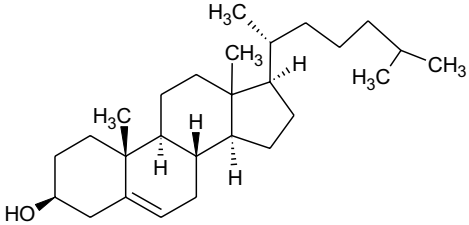
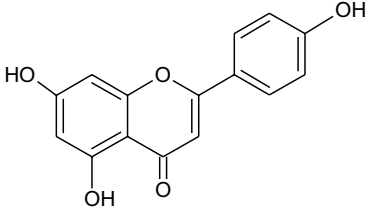
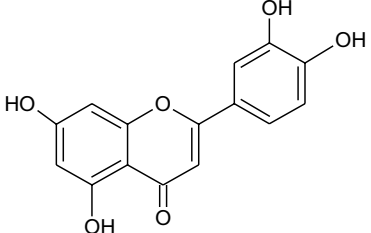
S. No	Name of phytochemical	Structure
1	β -sitosterol	
2	Campesterol	
3	Stigmasterol	
4	Cholesterol	
5	Apigenin	
6	Luteolin	

Table 2 (continued)

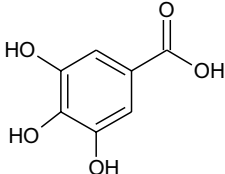
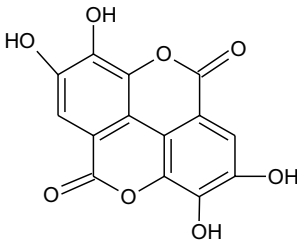
S. No	Name of phytochemical	Structure
7	Gallic acid	
8	Ellagic acid	

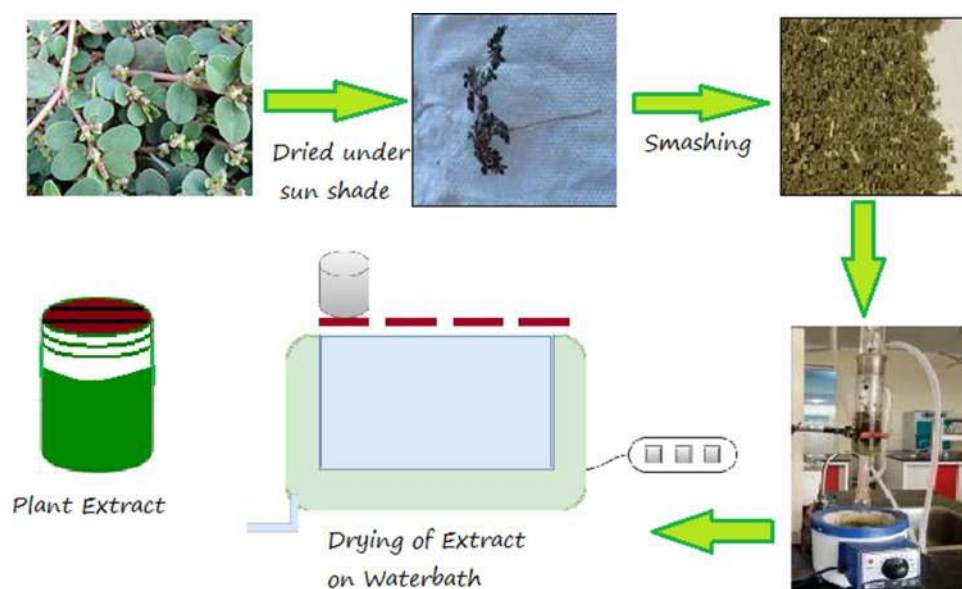
Table 3 Composition of low-carbon steel coupons

S. No	Metals present	% composition
1	Iron	99.2
2	Silicon	0.120
3	Carbon	0.105
4	Manganese	0.378
5	Phosphorus	0.079
6	Sulfur	0.079

where R_{ct}^0 = Charge transfer resistance without seed extract,
 R_{ct} = Charge transfer resistance with seed extract.

Phytochemicals analysis

The ethanol extract of *Euphorbia prostrata* was tested for phytochemicals investigation of alkaloids, flavonoids, saponins, quinones, terpenoids, tannins, coumarin, and sugar. The phytochemical investigation of a crude concentrate of *Euphorbia prostrata* was carried out. 0.25 g of extract was

Fig. 3 Schematic diagram for the preparation of plant extract

added to 100 ml water to make the stock solution, and then, it was used for phytochemical analysis. Various tests were performed for the conformation of phytochemicals.

UV-visible spectroscopic analysis

The UV spectrum of *Euphorbia prostrata* extract in 1 M H_2SO_4 was acquired using a UV-Visible absorption spectrophotometer. The spectrum was obtained under two conditions: a solution comprising inhibitors into which the steel specimens have not been soaked, and a solution where the steel coupons were soaked for 24 h. Each of the spectra was examined to figure out how inhibition works (Nofrizal et al. 2011).

Surface inspection by scanning electron microscope (SEM)

SEM images of the steel coupons were taken using a JEOL-IT500. SEM pictures of mild steel are used to assess the surface morphology of the steel coupons. SEM images of the cleaned steel, corroded steel, and the inhibited steel coupons were taken and compared.

Quantum chemical calculations

Quantum chemical analysis is an important tool in corrosion inhibition research. This is due to the corrosion inhibition performance of organic molecules depending on the molecular structural properties (Scully 2000; Junaedi et al. 2013; Faustin et al. 2014). In this research work, various corrosion methods were employed to describe the correlations between corrosion inhibition and molecular structure (Faustin et al. 2014; Dewangan et al. 2022). The GAMESS-US (Berdimurodov et al. 2022a; Dagdag et al. 2022) with the 6-21G basis sets (Berdimurodov et al. 2022b), density functional theory, (DFT), and B3LYP (three – parameter Lee–Yang–Parr correlation function by Becke) (Berdimurodov et al. 2021a, 2021b) methods were selected to do the quantum chemical analysis of β -sitosterol, Apigenin, and Luteolin corrosion inhibitors. The wxMacMolPlt (Barca et al. 2020) and Avogadro (Schmidt et al. 1993; Krishnan et al. 1980) were used for visualization and analysis.

Result and discussion

Weight loss measurements

Weight loss values for the steel coupons are reported in Table 4. At varying concentration of *Euphorbia prostrata*

Table 4 Inhibition efficiency and surface coverage of *Euphorbia prostrata* in 1 M H_2SO_4

Corrosive medium	Inhibition conc. (mg/L)	Weight loss in gm	Inhibition efficiency (%)	Surface coverage (θ)
1 M H_2SO_4	0	3.419	–	–
	100	1.36	60.22	0.6022
	500	0.790	76.89	0.7689
	1000	0.384	88.76	0.8876
	1500	0.289	91.54	0.9154

extract, inhibitory efficiency, and surface coverage for steel were estimated from the weight loss data.

As clearly visible from the values of Table 4, there is a rise in inhibition efficiency with a rise in concentration as outlined in Fig. 4 and simultaneously surface coverage increases gradually as the concentration of inhibitors increases.

This rise is possible only if heteroatoms and multiple bonds are adsorbed on the exterior part of the mild steel and diminish the corrosion of metal with the aggressive medium.

Adsorption isotherm

Figure 5 shows the association between the (C/θ) and the concentration of *Euphorbia prostrata* extract. The plot obtained is linear, and the plot's intercept allows for the determination of the adsorption equilibrium constant (K_{ads}).

At different temperatures 298 K, 308 K, as well as on 318 K, K_{ads} values are 0.00721, 0.002, and 0.00152 L/mg, respectively. The fact that K_{ads} decreases as temperature rises suggests that adsorption becomes reversed (desorption) as shown in Fig. 6.

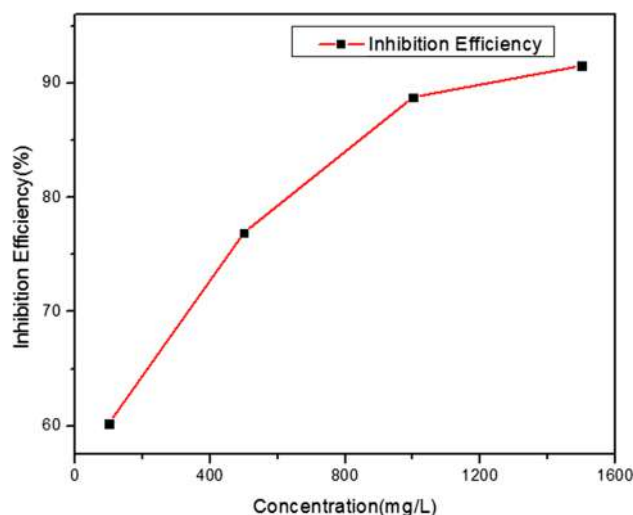


Fig. 4 The inhibition efficiency of *Euphorbia prostrata* extract

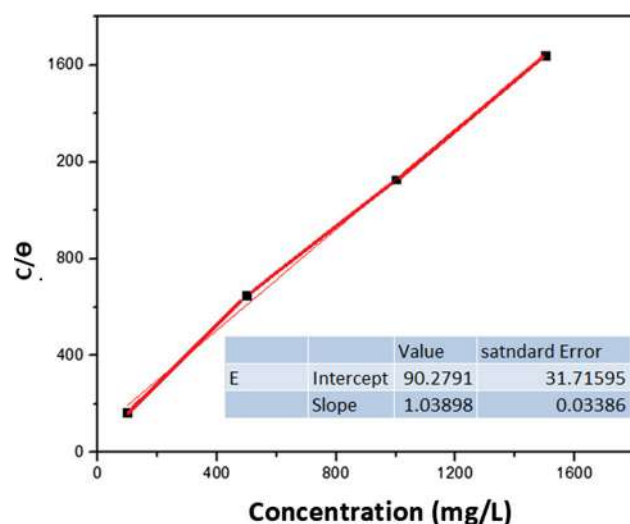


Fig. 5 Adsorption isotherm for *Euphorbia prostrata* extract on low-carbon steel in 1 M H_2SO_4

The K_{ads} values are used to calculate the ΔG_{ads} using the following formula:

$$\Delta G_{\text{ads}}^{\circ} = RT \ln(55.5 \times K_{\text{ads}}) \quad (6)$$

R is the representation of gas constant, T indicates absolute temperature, $\Delta G_{\text{ads}}^{\circ}$ is the standard free energy of adsorption, and C_{water} is the concentration of H_2O in the solution. The calculated values of $\Delta G_{\text{ads}}^{\circ}$ are -2.269 , -5.607 , and $-6.530 \text{ kJ Mol}^{-1}$ at 298 K, 308 K, and 318 K, respectively. Based on the $\Delta G_{\text{ads}}^{\circ}$ values, it may be calculated whether inhibitor molecules adsorb to the surface through the formation of a chemical bond or via physical adsorption. The measurements of $\Delta G_{\text{ads}}^{\circ}$ in this case show that the *Euphorbia prostrata* extract physically adsorbs on the steel surface.

Activation parameters

Figure 7 displays a plot of $\log(\text{corrosion rate})$ vs. $1000/T$ for metal dissolutions without and with varying inhibitor concentrations, respectively, from which E_a is computed.

Fig. 6 Desorption of inhibitor molecules from the steel surface with increase in temperature

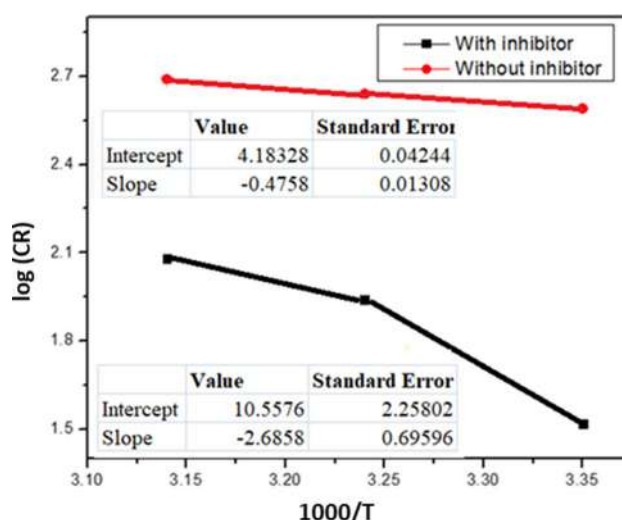
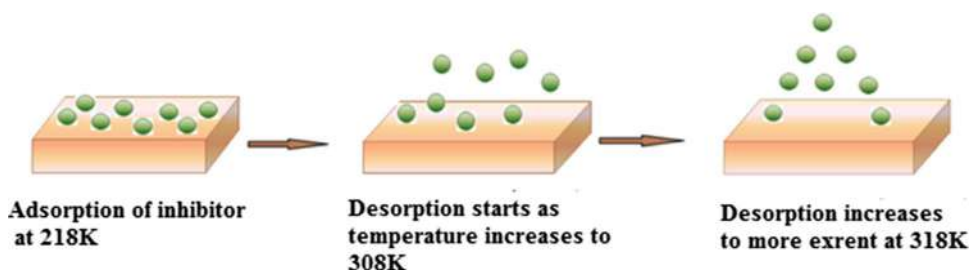


Fig. 7 Plot of $\log(\text{corrosion rate})$ vs. $1000/T$ for metal dissolutions without and with *Euphorbia prostrata* extract

The Arrhenius law predicts that the rate of metal corrosion increases as the temperature rises, with E_a fluctuating according to the equation:

$$E_a = -\text{Slope} \times 2.303 \times 8.314 \quad (7)$$

E_a : Activation energy, E_a was determined to be 9.09 kJ/mol without inhibitor, but when the inhibitor was added, it raised to 51.31 kJ/mol, showing physical adsorption of the inhibitor on the steel surface.

Entropy and enthalpy adsorption parameter

Entropy and enthalpy of adsorption can be calculated with the help of following equation:

$$\log \left\{ \frac{\text{CR}}{T} \right\} = \log \left\{ \frac{R}{N_a h} \right\} + \frac{\Delta S_a}{2.303R} - \frac{\Delta H_a}{2.303RT} \quad (8)$$

CR stands for corrosion rate, T stands for absolute temperature, h stands for Planck constant, and N_a stands for Avogadro's number. By graphing $\log(\text{CR}/T)$ vs. $1000/T$ as shown in Fig. 8, the parameters of ΔH_a and standard entropy of activation have been computed and the findings

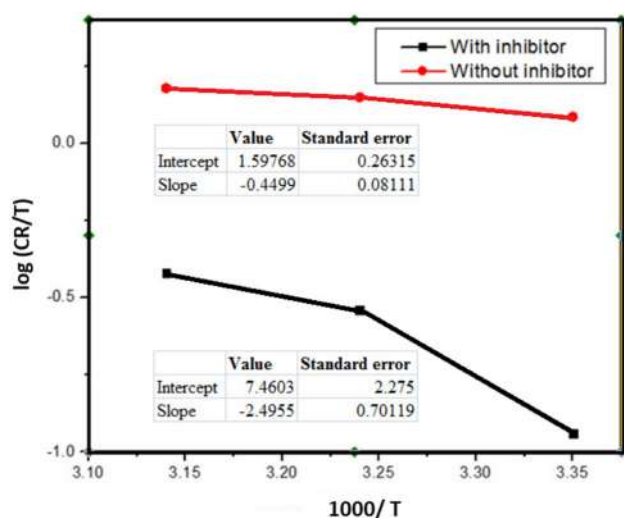


Fig. 8 Plot of $\log (CR/T)$ vs. $1000/T$ for metal dissolutions without and with *Euphorbia prostrata* extract

Table 5 Parameters for steel in 1 M H_2SO_4 in lack of and existence of plant extract

S. No	Inhibitor	Inhibitor conc. (mg/L)	ΔH_a (kJ/mol)	ΔS_a (J/mol/ K)
1	<i>Euphorbia prostrata</i>	0	8.59	20.12
		1200	47.67	132.51

are presented in Table 5. Higher value of ΔH_a in the presence of an inhibitor (47.67 kJ/mol) than in the absence of an inhibitor (8.59 kJ/mol) suggests that the metal is better protected, presumably attributed to the presence of an energy barrier to the corrosion reaction.

In comparison with the case of the blank solution entropy value (20.12 J/mol/ K), the value of ΔS_a (132.51 J/mol/ K) increased with the addition of the inhibitor, as move from reactant to activated compound, the entropy value increases, indicating that disorder is increasing.

Potentiodynamic polarization (PDP) study

Figure 9 depicts the anodic and cathodic polarization activity of steel coupons in corrosive solvent on several extract concentrations, and Table 6 includes their corrosion features and inhibition efficiencies. In PDP analysis, the scan rate was 1 mV/s.

The Tafel curves show that in the presence of the *Euphorbia prostrata* extract, the anodic and cathodic divisions' current densities are dropping. As the concentration of the inhibitor increases, it is claimed that the *Euphorbia prostrata* extract's densities will drop until they reach a maximum

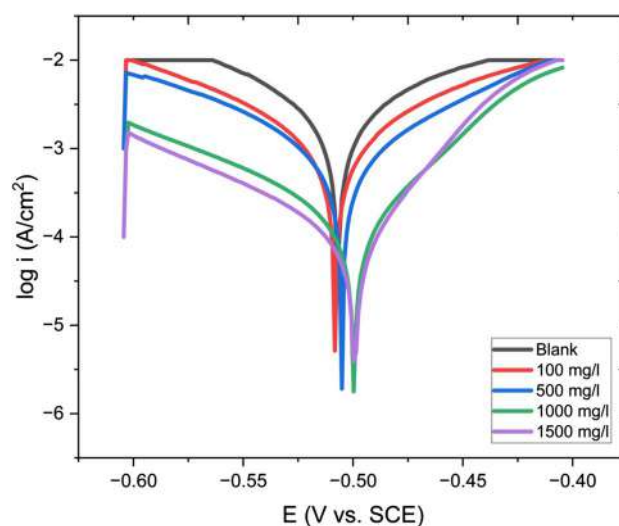


Fig. 9 Tafel polarization curves in 1 M H_2SO_4 without and with various amounts of *Euphorbia prostrata* extract

efficiency value of 1500 mg/L (94.82%). This behavior suggests that the inhibitor may prevent both cathodic hydrogen evolution and anodic breakdown of the metal (Becke 1993; Lee et al. 1988; Bode and Gordon 1998). It is reported previously that if the changes in the values of E_{corr} for the individual inhibitor concentration for the blank solution lies between 85 mV, then the inhibitor is a mixed-type corrosion inhibitor. In the present work, this change in E_{corr} value is only 10 mV so accordingly will act as mixed-type corrosion inhibitor (Hanwell et al. 2012).

Thus, the *Euphorbia prostrata* extract affects both cathodic and anodic corrosion reactions in the solution of 1 M H_2SO_4 . This should imply that the steel corrosion phase is prevented by increasing the content of *Euphorbia prostrata* extract.

Electrochemical impedance (EIS) analysis

Before carrying out the EIS study, the working electrode was dipped in the corrosive medium for about 45 min to settle the OCP. The OCP vs. time plot is shown in Fig. 10a. The Nyquist and Bode diagrams are shown in Fig. 10b and c, and the data are presented in Table 7. The circuit that was used in this case is depicted in Fig. 10d.

The constant phase element (CPE) and the charge transfer resistance (R_{ct}) are connected in parallel. Table 7 shows that with the rise in the concentration of the *Euphorbia prostrata*, the R_{ct} value expands and the CPE value decreases. After all, it has been seen that R_{ct} values rise as inhibitor concentrations rise, indicating that the *Euphorbia prostrata* extract is readily adsorbed on the surface of steel and provides a maximum efficiency value of 96.23 percent at 1500 mg/l.

Table 6 1 M H₂SO₄ mild steel polarization parameters without and with various concentrations of *Euphorbia prostrata* extract.

Inhibitor concentration (mg/L)	E_{corr} (V vs. SCE)	I_{corr} (A cm ⁻²)	β_a (V/dec)	β_c (V/dec)	CR	Efficiency (η %)
0	-0.506	2.9×10^{-3}	0.09527	0.06263	34.03	0
100	-0.516	9.7×10^{-4}	0.1204	0.1074	18.19	66.55
500	-0.506	2.4×10^{-4}	0.1097	0.0769	10.44	91.37
1000	-0.491	1.8×10^{-4}	0.0738	0.0673	06.28	93.79
1500	-0.497	1.5×10^{-4}	0.0900	0.0759	08.93	94.82

Stronger corrosion resistance for steel in solution with 1500 mg/l of inhibitor is indicated by the phase angle at maximum for 1500 mg/l being higher than for the blank condition.

Phytochemical analysis

Table 8 reports the results of phytochemicals in the extract.

For alkaloids

Wagner's test: Wagner's reagent was used to treat the extract. The existence of alkaloids is suggested by the formation of brown/reddish ppt (Avogadro 2009).

Mayer's Test: For this test, filtrates were subjected to Mayer's reagent. Yellow color is turned out (Avogadro, 2009).

Test for flavonoids

A small quantity of the plant extract was mixed with several drops of concentrated HCl. The existence of flavonoids was determined by the rapid production of red color. (Nooshabadi et al. 2015).

Test for saponins

With vigorous shaking, 5 ml of water is added with 5 ml of filtrate (aqueous extract). The presence of the saponins is suggested by the formation of stable froth (Ferreira et al. 2004).

Test for quinones: The presence of quinones was demonstrated by mixing 1 mL of the extract with concentrated H₂SO₄; the color change proves the existence of quinones (Ji et al. 2016).

Test for coumarin

A very few drops of alcoholic NaOH solution were added to 2 ml of the plant extract. The occurrence of coumarin

is confirmed by the formation of the yellow color (Ji et al. 2016).

Test for sugar

Fehling solution test: Fehling's solutions A and B were put together in 1 mL proportion and boiled for one minute. To that mixture, 1 ml of an extract was added up and heated on the water bath for about 5–10 min. The presence of carbohydrates was indicated by the appearance of yellow and then brick red precipitates.

UV visible spectroscopy

Euphorbia prostrata's UV spectrum is investigated before and after the corrosion process. From the spectra, it is clear that the absorbance of the aggressive medium containing inhibitor in which mild steel is not yet dipped is higher than the medium in which steel specimens dipped for 24 h as shown in Fig. 11. So it shows that when steel specimen is immersed in a corrosive medium that contains inhibitor, phytochemicals of that inhibitor adsorbed on the top of the metal to construct a defensive coat for acidic medium and there is the formation of complex in between exterior part of steel and inhibitor (Saxena et al. 2018c).

Scanning electron microscope (SEM)

In the SEM study, a low-energy electron beam was used to analyze the surface morphology. The natural products are destroyed or get burnt due to the high energy of the electron beam so in this study acceleration of 10 kV has been used. Figure 12 shows the changes in the morphology of cleaned mild steel surfaces after 24 h of immersion in 1 M H₂SO₄ with and without 1500 mg/L of the extract. Figure 12a depicts that the surface of the steel coupon before immersing it to the corrosive medium was absolutely fine. The quick and strong corrosion reactions occur during the immersion of mild steel in blank H₂SO₄ badly damaged the metal in several areas, as evidenced by the

Fig. 10 OCP vs. time plot (a), Nyquist plot (b) Bode plots (c), and equivalent circuit of constant phase element (d) for low-carbon steel in 1 M H₂SO₄ without and with various concentrations of *Euphorbia prostrata* extract at 298 K

highly rough surface as depicted in Fig. 12b. The presence of an inhibitor, on the other hand, slowed the corrosion of mild steel in 1 M H₂SO₄ and less surface damage as shown in Fig. 12c implies the establishment of a defensive inhibitor coating on the surface of mild steel.

Quantum chemical studies

Optimization analysis

The optimized structures of β -sitosterol (Fig. 13a), Apigenin (Fig. 14a), and Luteolin (Fig. 15a) corrosion inhibitors were found. The obtained results confirmed that the selected corrosion inhibitors are high polar molecules. The high corrosion efficiency depends on the polarization index. If this index is high, then the corrosion inhibitor is more water soluble and an excellent corrosion inhibitor. In this research work, it is found that the selected corrosion inhibitors are higher polarized structures. As can be seen from Fig. 13a, the active hydroxyl functional group and π -system are mainly responsible for the high polarization index of β -sitosterol. Figure 14a shows that the two benzoyl rings, π -electrons of hetero-rings, oxygen heteroatom, and hydroxyl functional groups made Apigenin more polar. The two hydroxyl functional groups are cited left side, while one hydroxyl functional group is located right side; these nonequivalent positions are mainly responsible for the high polarization index. The charges are distributed around the polar centers. The high polarization nature of Luteolin (Fig. 15a) was also confirmed.

Charge distribution analysis

The values in charge of atoms were predicted in the quantum chemical analysis. The polarizing index, positions of π -systems, heteroatoms, functional groups, and alkaline chains influence the charge distribution of atoms. (Pandey and Tripathi 2014; Ismail et al. 2016; Alqethami and Aldhebiani 2021). It is indicated that the oxygen atoms of hydroxyl functional groups are more negatively charged. These atoms are rich with electrons; the corrosion inhibitors chemically interacted with the metal surface by these more negatively charged atoms. The negatively charged atoms are also mainly responsible for the chemical adsorption of corrosion inhibitors on the metal surface.

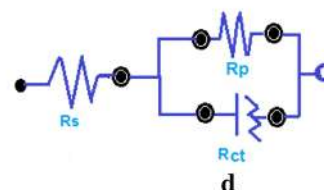
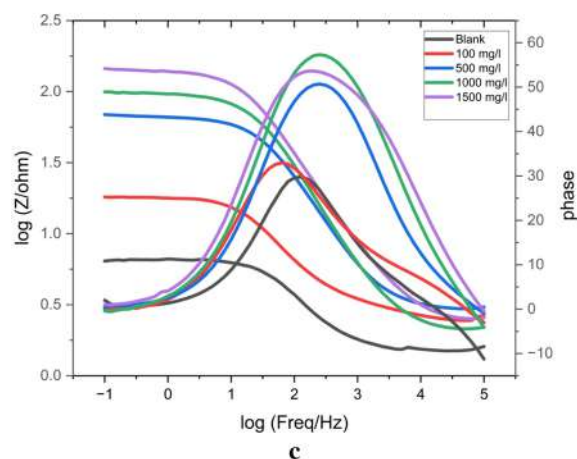
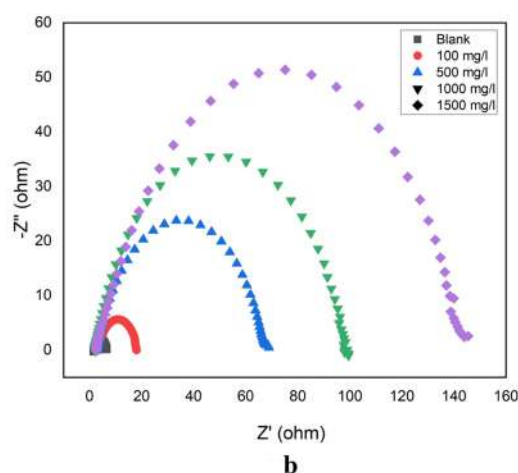
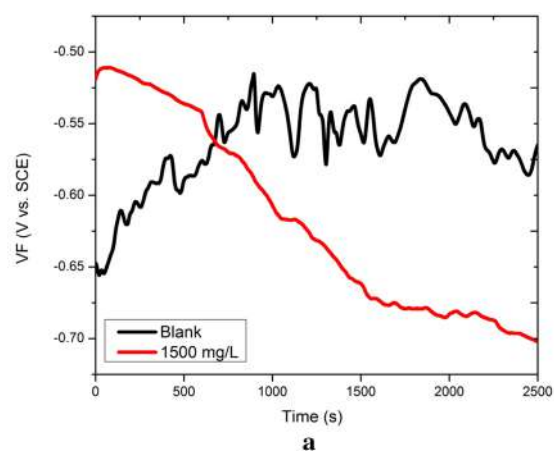


Table 7 Impedance parameters for low alloy steel in 1 M H₂SO₄ without and with different concentrations of *Euphorbia prostrata* extract

Acid solution	Conc. of inhibitor (mg/L)	R_s (Ω)	R_{ct} (Ω)	CPE (μFcm^{-2})	n	Efficiency (%)
1 M H ₂ SO ₄	0	1.482	5.22	5.19×10^{-4}	0.83	–
	100	2.433	15.62	3.82×10^{-4}	0.79	66.58
	500	2.947	64.12	6.72×10^{-5}	0.81	91.85
	1000	2.185	96.33	5.94×10^{-5}	0.81	94.58
	1500	2.423	138.57	5.30×10^{-5}	0.80	96.23

Table 8 Result of phytochemical analysis of *Euphorbia prostrata* extract

S. No	Phytochemicals	Test	Result
1	Alkaloids	Wagner's test	++
		Mayer's Test	++
2	Flavonoids	Conc. hydrochloric acid test	++
3	Saponins	Froth test	++
4	Quinones	Concentrated sulfuric acid test	++
5	Coumarins	Alcoholic NaOH test	++
6	Sugar	Fehling solution test	++

Molecular electrostatic potential (MEP) analysis

This theoretical analysis indicated the most electrophilic and nucleophilic regions (Saxena et al. 2018b; Kumar et al. 2019; Berdimurodov et al. 2021c). The MEP regions of β -sitosterol (Fig. 13b), Apigenin (Fig. 14b), and Luteolin (Fig. 15b) corrosion inhibitors were found. In these maps, the red and blue regions are designated the electrophilic and nucleophilic centers. It is confirmed that the obtained MEP maps confirmed that the selected three inhibitors are more

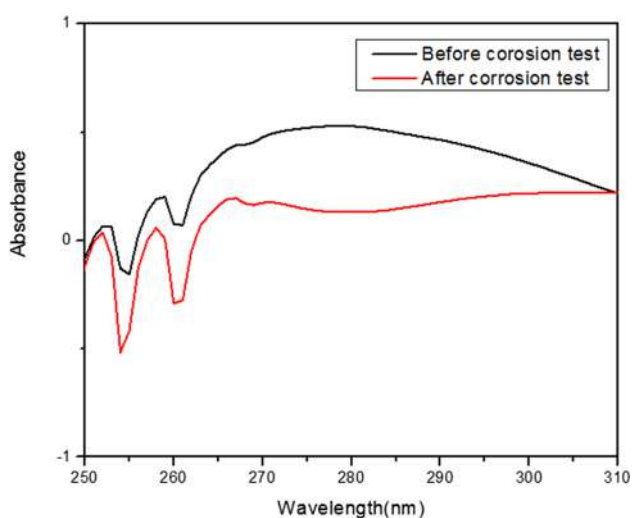
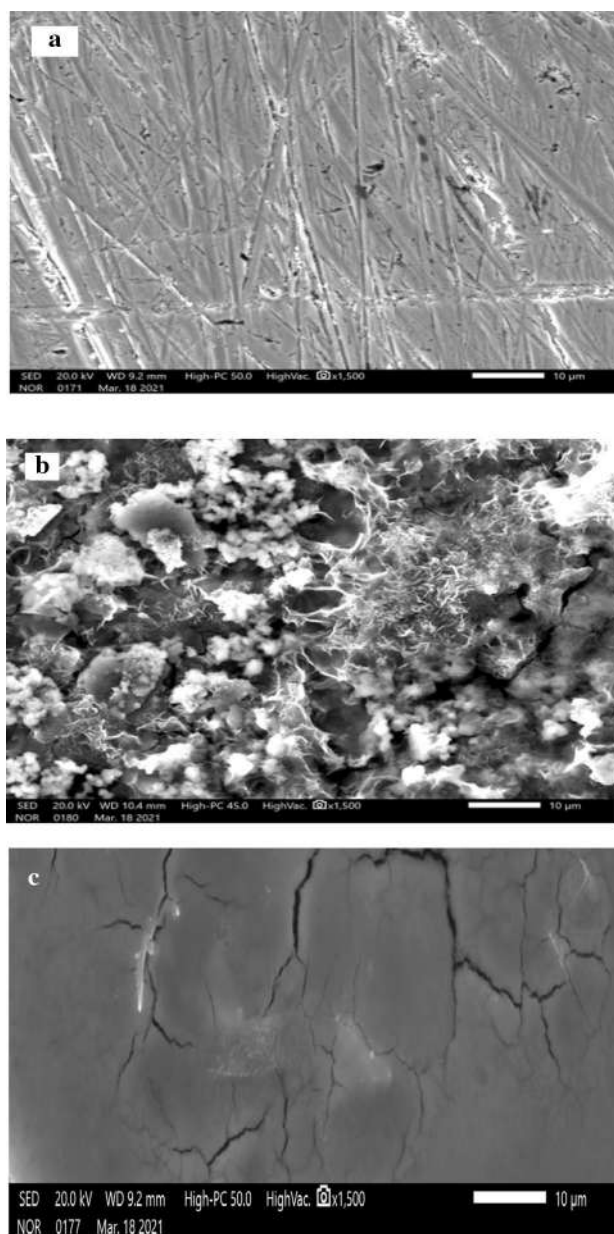
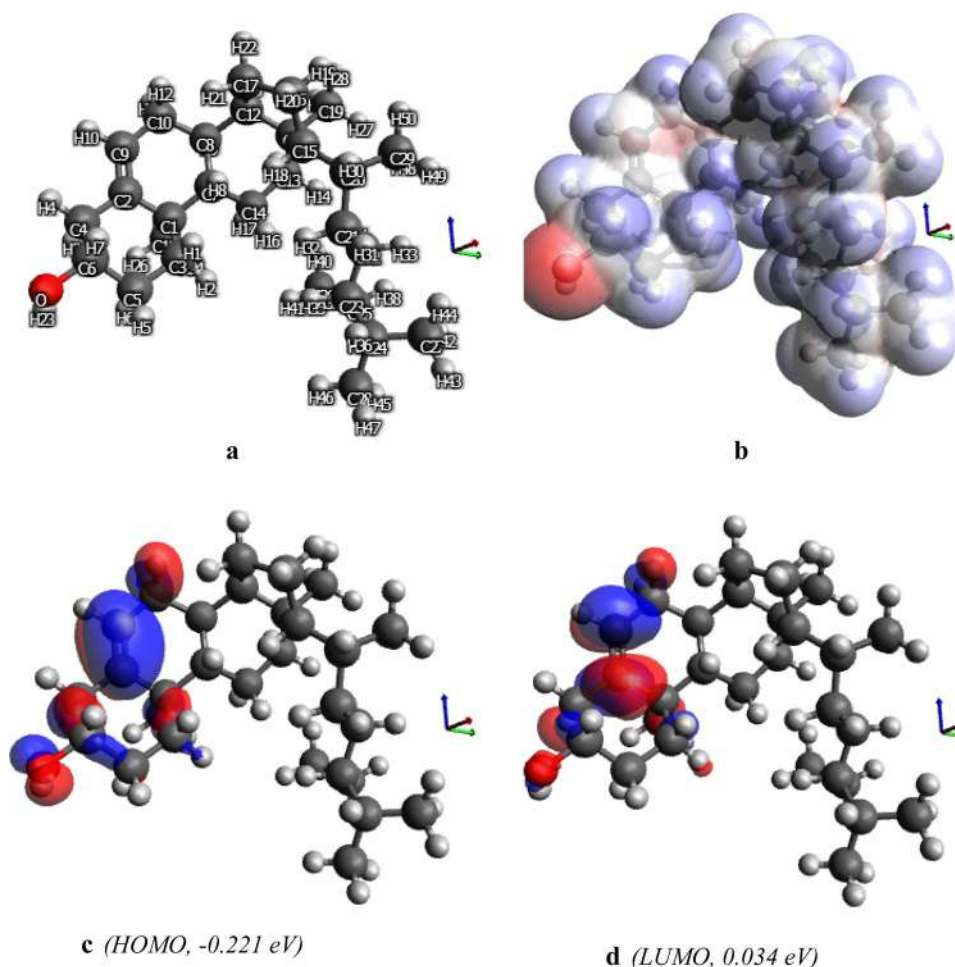
**Fig. 11** UV spectrum of *Euphorbia prostrata* extract before and after the corrosion inhibition**Fig. 12** Surface images of **a** cleaned steel **b** corroded steel in 1 M H₂SO₄, and **c** inhibited steel

Fig. 13 **a** Optimized structure, **b** MEP, **c** HOMO, and **d** LUMO of β -sitosterol corrosion inhibitor.



nucleophilic molecules. Among these inhibitors, Luteolin (Fig. 15b) is more nucleophilic than β -sitosterol (Fig. 13b), and Apigenin (Fig. 14b). This is due to the Luteolin contained more hydroxyl functional groups and aromatic rings.

Frontier molecular orbital (FMO) analysis

FMO is the next important method in corrosion analysis. The electron distributions in HOMO and LUMO regions were well described by the FMO (Shahmoradi et al. 2021; Haldhar et al. 2021; Dagdag et al. 2021). The FMO results of β -sitosterol (Fig. 13c for HOMO and Fig. 13d for LUMO), Apigenin (Fig. 14c for HOMO and Fig. 14d for LUMO), and Luteolin (Fig. 15c for HOMO and Fig. 15d for LUMO) corrosion inhibitors were found. The C9 = C2 bonds (Fig. 13c) and hetero-ring (Fig. 13d) are more positioned with the HOMO and LUMO regions for β -sitosterol corrosion inhibitor. It is clear from the obtained results that the C6 = C4-C2, C5 = C3-C1, and C7 = C8 directions are mainly responsible for the HOMO regions while the C9-C8 and C7-C10 directions support the LUMO regions of Apigenin.

In comparison, the aromatic rings are mainly positioned with the HOMO regions while the single bonds are comfortable for LUMO regions for Luteolin corrosion inhibitor. The HOMO regions are rich with electrons; the electrons are shared with vacant d-orbitals of iron, as a result, the covalent bonds between the metal surface and corrosion inhibitor were formed. During this electron transfer, the inhibitors are adsorbed on the metal surface by the chemical adsorption mechanism. The LUMO regions contained more antibonding orbitals. Some electrons in filled orbitals of iron are re-shared from the metal surface to the antibonding orbitals of LUMO. As a result, coordination bonds are formed.

Molecular reactivity analysis

The molecular reactive parameters of β -sitosterol, Apigenin, and Luteolin were estimated using the energy difference ($\Delta E_{\text{Inh}}^{\text{DFT}}$) between the HOMO ($E_{\text{HOMO(Inh)}}^{\text{DFT}}$) and LUMO ($E_{\text{LUMO(Inh)}}^{\text{DFT}}$) according to Eqs. 10–19 (Berdimurodov et al. 2022c, 2021d; Radwan et al. 2021). The obtained results are

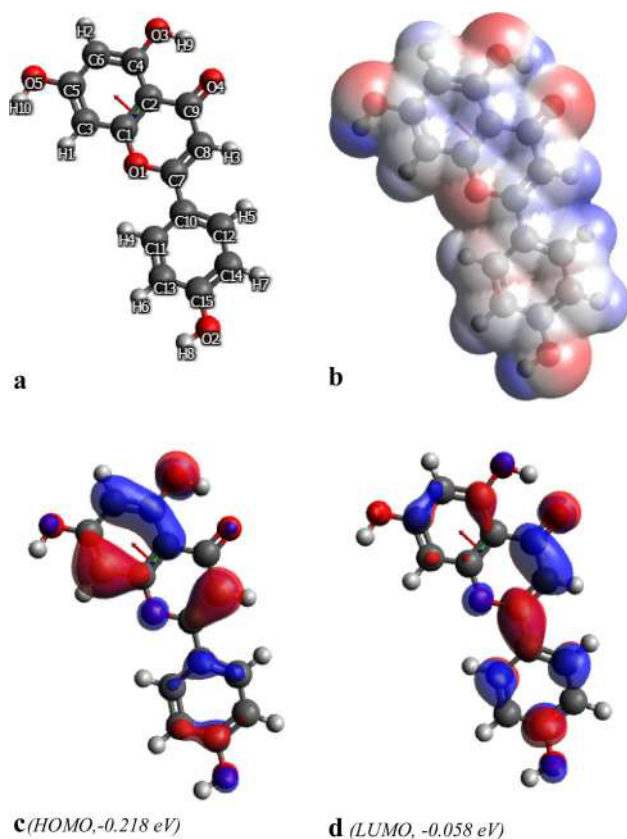


Fig. 14 **a** Optimized structure, **b** MEP, **c** HOMO, and **d** LUMO of Apigenin corrosion inhibitor.

indicated in Table 9. As indicated, the following conclusions are drawn:

1. It is indicated the values for selected β -sitosterol, Apigenin, and Luteolin are very low, confirming that these inhibitors are more reactive. It means that they effectively reacted with the metal ions in corrosive solutions and then formed complex adsorbed on the metal surface. Luteolin is more efficient among these inhibitors.
2. As can be seen from the obtained results, Luteolin is more chemical soft (σ_{Inh}^{DFT}) has lower chemical hardness (η_{Inh}^{DFT}) than other selected inhibitors. This is due to the Luteolin having several benzoyl rings, π -electrons systems, and hydroxyl functional groups are mainly attributed to promoting the electron transfer.
3. The values in electronic chemical potential (μ_{Inh}^{DFT}), molecular ionization potential (I_{Inh}^{DFT}), electron affinity (A_{Inh}^{DFT}), global electrophilicity index (ω_{Inh}^{DFT}), electronic negativity (χ_{Inh}^{DFT}), and nucleophilicity (ϵ_{Inh}^{DFT}) suggested that the β -sitosterol, Apigenin, and Luteolin are more efficient corrosion inhibitors.
4. The values in a fraction of electron transfer (ΔN_{Inh}^{DFT}) (related to Koopmans's theory) and electronic fraction

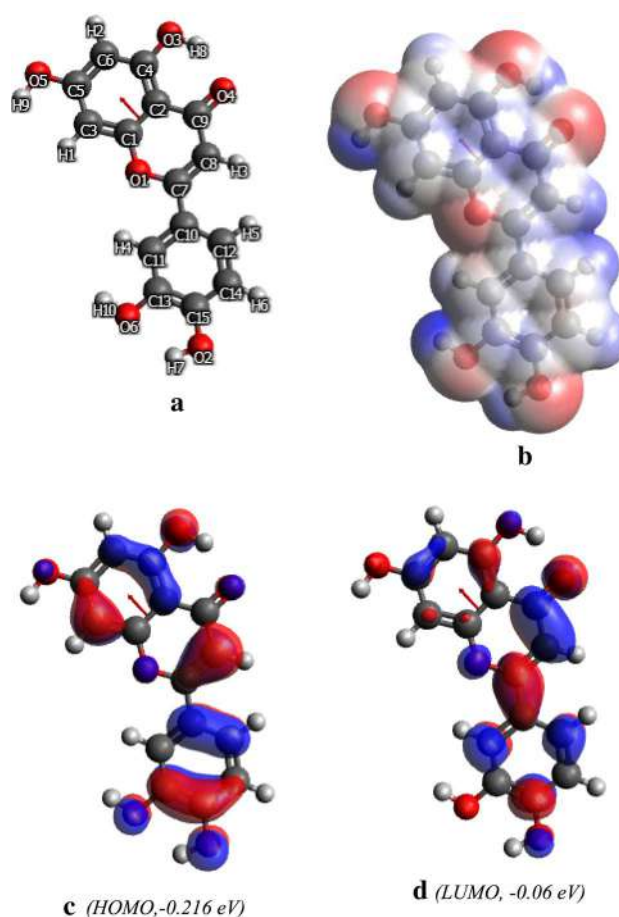
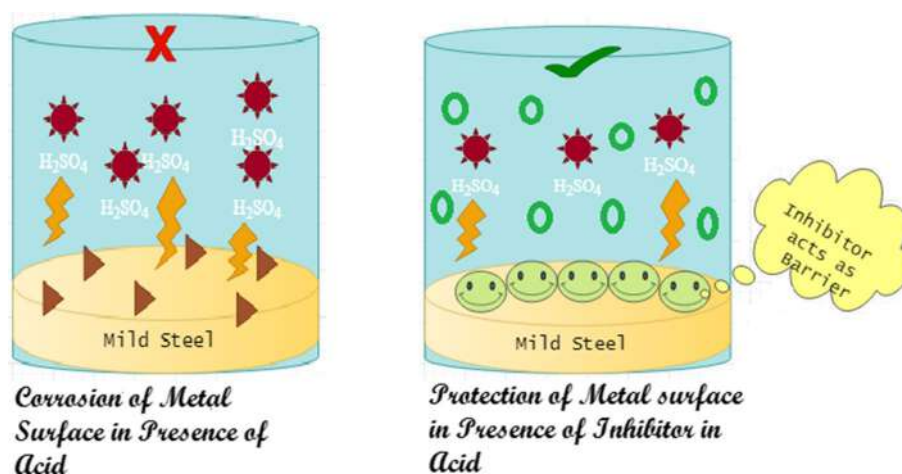


Fig. 15 **a** Optimized structure, **b** MEP, **c** HOMO, and **d** LUMO of Luteolin corrosion inhibitor.

Table 9 Theoretical parameters for corrosion inhibitors (DFT, B3LYP, and 6-31G basis sets)

Parameters	Values (eV), β -sitosterol	Values (eV), Apigenin	Values (eV), Luteolin
$E_{HOMO(Inh)}^{DFT}$	- 0.221	- 0.218	- 0.216
$E_{LUMO(Inh)}^{DFT}$	0.034	- 0.058	- 0.06
ΔE_{Inh}^{DFT}	0.255	0.16	0.156
σ_{Inh}^{DFT}	7.84	12.5	12.82
ω_{Inh}^{DFT}	0.04	0.1225	0.122
η_{Inh}^{DFT}	0.1275	0.08	0.078
χ_{Inh}^{DFT}	0.1	0.14	0.138
I_{Inh}^{DFT}	0.221	0.218	0.216
A_{Inh}^{DFT}	-0.034	0.058	0.06
μ_{Inh}^{DFT}	- 0.1	- 0.14	- 0.138
ϵ_{Inh}^{DFT}	25	8.16	8.2
ΔN_{Inh}^{DFT}	27.05	42.87	44
ψ_{Inh}^{DFT}	13.53	21.44	22

Fig. 16 *Euphorbia prostrata*'s phytochemical adsorption on mild steel to form protective coating



(ψ_{Inh}^{DFT}) confirmed that the adsorption of β -sitosterol, Apigenin, and Luteolin on the metal surface was done in chemical ways, in which the electron transformation is the main factor.

$$\Delta E_{Inh}^{DFT} = E_{LUMO(Inh)}^{DFT} - E_{HOMO(Inh)}^{DFT} \quad (9)$$

$$I_{Inh}^{DFT} = -E_{HOMO(Inh)}^{DFT} \quad (10)$$

$$A_{Inh}^{DFT} = -E_{LUMO(Inh)}^{DFT} \quad (11)$$

$$\eta_{Inh}^{DFT} = \frac{1}{2} (I_{Inh}^{DFT} - A_{Inh}^{DFT}) \quad (12)$$

$$\epsilon_{Inh}^{DFT} = \frac{1}{\omega_{Inh}^{DFT}} \quad (13)$$

$$-\mu_{Inh}^{DFT} = \chi_{Inh}^{DFT} = \frac{1}{2} (I_{Inh}^{DFT} + A_{Inh}^{DFT}) \quad (14)$$

$$\omega_{Inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Inh}^{DFT})^2}{2\eta_{Inh}^{DFT}} \quad (15)$$

$$\sigma_{Inh}^{DFT} = \frac{1}{\eta} \quad (16)$$

$$\Delta N_{Inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Fe} - \chi_{Inh}^{DFT})}{2(\eta_{Fe} + \eta_{Inh}^{DFT})} \quad (17)$$

$$\psi_{Inh}^{DFT} = \frac{(\chi_{Fe} - \chi_{Inh}^{DFT})}{4(\eta_{Fe} + \eta_{Inh}^{DFT})} \quad (18)$$

where η_{Fe} is 0 eV mol⁻¹ and χ_{Fe} is 7 eV mol⁻¹.

Corrosion inhibition mechanism by *Euphorbia prostrata* on mild steel

The heteroatom's lone pair transfers electrons from the inhibitor toward the metal, producing a coordinate bond. *Euphorbia prostrata* phytochemicals contain different functional groups like carbonyl group, hydroxyl group as well as carboxylic acid, and also double bonds that can efficiently reduce mild steel corrosion in 1 M sulfuric acid. The heteroatom's lone pair and double bonds present in phytochemicals form a coordinate bond with the metal. The inhibitory action of plant extract is caused to natural compound adsorption on the metal surface, resulting in a blockage of the active site as shown in Fig. 16. Because a protective film has formed on the surface, mild steel is no longer available for corrosion.

Comparison study with other natural inhibitors

The inhibition efficiency of *Euphorbia prostrata* extract compared with other natural corrosion inhibitors from the literature, like Hassan et.al. (2016) demonstrated the efficiency of extract of leaves of *Citrus aurantium* showing 89% at 10,000 ppm in 1 M H₂SO₄ due to the presence phenolic compounds. Similarly, Prabakara et.al. (2016) worked upon *Cryptostegia grand flora*'s leaves with an inhibition efficiency 87% at 500 ppm due to hydroxyl cinnamic acid as active phytochemical.

Conclusion

1. Corrosion inhibition efficiency appears to improve in the presence of a *Euphorbia prostrata* extract.
2. The inhibitor's inhibition efficiency results show 96.23% inhibition efficiency at a concentration of 1500 mg/L.
3. The effectiveness of inhibition is influenced by the phytochemicals present in the extract.
4. The potentiodynamic polarization and EIS study showed that corrosion inhibition efficiency increases on increasing the inhibitor concentration.
5. DFT studies prove that the inhibitor acts as an excellent corrosion inhibitor.

Declaration

Conflict of interest There is no conflict of interest.

References

- Avogadro A (2009) An open-source molecular builder and visualization tool. Version 1.1.0. <http://avogadro.cc/>
- Abdallah M, Altass HM, Jahdaly BAA, Salem MM (2018) Some natural aqueous extracts of plants as green inhibitor for carbon steel corrosion in 0.5 M sulfuric acid. *Green Chem Lett Rev* 11:189–196. <https://doi.org/10.1080/17518253.2018.1458161>
- Ahanotu CC, Onyeachu IB, Solomon MM, Chikwe IS, Chikwe OB, Eziukwu CA (2020) *Pterocarpus santalinoides* leaves extract as a sustainable and potent inhibitor for low carbon steel in a simulated pickling medium. *Sust Chem Pharm*. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100196>
- Aljourani J, Raeissi K, Golozar M (2009) Benzimidazole and its derivatives as corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl solution. *Corros Sci* 51:1836–1843. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.05.011>
- Alqethami A, Aldhebani A (2021) Medicinal plants used in Jeddah, Saudi Arabia: Phytochemical screening. *Saudi J Biol Sci* 257:805–812. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112899>
- Anupama K, Ramya K, Shainy K, Joseph A (2015) Adsorption and electrochemical studies of *Pimenta dioica* leaf extracts as corrosion inhibitor for low alloy steel in hydrochloric acid. *Mater Chem Phys* 167:28–41. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2015.09.013>
- Barca GMJ, Bertoni C, Carrington L, Datta D, De SN, Deustua JE, Fedorov DG, Gour JR, Gunina AO, Guidez E (2020) Recent developments in the general atomic and molecular electronic structure system. *J Chem Phys* 152:154102. <https://doi.org/10.1063/5.0005188>
- Becke A (1993) Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange. *J Chem Phys* 98: 5648 <https://doi.org/10.1063/1.464913>
- Bentiss AF, Jama C, Mernari B, Attari H, Kadi L, Lebrini M, Traisnel M, Lagrenée M (2009) Corrosion control of mild steel using 3,5-bis(4-methoxyphenyl)-4-amino-1,2,4-triazole in normal hydrochloric medium. *Corros Sci* 51:1628–1635. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.04.009>
- Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, Guo L (2021) Inhibition properties of 4,5-dihydroxy-4,5-di-p-tolylimidazolidine-2-thione for use on carbon steel in an aggressive alkaline medium with chloride ions: Thermodynamic, electrochemical, surface and theoretical analyses. *J Mol Liq* 327:114813. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114813>
- Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, Guo L, Abdullah AM, Elik M (2021) A gossypol derivative as an efficient corrosion inhibitor for St2 steel in 1 M HCl + 1 M KCl: An experimental and theoretical investigation. *J. Mol. Liq.* 328:115475. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115475>
- Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, Guo L (2021) Experimental and theoretical assessment of new and eco-friendly thioglycoluril derivative as an effective corrosion inhibitor of St2 steel in the aggressive hydrochloric acid with sulfate ions. *J Mol Liq* 335:116168. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116168>
- Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, Guo L, Kaya S, Katin KP, Verma DK, Rbaa M, Dagdag O, Haldhar R (2021) Novel bromide-cucurbit[7]uril supramolecular ionic liquid as a green corrosion inhibitor for the oil and gas industry. *J Electroanal Chem* 901:115794. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2021.115794>
- Berdimurodov E, Verma DK, Kholikov A, Akbarov K, Guo L (2021) The recent development of carbon dots as powerful green corrosion inhibitors: a prospective review. *J Mol Liq*. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.118124>
- Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, Guo L, Kaya S, Verma DK, Rbaa M, Dagdag O (2022a) Novel glycoluril pharmaceutically active compound as a green corrosion inhibitor for the oil and gas industry. *J Electroanal Chem* 907:116055. <https://doi.org/10.1016/J.JELECHEM.2022.116055>
- Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, Guo L, Kaya S, Katin KP, Verma DK, Rbaa M, Dagdag O, Haldhar R (2022b) Novel gossypol-indole modification as a green corrosion inhibitor for low-carbon steel in aggressive alkaline-saline solution *Colloids Surfaces. Physicochem Eng Asp* 637:128207. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2021.128207>
- Berdimurodov E, Kholikov A, Akbarov K, Guo L, Kaya S, Katin KP, Verma DK, Rbaa M, Dagdag O (2022) Novel cucurbit[6]uril-based [3] rotaxane supramolecular ionic liquid as a green and excellent corrosion inhibitor for the chemical industry. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp* 633:127837. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127837>
- Berdimurodov E, Guo L, Kholikov A, Akbarov K, Zhu M (2021d) MOFs-based corrosion inhibitors. In: *Supramolecular chemistry in corrosion and biofouling protection*, pp 287–305. CRC Press
- Bhawsar J, Pk A, Jain P (2015) Experimental and computational studies of *Nicotiana tabacum* leaves extract as green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium. *Alexandria Eng J* 54:769–774. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.03.022>
- Bode BM, Gordon MS (1998) MacMolPlt: a graphical user interface for GAMESS. *J Mol Graph Model* 16:133–138. [https://doi.org/10.1016/S1093-3263\(99\)00002-9](https://doi.org/10.1016/S1093-3263(99)00002-9)
- Bouyanzer A, Hammouti B (2004) Naturally occurring ginger as corrosion inhibitor for steel in molar hydrochloric acid at 353 K. *Bull Electrochem* 20:63–65
- Bribri A, Tabyaoui M, Tabyaoui B, Attari H, Bentiss F (2013) The use of *Euphorbia falcata* extract as eco-friendly corrosion inhibitor of carbon steel in hydrochloric acid solution. *Mater Chem Phys* 141:240–247. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2013.05.006>
- Chung IM, Malathy R, Priyadarshini R, Hemapriya V, Kim S, Prabakaran M (2020) Inhibition of mild steel corrosion using *Magnolia kobus* extract in sulphuric acid medium. *Mater Today Commun*. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101687>
- Dagdag O, Berisha A, Mehmeti V, Haldhar R, Berdimurodov E, Hamed O, Jodeh S, Lgaz H, Sherif E-SM, Ebnoso EE (2021) Epoxy coating as effective anti-corrosive polymeric material for aluminum alloys: Formulation, electrochemical and computational

- approaches. *J Mol Liq*. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117886>
- Dagdag O, Haldhar R, Kim S-C, Guo L, El GM, Berdimurodov E, Hamed O, Jodeh S, Akpan ED, Ebenso EE (2022) Recent progress in epoxy resins as corrosion inhibitors: design and performance. *J Adhes Sci Technol*. <https://doi.org/10.1080/01694243.2022.2055347>
- Dehghani A, Bahlakeha G, Ramezanzadeh B, Ramezanzadeh M (2019a) Potential of *Borage* flower aqueous extract as an environmentally sustainable corrosion inhibitor for acid corrosion of mild steel: electrochemical and theoretical studies. *J Mol Liq* 277:895–911. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.01.008>
- Dehghani A, Bahlakeha G, Ramezanzadeh B (2019b) A detailed electrochemical/theoretical exploration of the aqueous *Chinese gooseberry* fruit shell extract as a green and cheap corrosion inhibitor for mild steel in acidic solution. *J Mol Liq* 282:366–384. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.03.011>
- Dehghani A, Bahlakeh G, Ramezanzadeh B, Ramezanzadeh M (2020) Integrated modeling and electrochemical study of *Myrobalan* extract for mild steel corrosion retardation in acidizing media. *J Mol Liq*. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112046>
- Dewangan Y, Verma DK, Berdimurodov E, Haldhar R, Dagdag O, Tripathi M, Mishra VK, Kumar PA (2022) N-hydroxypyrazine-2-carboxamide as a new and green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium: experimental, surface morphological and theoretical approach. *J Adhes Sci Technol*. <https://doi.org/10.1080/01694243.2022.2068884>
- El-Hashemy MA, Sallam A (2020) The inhibitive action of *Calendula officinalis* flower heads extract for mild steel corrosion in 1 M HCl solution. *J Mater Res Technol* 9:13509–13523. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.09.078>
- Farzana B, Banu A, Ahmed K (2021) *Andrographis echinoides* leaves extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in acid medium. *Mater Today Proc* 47:2080–2090. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.478>
- Faustin M, Maciuk A, Salvin P, Roos C, Lebrini M (2014) Corrosion inhibition of C38 steel by alkaloids extract of *Geissospermum* leave in 1M hydrochloric acid: Electrochemical and phytochemical studies. *Corros Sci*. 92:287–300. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.12.005>
- Fayomi OSI, Akande IG, Odigie S (2019) Economic impact of corrosion in oil sectors and prevention: an overview. *J Phys Conf Ser*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1378/2/022037>
- Ferreira E, Giacomelli C, Giacomelli F, Spinelli A (2004) Evaluation of the inhibitor effect of L-ascorbic acid on the corrosion of low alloy steel. *Mater Chem Phys* 83:129–134. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2003.09.020>
- Garai S, Jaisankar P, Singh J, Elango A (2012) A comprehensive study on crude methanolic extract of *Artemisia pallens* (Asteraceae) and its active component as effective corrosion inhibitors of mild steel in acid solution. *Corros Sci* 60:193–204. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.03.036>
- Haldhar R, Kim S-C, Berdimurodov E, Verma DK, Hussain CM (2021) Corrosion inhibitors: industrial applications and commercialization. In: Sustainable corrosion inhibitors II: synthesis, design, and practical applications. American Chemical Society, <https://doi.org/10.1021/bk-2021-1404.ch010>
- Hamdy A, Gendy N (2013) Thermodynamic, adsorption and electrochemical studies for corrosion inhibition of carbon steel by henna extract in acid medium. *Egypt J Petrol* 22:17–25. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2012.06.002>
- Hanwell MD, Curtis DE, Lonie DC, Vandermeersch T, Zurek E, Hutchison GR (2012) Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform. *J Cheminform* 4:1–17
- Hassan K, A. Khadom A, Kurshed N, (2016) *Citrus aurantium* leaves extracts as a sustainable corrosion inhibitor of mild steel in sulfuric acid. *S Afr J Chem Eng* 22:1–5. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2016.07.002>
- Hossain N, Chowdhury MA, Kchaou M (2020) An overview of green corrosion inhibitors for sustainable and environment friendly industrial development. *J Adhes Sci Technol* 35:673–690. <https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1816793>
- Ismail A, Mohamed E, Marghany M, Motaal V, Abdel-Farid VI, Sayed ME (2016) Preliminary phytochemical screening, plant growth inhibition and antimicrobial activity studies of *Faidherbia albida* legume extracts. *J Saudi Soc Agric Sci* 15:112–117. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.06.002>
- Ji G, Dwivedi P, Sundaram S, Prakash R (2016) Aqueous extract of *Argemone maxicana* roots for effective protection of low alloy steel in an HCl environment. *Res Chem Intermed* 42:439–459. <https://doi.org/10.1007/s11164-015-2029-y>
- Junaedi S, Amieri A, Kadihum A, Kadhum A, Mohammad A (2013) Inhibition effects of a synthesized novel 4-aminoantipyrine derivative on the corrosion of low alloy steel in hydrochloric acid solution together with quantum chemical studies. *Int J Mol Sci* 14:11915–11928. <https://doi.org/10.3390/ijms140611915>
- Krishnan R, Binkley JS, Seeger R, Pople JA (1980) Self-consistent molecular orbital methods. XX. A basis set for correlated wave functions. *J Chem Phys* 72(1980):650–654. <https://doi.org/10.1063/1.438955>
- Kumar J, Kaur A, Narang P (2019) Phytochemical screening and metal binding studies on floral extract of *Solanum Nigrum*. *Mater Today Proc* 26:3332–3336. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.170>
- Lebrini M, Robert F, Lecante A, Roos, (2011) Corrosion inhibition of C38 steel in 1 M hydrochloric acid medium by alkaloids extract from *Oxandra asbeckii* plant. *Corros. Sci* 53:687–695. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.10.006>
- Lee C, Yang W, Parr RG (1988) Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. *Phys Rev B* 37:785. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.37.785>
- Lgaz H, Salghi R, Jodeh S, Hammout B (2017) Effect of clozapine on inhibition of low alloy steel corrosion in 1.0 M HCl medium. *J Mol Liquids* 225:271–280. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.11.039>
- Li X, Deng S (2012) Inhibition effect of *Dendrocalamus brandisii* leaves extract on aluminum in HCl, H₃PO₄ solutions. *Corros Sci* 65:299–308. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.08.033>
- Li L, Zhang X, Lei J, He J, Zhang Z, Pan F (2012a) Adsorption and corrosion inhibition of *Osmanthus fragran* leaves extract on carbon steel. *Corros Sci* 63:82–90. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.05.026>
- Li X, Deng S, Fu H (2012b) Inhibition of the corrosion of steel in HCl, H₂SO₄ solutions by bamboo leaf extract. *Corros Sci* 62:163–175. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.05.008>
- Liao LL, Mo S, Luo H, Li N (2017) *Longan* seed and peel as environmentally friendly corrosion inhibitor for low alloy steel in acid solution: experimental and theoretical studies. *J Colloid and Interface Sci* 499:110–119. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.03.091>
- Mehdipour M, Ramezanzadeh B, Arman S (2014) Electrochemical noise investigation of Aloe plant extract as green inhibitor on the corrosion of stainless steel in 1 M H₂SO₄. *J Indust Eng Chem* 21:318–327. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.02.041>
- Muthukrishnan P, Jeyaprabha B, Prakash P (2013) Adsorption and corrosion inhibiting behavior of *Lannea coromandelica* leaf extract on mild steel corrosion. *Arabian J Chem*. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.08.011>
- Nofrizal S, Rahim A, Saad B, Raja P, Shah M, Yahya S (2011) Elucidation of the corrosion inhibition of low alloy steel in 1.0 M HCl by catechin monomers from commercial green tea extracts.

- Miner Metals Mater Soc ASM Int. <https://doi.org/10.1007/s11661-011-1030-3>
- Nooshabadi MS et al (2015) Santolina chamaecyparissus extract as a natural source inhibitor for 304 stainless steel corrosion in 35% NaCl. J Ind Eng Chem. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.06.028>
- Odewunmi NA, Umoren SA, Gasem ZM (2015) Utilization of water-melon rind extract as a green corrosion inhibitor for mild steel in acidic media. J Ind Eng Chem 21:239–247. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.02.030>
- Oguzie E (2006) Studies on the inhibitive effect of *Occimum viridis* extract on the acid corrosion of mild steel. Mater Chem Phys 99:441–446. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2005.11.018>
- Otaibi M, Mayouf A, Khan M, Mousa A, Mazroa S, Alkhatlan H (2014) Corrosion inhibitory action of some plant extracts on the corrosion of mild steel in acidic media. Arabian J Chem 7:340–346. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.01.015>
- Pandey A, Tripathi S (2014) Concept of standardization, extraction and pre phytochemicals screening strategies for herbal drug. J Pharmacogn Phytochem
- Prabakaran M, Hemapriya S, Kim V, Chung I (2016) Evaluation of polyphenol composition and anti-corrosion properties of *Cryptostegia grandiflora* plant extract on mild steel in acidic medium. J Indust Eng Chem 37:2016. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.03.006>
- Prabakaran M, Kim S, Mugila N, Hemapriya V, Parameswari K, Chitra S, Chung I (2017) *Aster koraiensis* as nontoxic corrosion inhibitor for mild steel in sulfuric acid. J Indust Eng Chem 52:235–245. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.03.052>
- Radwan AB, Mannah CAS, M.H., Al-Qahtani N.H.S., Okonkwo P.C., Berdimurodov E, Mohamed A.M., Abdullah A.M. (2021) Electrospun highly corrosion-resistant polystyrene–nickel oxide superhydrophobic nanocomposite coating. J Appl Electrochem 51:1605–1618. <https://doi.org/10.1007/s10800-021-01603-8>
- RajaP QA, Rahim A, Osman H, Awang K (2013) *Neolamarckia cadamba* alkaloids as eco-friendly corrosion inhibitors for mild steel in 1 M HCl media. Corros Sci 69(292–301):2013. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.11.042>
- Rajeswari V, Kesavan D, Gopiraman M, Viswanathamurthi P, Poonkuzhali K, Poonkuzhali Viswanathamurthi P, K, Palvannan T, (2014) Corrosion inhibition of Eleusine aegyptiaca and Croton rottleri leaf extracts on cast iron surface in 1 M HCl medium. Applied Surface Science 314:537–545. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.05.045>
- Saxena A, Prasad D, Haldhar R, Singh G, Kumar A (2018a) Use of *Sida cordifolia* Extract as green inhibitor for mild steel in 0.5M H₂SO₄. J Environ Chem Eng 6:694–700. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.064>
- Saxena A, Prasad D, Haldhar R, Singh G, Kumar A (2018b) Use of *Saraca ashoka* extract as green corrosion inhibitor for mild steel in 0.5 M H₂SO₄. J Mol Liq 258:89–97. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.104>
- Saxena A, Prasad D, Haldhar R (2018c) Investigation of corrosion inhibition effect and adsorption activities of Cuscuta reflexa extract for mild steel in 0.5 M H₂SO₄. Bioelectrochem 124:156–216. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2018.07.006>
- Saxena A, Thakura KK, Bhardwaj N (2020) Electrochemilogical studies and surface examination of low carbon steel by applying the extract of Musa acuminata. Surf Interfaces. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100436>
- Schmidt MW, Baldrige KK, Boatz JA, Elbert ST, Gordon MS, Jensen JH, Koseki S, Matsunaga N, Nguyen KA, Su S (1993) General atomic and molecular electronic structure system. J Comput Chem 14:1347–1363. <https://doi.org/10.1002/jcc.540141112>
- Scully J (2000) Polarization resistance method for determination of instantaneous corrosion rates. Corrosion 56:199–218. <https://doi.org/10.5006/1.3280536>
- Sedik A, Lerari D, Salci A, Athman S, Bachari K, Gecibesler IH, Solmaz R, (2020) *Dardagan* fruit extract as eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl: electrochemical and surface morphological studies. J Taiwan Inst Chem Eng 107:189–200. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.12.006>
- Shahmoradi AR, Ranjbarghane M, Javidparvar AA, Guo L, Berdimurodov E, Ramezanzadeh B (2021) Theoretical and surface/electrochemical investigations of walnut fruit green husk extract as effective inhibitor for mild-steel corrosion in 1M HCl electrolyte. J Mol Liq 338:116550. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116550>
- Shalabi K, Abdallah Y, Hassan H, Fouda A (2014) Adsorption and corrosion inhibition of *Atropa Belladonna* extract on carbon steel in 1 M HCl solution. Int J Electrochemical Sci 9:1468–1487
- Sharma S, Singh J, Singh S (2012) Pharmacognostical and phytochemical investigation of euphorbia prostrata ait. Int J Pharm Sci 3: 1043–48. <https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.3>
- Soltani N, Tavakkoli N, Khayatkashani M, Jalali M, Mosavizadeh, (2012) A Green approach to corrosion inhibition of 304 stainless steel in hydrochloric acid solution by the extract of *Salvia officinalis* leaves. Corros Sci 62:122–135. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.05.003>
- Soltani N, Tavakkoli N, Kashani M, Mosavizadeh A, Oguzie E, Jalali, (2014) Silybum marianum extract as a natural source inhibitor for 304 stainless steel corrosion in 1.0 M HCl. J. Indust. Eng. Chem 20:3217–3227. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.12.002>
- Umoren S, Eduok UM, Solomon MM, Udoh AP (2011) Corrosion inhibition by leaves and stem extract of *Sida acuta* for mild steel in 1 M H₂SO₄ solutions investigated by chemical and spectroscopic techniques. Arabian J Chem 9:209–224. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.03.008>
- Uwah I, Okafor P, Ebiekpe V (2013) Inhibitive action of ethanol extracts from *Nauclea latifolia* on the corrosion of mild steel in H₂SO₄ solutions and their adsorption characteristics. Arabian J Chem 6:253–352. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.10.008>
- Verma DK, Kazi M, Alqahtani MS, Syed R, Berdimurodov E, Kaya S, Salim R, Asatkar A, Haldhar R (2021) N-hydroxybenzothioamide derivatives as green and efficient corrosion inhibitors for mild steel: Experimental, DFT and MC simulation approach. J Mol Struct 1241:130648. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130648>
- Zhu M, Guo L, Z. Marzouki H, Zhang R, Berdimurodov E, (2022) Insights into the newly synthesized N-doped carbon dots for Q235 steel corrosion retardation in acidizing media: a detailed multidimensional study. J Colloid Interface Sci 608:2039–2049. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.10.160>

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Springer Nature or its licensor holds exclusive rights to this article under a publishing agreement with the author(s) or other rightsholder(s); author self-archiving of the accepted manuscript version of this article is solely governed by the terms of such publishing agreement and applicable law.

Authors and Affiliations

Jasdeep Kaur¹ · Akhil Saxena¹ · Elyor Berdimurodov² · Dakeshwar Kumar Verma³

¹ Department of Chemistry, Chandigarh University Mohali, Mohali, India

² Faculty of Chemistry, National University of Uzbekistan, Tashkent 100034, Uzbekistan

³ Department of Chemistry, Government Digvijay Autonomous Postgraduate College, Rajnandgaon, Chhattisgarh 491441, India



Recent trends in noble-metals based composite materials for supercapacitors: A comprehensive and development review

Asatkar Ashish Kumar^{a,**}, Verma Dakeshwar Kumar^{b,***}, Elyor Berdimurodov^{c,*}

^a Department of Chemistry, Govt. Gundadhur P.G. College, Kondagaon, CG, 494226, India

^b Department of Chemistry, Govt. Digvijay Autonomous P.G. College, Rajnandgaon, CG, 491441, India

^c Faculty of Chemistry, National University of Uzbekistan, Tashkent, 100034, Uzbekistan

ARTICLE INFO

Keywords:

Supercapacitors
Noble metals
Supercapacitance
Current density
Composites

ABSTRACT

Supercapacitors are high energy density and power density materials in the electronics industry. Noble metals and their composites have been the most successfully applied in supercapacitors. This review is focused on noble metal-based materials that have been used to improve electrochemical supercapacitors over the last decade. This review describes the role of various noble metals, binary composites with transition metals, binary composites with carbon-based materials, and ternary composites containing both transition metals and carbon-based materials as supercapacitor electrode materials. The effects of the electrode material, growth tactics, structure, size and morphology of the nanostructured materials on device performance are discussed.

1. Introduction

At present, electronic devices make life more comfortable, and the importance of electricity is increasing. The use of renewable energy sources, such as solar energy and wind energy, has become very important [1]. Sunlight is an example of a natural resource. However, the use of renewable energy has some limitations. For example, sunlight is not available at night, and seasonal variations can be observed in sunlight intensity and wind speed [2,3]. Thus, the storage of produced electric energy is very important in the electronic industry, and storage devices with high energy and good power density are highly needed. The most common storage device is a battery [4]. Its high energy capacity makes it suitable for several applications. However, it has a low power density; thus, batteries are not suitable for applications with large power impulses. The alternate power energy device is a supercapacitor, also known as an ultracapacitor and electrochemical capacitor [5,6]. Supercapacitors have a larger power density than conventional capacitors. Additionally, supercapacitors have a high charge–discharge rate. A comparison of the properties between a supercapacitor and a battery is shown in Table 1 [7]. The prime attraction of pseudocapacitors over batteries is their high charge–discharge rate, which ranges from seconds

to minutes, high power, and moderate energy density [8]. The performance of various storage devices is shown as a Ragone plot in Fig. 1.

Based on the electrode material and associated storage mechanism, electrochemical capacitors are categorized into three categories: (1) electric double-layer capacitors (EDLCs), (2) pseudocapacitors, and (3) hybrid supercapacitors. The supercapacitors are classified mainly three class: the electric double layer capacitor, hybride and pseudocapacitor. The electric double layer capacitors based supercapacitors are classified in the graphene, carbon nano tubes and activated carbon. The hybride supercapacitors contained the composite hybrid, asymmetric hybrid and battery type hybride. The pseudocapacitor supercapacitors are categorized into metal oxides and conducting polymers.

Electric double-layer capacitor (EDLC): EDLCs work based on a non-Faradaic-type charge storage mechanism. In an EDLC, nanoporous carbon materials such as graphene, carbon nanotubes or activated carbon are used as electrode materials [9]. An electric double layer is generated around the surface of the electrode, and the energy is stored at the electrode-electrolyte junction. EDLCs are a low-cost material, making them economically efficient [10,11].

Pseudocapacitor: Pseudocapacitors are metal oxides, conducting polymers or sometimes functionalized carbon as an electrode material. Pseudocapacitance involves the oxidation–reduction process between

* Corresponding author.

** Corresponding author.

*** Corresponding author.

E-mail addresses: ashu.asatkar@gmail.com (A. Ashish Kumar), dakeshwarverma@gmail.com (V. Dakeshwar Kumar), elyor170690@gmail.com (E. Berdimurodov).

<https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100817>

Received 23 May 2022; Received in revised form 31 October 2022; Accepted 28 November 2022

Available online 5 December 2022

0019-4522/© 2022 Indian Chemical Society. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

Abbreviations

ALD	Atomic layer deposition
AC	Amorphous carbon
Au-MWCNTs	Au-multiwall carbon nanotubes
CNTs	Carbon nanotubes
CFP	Carbon fibre paper
CNFs	Carbon nanofibres
CNOs	Carbon nanofibres
GNS	Graphene nanosheets
GNFs	Graphite nanofibres
GCE	Glassy carbon electrode
GO	Graphene oxide
MC	Mesoporous carbon
MWNTs	Multiwalled nanotubes
NPS	Nanoporous silver
NPG	Nanoporous gold
PANI	Polyaniline
AgNWs	Silver nanowires
SC	Super capacitance
SR	Scan rate
CD	Current density

Table 1

Various parameters regarding the efficiencies of a supercapacitor and battery.

Characteristics	Supercapacitor	Battery
Specific energy (Wh kg ⁻¹)	1–10	10–100
Specific power (W kg ⁻¹)	500–10,000	<1000
Discharge time	s to min	0.3–3 h
Charge time	s to min	1–5 h
Coulombic efficiency (%)	85–98	70–85
Cycle life	>5,00,000	approximately 1000

the electrode material and electrolyte as a Faradaic process. In comparison to EDLCs, pseudocapacitors have a much higher specific capacitance due to rapid oxidation–reduction reactions occurring on the electrode exterior. However, these reactions can cause physical changes in the electrode, such as swelling and shrinking; as a result, the stability of the device may be reduced.

Hybrid supercapacitor: Hybrid supercapacitors can be categorized into three classes: (i) asymmetric hybrids, (ii) symmetric composite hybrids and (iii) battery-type hybrids. *Asymmetric hybrids* have an anode that is a pseudocapacitance material, while the cathode is a carbon material. Sometimes, these electrodes may be the same carbon material but with different thicknesses. *Symmetric composite hybrids* have two identical carbon electrodes. Finally, *battery-type hybrid supercapacitors* are composed of a Li-insertion material as the anode and a carbon material as the cathode.

In this review article, noble metal materials that are used as electrodes for supercapacitors will be discussed. Noble metals are defined as metals that are resistant to corrosion and oxidation in moist air. The most common noble metals include Ru, Rh, Pd, Ag, Cu, Os, Ir, Pt and Au [12]. Of these, Ru, Rh, Pd, Ag, Pt and Au have been reported as supercapacitor electrode materials. The extraordinary conductivity of noble metals results in the high mobility of electrons involved in the redox reactions of pseudocapacitors [13–15].

2. Electrolytes

By using a high concentration of electrolytes, a depletion problem occurs during charging [16]. Electrolytes have several advantages, such

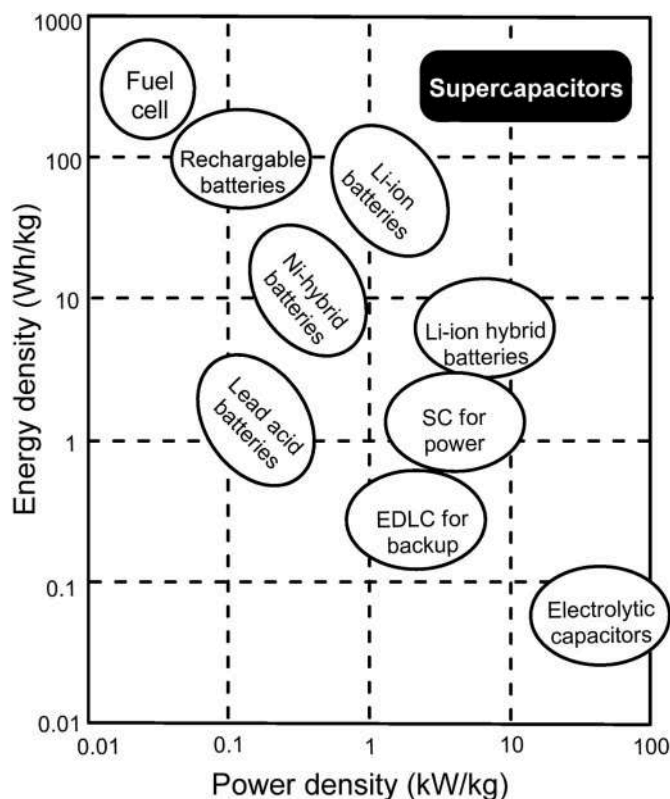


Fig. 1. Ragone plot of the power density vs. energy density for various energy storage devices.

as their broad voltage range, excellent electrochemical stability, good ionic concentration, small solvent spheres, high ionic conductivity, low viscosity, high thermal stability and low toxicity [17]. Additionally, electrolytes are inexpensive and have high purity. Aqueous, organic and ionic liquids are mainly applied as electrolytes in supercapacitors.

Aqueous electrolytes: These include inorganic salts/acids/bases that are soluble in water, e.g., KCl, Na₂SO₄, K₂SO₄, NH₄Cl, H₂SO₄, and KOH. They provide low resistance and a high ionic concentration [18,19]. Aqueous electrolyte-containing supercapacitors show higher advanced capacitance and power than devices containing organic electrolytes due to aqueous electrolytes having smaller ionic radii, higher concentrations and lower minimum pore sizes [20,21]. Notably, water is decomposed at 1.23 V, so their voltage range is limited to 1.2 V [22,23].

Organic electrolytes: The small voltage window problem in the above case can be overcome by using organic electrolytes, which can be used up to 3.5 V. The most used organic electrolyte is polycarbonate, which is environmentally friendly and offers a wide working voltage and working temperature. Although, its conductivity is low [24–26]. Acetonitrile is also a good electrolyte; however, it is toxic, making it less preferably employed. Additionally, tetraethylammonium tetrafluoroborate, tetraethylphosphonium tetrafluoroborate, and triethylmethylammonium tetrafluoroborate are used as superconductors [27,28]. The electrolytes must not contain more than 5 ppm water; otherwise, a significant drop in voltage can be observed. Salts with less symmetric structures exhibit greater solubility in these solvents due to their lower crystal lattice energy [29,30].

Ionic liquids: When organic salts are in their *molten/liquified* forms, they are similar to ionic liquids. Room-temperature ionic liquids are pure organic salts in the liquid state at room temperature, and they can be employed in supercapacitors. This is due to their nonvolatile, poor combustibility, heat resistance and chemical stability [31,32]. Additionally, they are resistant to redox reactions over a wide voltage range ranging up to 6 V and show conductivity on the order of approximately

10 mS cm⁻¹ [33,34]. Although some ionic liquids have conductivities comparable to the best organic electrolytes, they typically have quite low conductivities compared to aqueous electrolytes due to their high viscosity; however, this problem can be overcome by making a dilute solution with an organic solvent [35,36]. Because of the absence of a solvent, they do not have a solvation sphere; thus, the ion size is well-defined [37]. The conductivity of some ionic liquids increased with the decrease in the concentrations. The reason for this is that their high viscosity was decreased importantly with the reduce of their concentrations. Additionally, the ionic radius of these ionic liquids rose with a dilute solution with an organic solvent. As a result, the conductivity of these ionic liquids is enhanced. However, the decrease in concentration is a limiting factor, which means that the conductivity was enhanced to the standard points after it was decreased. The most studied ionic liquids are imidazolium, pyrrolidinium and various aliphatic asymmetric quaternary ammonium salts with anions, such as BF₄⁻, CF₃SO₃⁻, and PF₆⁻ [37–42].

3. Noble metal-based electrode materials for supercapacitors

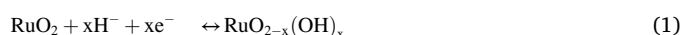
Carbon material-based supercapacitors are currently more attractive. This is due to their relatively high electric conductance, versatility, availability and high surface area. On the other hand, carbon-based materials generally suffer from low supercapacitance; thus, the attention of researchers has shifted from pure carbon-based metals towards supercapacitor materials, such as noble metal compounds [17,43–45]. Large-scale electrochemical supercapacitors using several metal oxides, including RuO₂ [46–48], V₂O₅ [49,50], MnO₂ [51,52], Co₃O₄ [53,53], Fe₃O₄ [54,55], TiO₂ [56,57], and NiO, have been widely studied in hybrid devices and electrochemical supercapacitors, which combine capacitive electrodes and battery-type electrodes. Some metal oxides, such as RuO₂ [58–61], V₂O₅ [62,63], Fe₃O₄ [64,65] and MnO₂ [66,67], exhibit pseudocapacitance, demonstrating quick and reversible electron transfer that is different from carbon materials [68]. Oxides such as NiO [69,70], Co₃O₄ [71,72] and TiO₂ [73,74] accompanied by active carbon have also been incorporated as electrode materials in battery-type hybrid supercapacitors [75,76].

When redox reactions occur, these oxides usually interact with protons or hydroxide ions, and the related redox process affects both the electrode exterior and the oxide bulk. The latter is attributed to restrained electron transfer rates caused by the low electrical conductance of the metal hydroxides/oxides. In addition, the shrinkage and swelling of electrode materials and the charge–discharge process are responsible for damaging the morphology [77]. The incorporation of nanostructured metal oxides in carbon content (such as porous carbon content graphene [78,79] and carbon nanotubes [80,81]) can show high capacitance with conducting nanocomponent frameworks. Recently, it has been demonstrated that carbon material–metal oxide fusions show high potential applicability in hybrid supercapacitors because of the synergistic effects between electric double-layer capacitors and pseudocapacitive or faradaic materials, which results in these materials having superior electrochemical performance [82,83]. Common noble metals are based on electrode materials, composites with transition metal oxides, transition metal hydroxides, carbon materials and conducting polymers [84,85]. Noble metal-based electrodes are enhanced materials in the electronic industry because of their electrochemical stability and good electrical conductance [86–88]. These metals can facilitate effective electron transport from the redox process of capacitors to the current collector [14,15].

3.1. Individual noble metal-based electrode materials

Crystalline and amorphous forms of RuO₂ are essential for practical and theoretical purposes due to specific characteristics, such as the conductivity of the metal, catalytic activity, high chemical and thermal stability, electrochemical deficiency-oxidation properties, and field-

emitting behaviour. Because of these unique properties, RuO₂ plays a vital role in different applications, such as supercapacitors, thin and thick resistors, electronic applications, integrated circuit development and ferroelectric films. Among them, RuO₂ has recently been used as electrode material in supercapacitors [48,89]. Additionally, RuO₂ has the most success in seeing metallic-type conductivity, a broad potential window with a high specific capacitance, a long cycle life and a highly reversible redox reaction [90,91]. The application of RuO₂ in supercapacitors is achieved through the electrodeposition method [91–93]. The earliest study of promising electrode materials in supercapacitors used ruthenium dioxide (RuO₂) due to its high theoretical supercapacitance (SC) (of ~2000 F g⁻¹ or F/g) [94], extensive potential window, long cycle life, high rate capability, good electrochemical reversibility [95,96] and high electrical conductivity. The pseudocapacitive nature of RuO₂ in acidic electrolytes can be indicated as a reversible and fast faradic expression (Equation (1)) [97]:



where $0 \leq x \leq 2$.

Ru metals have a good catalytic effect on the diffusion rate of H⁺ ions. This is due to the structural effects, ion radius and interactions between the water and Ru metals. The Ru have a good d-electron system, which is also important for the diffusion rate of H⁺ ions.

Ruthenium shows different oxidation in alkaline electrolytic media. For example, the oxidation degree in an acidic electrolyte ranges from +2 to +4. The various parameters, changes in temperature, particle size and crystallinity influence the supercapacitor behaviour of Ru-based materials [98,99]. The particle size of ruthenium oxide electrode materials is an important factor due to their increased surface area. Small metal oxide particles have a high specific surface area, a large number of electrolyte ion transport pathways and a short diffusion path. The diffusion time of ions (τ) can be calculated from Equation (2) [100]:

$$\tau \approx L^2/2D \quad (2)$$

where τ is the diffusion time of ions; L is the size of the nanoparticle; D is the diffusion constant.

The diffusion time of ions decreases as the particle size decreases. Thus, small particles provide a higher utilization efficiency and specific capacitance [101]. It is indicated that small particles of RuO₂ are desirable as supercapacitor. It has been found that ion conductivity and supercapacitance (SC) improves when nanoscale RuO₂ is applied due to having a higher specific surface area than bulk RuO₂ [102]. These properties provide more active sites for reversible and quick oxidation–reduction reactions. At present, some RuO₂ materials were performed, such as nanotubes [103], nanoflowers [104] nanorods [105] and nanosheets [106]. By using anodic deposition, a previous study showed an extremely high SC of 1300 F g⁻¹ with an energy density of 7.5 Wh kg⁻¹, when a RuO₂/H₂O nanotubular array electrode was used. Equation (2) suggests that RuO₂ undergoes the extraction and insertion of H⁺ because RuO₂·nH₂O is a good conductor of protons in acidic media [107]. The diffusion rate of H⁺ towards the electrode can be accelerated by using a combined hydrous RuO₂ and water system. Some previous studies suggest the higher supercapacitance (900 F g⁻¹ and 861 F g⁻¹) of hydrous RuO₂ compared to anhydrous RuO₂ [108]. In addition, the SC decreases from 720 F g⁻¹ to 19.2 F g⁻¹ as the combined content decreases from RuO₂·0.5H₂O to RuO₂·0.03H₂O, respectively [109].

The supercapacitance can also be affected by the crystalline nature of the metal oxide, i.e., RuO₂. In a highly crystalline metal oxide (RuO₂), the extraction and insertion of electrons/ions are difficult due to the compact structure. This nature of RuO₂ leads to a decrease in supercapacitance and an increase in the electrochemical impedance [110, 111]. Previous studies suggest that the higher SC is 1190 F g⁻¹ in H₂SO₄ when amorphous ruthenium dioxide thin films are anodically deposited on steel [112,113]. The annealing temperature also plays an important role, as high-temperature hydrous ruthenium dioxide contains a low

Table 2

Capacitance and capacity retention of noble metal–metal composite electrode materials.

N ^o	Material	Synthesis method	Electrolyte	Specific capacitance/ volumetric capacitance	Scan rate/ current density	Capacity retention	Ref.
1.	Nanosized MnO ₂ spines on Au stems	Electrochemical deposition method	1 M Na ₂ SO ₄	1130 F g ⁻¹	2 mV s ⁻¹	90%, 5000 cycles, 10 A g ⁻¹	[142]
2.	MnO ₂ /Au/MnO ₂ -nanospikes	Low voltage anodization	1 M Na ₂ SO ₄	~880 F g ⁻¹	10 mV s ⁻¹	88% (5000 cycles, 100 mV s ⁻¹)	[143]
3.	MnO _x /Au multilayers	Solution method	1 M Li ₂ SO ₄	32.8 F cm ⁻³	1 V s ⁻¹	74.1%, 15000 cycles, 1 V s ⁻¹	[144]
4.	Nanoporous Au–MnO ₂	Electrochemical alloying/dealloying method followed by electrodeposition	1 M Na ₂ SO ₄	839.4 F g ⁻¹	0.5 mA cm ⁻²	92%, 1000 cycles	[145]
5.	Au-doped MnO ₂ film	Doping gold into λ -MnO ₂ nanocrystals through sputtering	2 M Li ₂ SO ₄	626 F g ⁻¹	5 mV s ⁻¹	93%, 15000 cycles, 50 mV s ⁻¹	[134]
6.	Ag-anchored ZnSb ₂ O ₆	Ultrasonication-assisted chemical reduction	1 M sulphur acid	165.9 F g ⁻¹	1 A g ⁻¹	98.0%, 2000 cycles, 2 A g ⁻¹	[146]
7.	Ag nanowires-CuS core/shell nanostructure	Successive ionic layer adsorption and reaction	3 M KOH	707 F g ⁻¹	10 mV s ⁻¹	91%, 2000 cycles	[147]
8.	Porous NiO/Ag nanofilm	Chemical bath deposition and silver mirror reaction	1 M potassium hydroxyl	330 F g ⁻¹	2 A g ⁻¹	94%, 3000 cycles, 2 A g ⁻¹	[148]
9.	Silver doped manganese oxide	Cathodic reduction followed by dehydrogenation and oxidation	0.5 M Na ₂ SO ₄	825 F g ⁻¹	5 mV s ⁻¹	~100%, 1000 cycles, 3 A g ⁻¹	[130]
10.	Tubular Ag/MnO _x nanosheets	Solvothermal process	1 M Na ₂ SO ₄	180 F g ⁻¹	0.1 mV s ⁻¹	80%, 1000 cycles, 1 A g ⁻¹	[149]
11.	Ag-loaded MnO ₂ nanosheets	Simple solution method using MnO ₂ nanosheets	1 M Sodium Sulfat	272 F g ⁻¹	10 mV s ⁻¹	–	[150]
12.							
13.	Hierarchical Ag/MnO ₂ nanowires	Simple solution method	1 M Na ₂ SO ₄	293 F g ⁻¹	10 mV s ⁻¹	96.8%, 5000 cycles, 50 mV s ⁻¹	[14]
14.	Nanoporous Ag/MnO ₂	Electrochemical dealloying followed by electroless plating	2 M Li ₂ SO ₄	1088 F g ⁻¹	1 A g ⁻¹	89%, 1000 cycles, 1 A g ⁻¹	[15]
15.	Ag/RuO ₂	Radio frequency magnetron sputtering	0.5 M H ₂ SO ₄	~1306 F cm ⁻³	200 mV s ⁻¹	–	[151, 152]
16.	Hydrous RuO ₂ -coated Pt fibre mats	Solution process	1 M H ₂ SO ₄	409.4 F g ⁻¹	10 mV s ⁻¹	78.6%,	[153]
	Pt–Co ₃ O ₄ nanostructure	Co-sputtering	1 M Na ₂ SO ₄			–	[154]
17.	Ru–RuO ₂ on wrinkled Nb-doped TiO ₂ nanofibres	Electrospinning and impregnation	0.5 M H ₂ SO ₄	496.3 F g ⁻¹	5 mV s ⁻¹	–	[155]
18.	Ni(OH) ₂ -nanoporous Au	Solution process	1 M KOH	2223 F cm ⁻³	5 A g ⁻¹	90%, 30000 cycles, 500 A g ⁻¹	[156]
19.	Au/Ni(OH) ₂	Simple coating	1 M KOH	1927 F g ⁻¹	1 A g ⁻¹	80%, 5000 cycles, 20 A g ⁻¹	[157]
20.	Dumbbell-like Au/Fe ₃ O ₄ and nanoporous Au–AgO with a ligament channel	Solution process and electrochemical dealloying for partial stripping	6 M KOH 0.5 M H ₂ SO ₄	464 F g ⁻¹	1 A g ⁻¹	86.4%, 1000 cycles 100%, 10000, 5A g ⁻¹	[158, 159]
21.	Au–MnO ₂ core-shell nanomesh	Lithography and electrodeposition	–	524 F g ⁻¹	0.56 A g ⁻¹	–	[160]
22.	MnO _x /Au	Electrodeposition	0.1 M KNO ₃	1230 F g ⁻¹	20 mV s ⁻¹	–	[161]
23.	MnO ₂ nanorod-Au nanoparticle	Solution method	1 M Na ₂ SO ₄	406.8 F g ⁻¹	5 mV s ⁻¹	91.3%, 2000 cycles, 5 A g ⁻¹	[162]

content of water molecules and exhibits good crystallinity [114]. The optimal annealing temperature is approximately 140 °C when the crystalline temperature is close to the annealing temperature. In this way, the high-rate charge–discharge capability of supercapacitors and electroactive material utilization will be improved [115].

Copper is another abundant metallic element in Earth's crust that shows promise for use, and it has been widely applied in industrial and commercial applications [116,117]. This is because copper oxides are cost-effective and environmentally friendly. For instance, CuO and Cu₂O have been applied extensively in clean energy research fields, including solar cells [118], supercapacitors [119–121], electrochemical charge storage devices, water splitting devices [122], photocatalysis devices, Li-ion batteries [123,124], and sensors. Recently, hierarchical core-shell nanostructures have emerged in the electronic industry because their good potential as electrode materials [121]. A simple and cost-effective approach has been developed for the synthesis of CuO/MnO₂ core-shell structures as metal electrodes in flexible asymmetric supercapacitors (ASCs) without surfactants. Supercapacitors with a CuO/MnO₂ [125, 126] hybrid nanostructure and a negative electrode of activated graphite oxide, exhibit a high power density and an energy density of

85.6 kW kg⁻¹ and 22.1 W h kg⁻¹, respectively, along with good stability (101.5% capacitance). Copper-based electrode materials in supercapacitors show various advantages due to their versatile device design in wearable portable electronics [127].

Silver metal is cost-effective and has the super electrical conductivity among the well-known noble metals, such as gold, ruthenium, rhenium, osmium, iridium and mercury. The silver metal surface achieves nano-scale electrical contact. Porous silver metal is extensively used as a catalyst and for surface-enhanced Raman scattering and energy storage. Silver metal-based nanoparticles (AgNPs) [128,129] were performed extensively as electrode materials in supercapacitors. Some previous studies suggested that silver combined with other metal oxides, conducting polymers, metal hydroxides, graphenes, carbon nanotubes and mesoporous carbon and other silver-based electrodes could be used in supercapacitors [14,15,130].

Gold is also used in supercapacitors due to its high conductivity, flexibility and stability [131–133]. Porous gold nanoparticles play an important role in enhancing structural stability and electrical conductivity. Gold has been extensively used in supercapacitors, electroanalysis devices and fuel cells. Some studies suggest that the effectiveness of

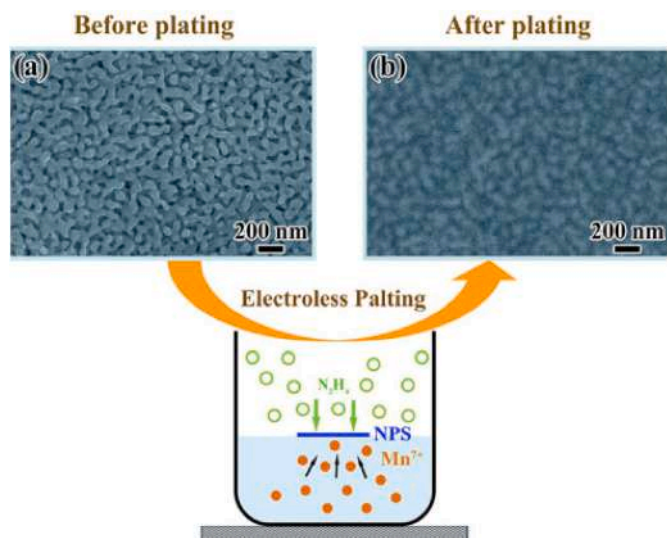


Fig. 2. Schematic representation and SEM microphotographs of the NPS before plating (a) and of the NPS/MnO₂ composite after plating (b) (reprint with permission from Ref. [15], ©2015 Elsevier).

gold-based electrode materials in supercapacitors can be improved by incorporating gold with other materials, including polymers, carbon-based composites and other metal oxides [134].

Platinum plays an important role in microelectronics due to its high work function of 5.6 eV, chemical stability against oxidation, high catalytic activity and good electrical conductivity [135]. Platinum-based nanostructures exhibit improved ion and electron conductivity and thus show a high rate of reversible capacitance [136,137].

3.2. Noble metal–metal-based composites

Although single transition metal oxides/hydroxides (excluding noble metals) show good electrochemical activity, they have certain serious limitations, such as a low conductivity, low specific capacitance and low cycling stability. The formation of composites containing noble metals and these metals can overcome the above limitations. The results of noble metal–transition metal oxide/hydroxide nanocomposites as

electrode materials for electrochemical capacitors are quite exciting and appealing.

Silver-based binary metal composites can be prepared by various methods, such as electrophoretic deposition, electrochemical dealloying, cathodic protection methods, silver mirror reactions and solvothermal processes [138]. Silver is one of the most fascinating electrode metals due to having the highest conductivity among noble metals and a relatively low cost. Manganese has various oxides, including MnO₂, Mn₃O₄, and MnO_x, that exhibit high specific capacitance; this makes them useful in electrode materials. MnO₂ exists in five main crystalline forms, namely, α -, β -, γ -, δ -, and λ -, with MnO₆ octahedrons arranged in such a way that can accommodate certain ions/atoms/particles in its cavities [139–141]. Thus, MnO₂ can easily be doped with nanoparticles to expand the efficiency of supercapacitors. Wang et al. reported a very high SC of 770 F g⁻¹ at an SR of 2 mV s⁻¹ for Ag-doped MnO₂ films prepared from KMnO₄ and AgNO₃ solutions [13]. The capacitance and capacity retention of noble metal–metal composite electrode materials are listed in Table 2. By dipping silver foil into KMnO₄ solution and H₂SO₄, Xia et al. synthesized hierarchical Ag/MnO₂ nanowires that yielded a good SC of 293 F g⁻¹ at an SR of 10 mV s⁻¹, which is almost two times greater than that of undecorated MnO₂ [14].

It is indicated that a nanoporous Ag/MnO₂ materials were synthesized from Ag₄₅Mg₃₅Ca₂₀; the resulting composite showed an ultrahigh SC of 1088 F g⁻¹ at 1 A g⁻¹ owing to its high ionic conductivity and outstanding charge transport (Fig. 2) [15]. Zhang and coworkers synthesized MnO₂ nanosheets (Ag-loaded) by reacting silver ions and uncoated MnO₂ nanosheets [150]. The MnO₂ nanosheet had highly monodispersed and unagglomerated 5 nm-sized Ag nanoparticles. The material exhibited an SC of 272 F g⁻¹ at an SR of 10 mV s⁻¹, which is approximately three times greater than that of the unloaded MnO₂ electrode, which had a value of 90 F g⁻¹. They also revealed the solvothermal process using KMnO₄ and Ag nanowire templates to achieve stable and ultrathin tubular Ag/MnO_x nanosheets [149]. Zeng et al. deposited silver-doped MnO₂ using cathodic reduction followed by dehydrogenation and the oxidation of deposits at 350 °C. After doping, the SC improved to approximately 825 F g⁻¹ at an SR of 5 mV s⁻¹ [130].

NiO is another popular materials in electronic industry, impressive cycle retention and eco-friendliness. NiO is also used as an electrode material in NiO/Ag nanocomposite films synthesized from specific reactions [148]. The specific capacitance while using this composite is found to be 330 F g⁻¹ and 281 F g⁻¹ at 2 A g⁻¹ and 40 A g⁻¹,

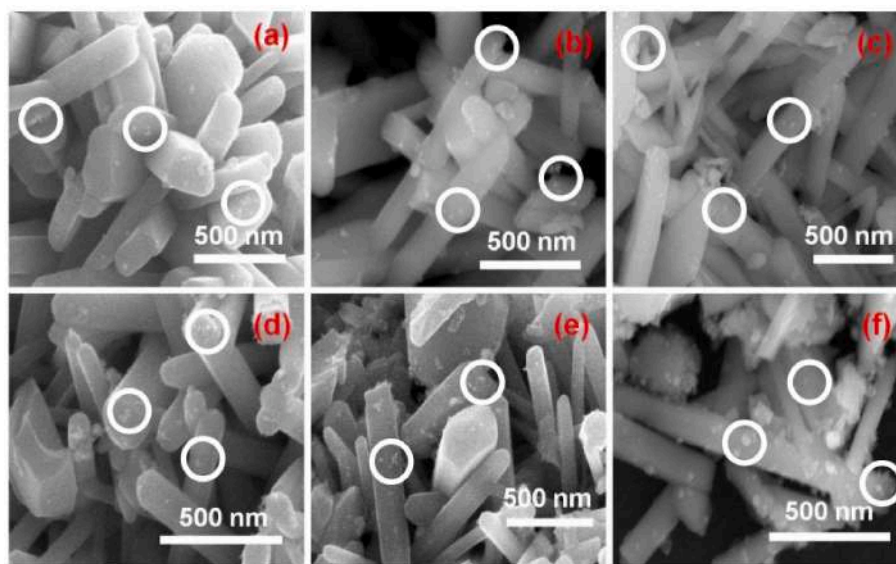


Fig. 3. FESEM images of 1 mM, 3 mM and 5 mM (a–c) Ag-anchored ZSO prepared in 50 mL of DDW and (d–f) ZSO prepared in a 250 mL of DDW (reprint with permission from Ref. [134], ©2013 Wiley Online Library).

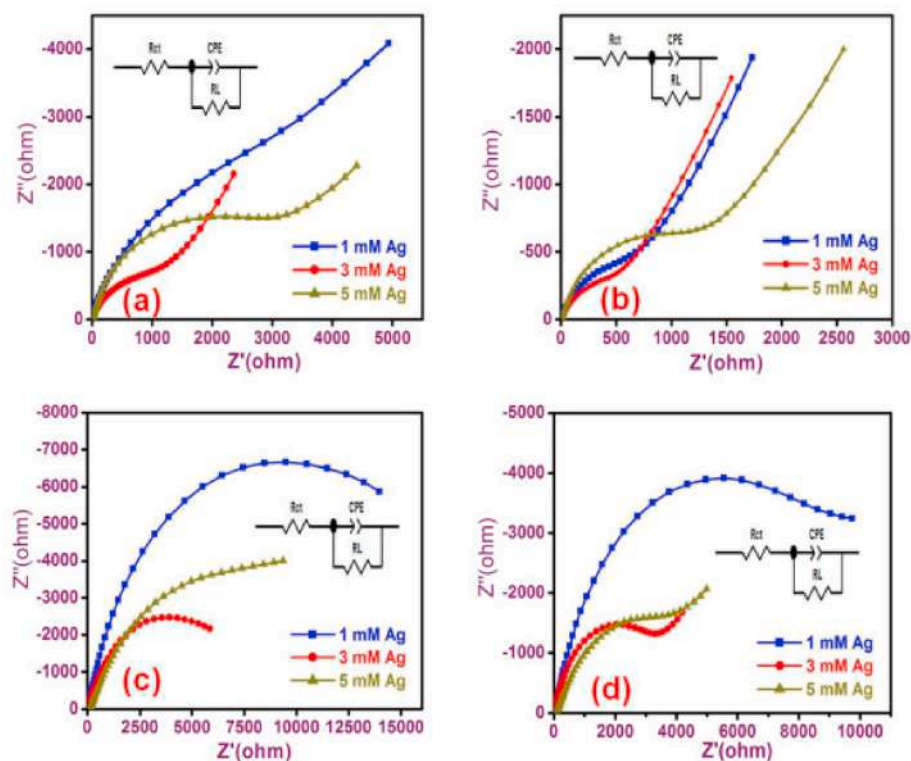


Fig. 4. Electrochemical impedance spectroscopy results (Nyquist plots for Ag-doped ZSO supercapacitor); (a) before cycling processes in 50 mL of DDW; (b) after cycling processes in 50 mL of DDW; (c) before cycling processes in 250 mL of DDW; (d) after cycling processes in 250 mL of DDW. (reprint with permission from Ref. [134], ©2013 Wiley Online Library).

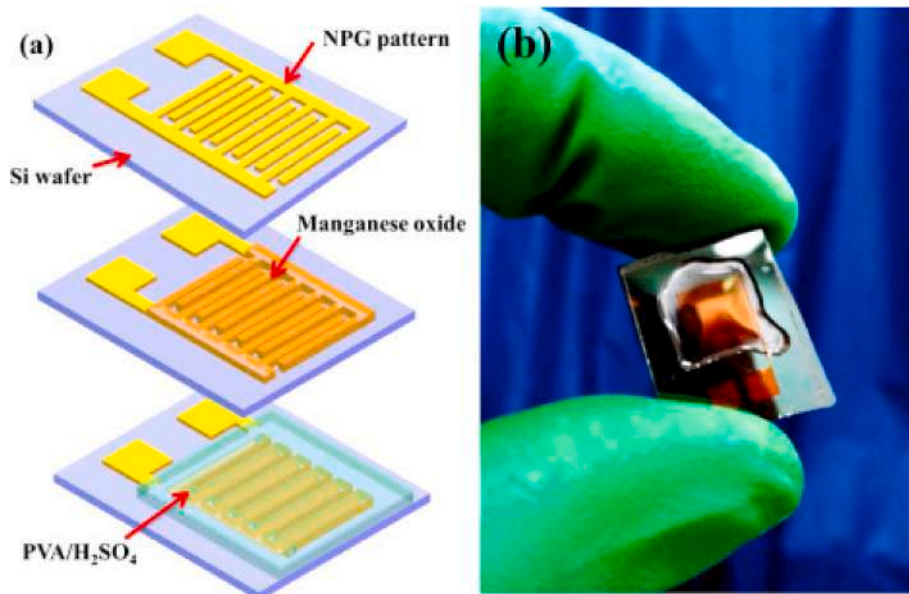


Fig. 5. (a) Preparing tactics of NPG/MnO₂ based supercapacitor and (b) picture of obtained NPG/MnO₂ based supercapacitor (reprint with permission from Ref. [160], ©2014 Wiley Online Library).

respectively, which are significantly greater than that of a simple NiO film.

CuO is also a well-studied pseudocapacitor material. Alshammari and coworkers revealed the SILAR method-based synthesis of hybrid silver nanowire/shell copper sulfide (AgNW/Cu₂S) nanocomposites, which exhibited a specific capacitance of 603 F g⁻¹ at a scan rate of 10 mV s⁻¹ scan rate and an energy density of 10.01 Whkg⁻¹ [147]. Liu and

his team synthesized Ag/Co₃O₄ nanostructures by the template-free growth of Co₃O₄ nanowire arrays followed by Ag doping via an electrodeposition method. The Ag/Co₃O₄ nanostructure displayed an SC of 1009 F g⁻¹ at a CD of 5 A g⁻¹. Balasubramaniam and coworkers used a facile ultrasonication-assisted chemical reduction approach for the preparation of a Ag-anchored ZnSb₂O₆ nanostructured electrode material in which the silver nanoparticles were homogeneously distributed

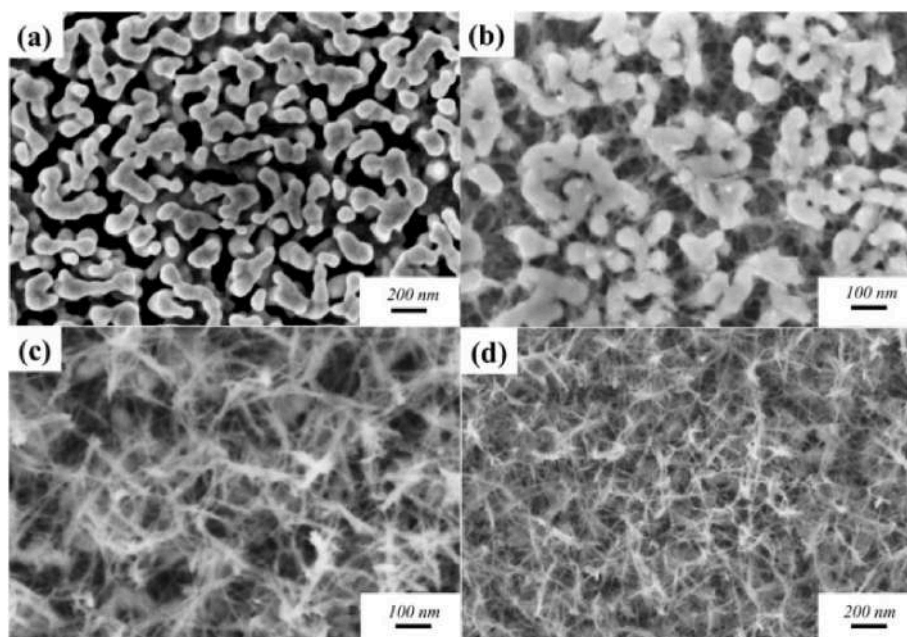


Fig. 6. (a) Picture of gold-silver coated NPG supercapacitor; (b) Picture of NPG/MnO₂ (5 mg cm⁻²) based supercapacitor; (c) Picture of NPG/MnO₂ (300 mg cm⁻²) based supercapacitor at 100 nm; Picture of NPG/MnO₂ (300 mg cm⁻²) based supercapacitor 200 nm. (reprint with permission from Ref. [160], ©2014 Wiley Online Library).

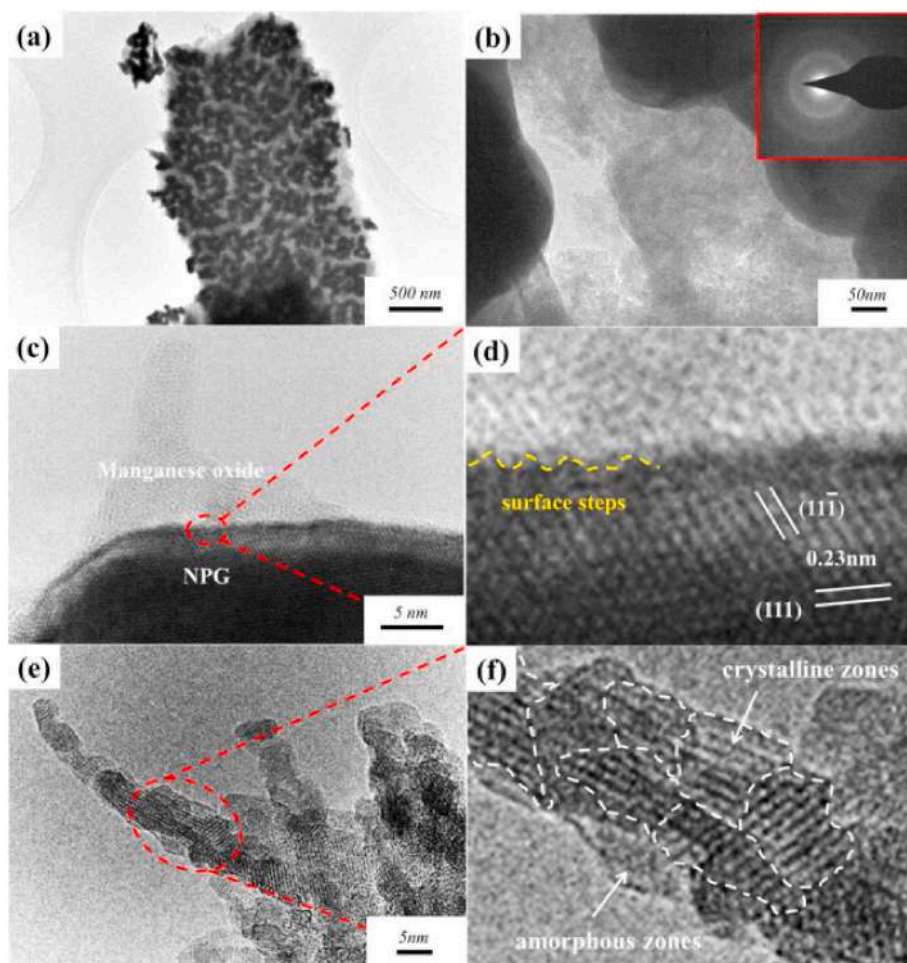


Fig. 7. TEM pictures of NPG/MnO₂ (300 mg cm⁻²) supercapacitor with (a) 500 nm and (b) 50 nm; HRTEM pictures of the interface between the (c) Au and (d) MnO₂; HRTEM pictures of (e) crystalline and (f) amorphous zones. (reprint with permission from Ref. [160], ©2014 Wiley Online Library).

Table 3

Capacitance and capacity retention of noble metal–carbon composites.

N ^o	Material	Preparation	Electrolyte	Specific capacitance/ volumetric capacitance	Scan rate/ current density	Capacity retention	Ref.
1	Ag/CNF	Electroplating and electrospinning	6 M KOH	30600 $\mu\text{F}/\text{cm}^2$	100 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	87%, 10,000 cycles	[172]
2	Ag/CNF	Ultrasonic spray coating	0.5 M H_2SO_4	230.91 F g^{-1}	5 mVs^{-1}	84.4%, 5000 cycles	[174]
3	Ag-MWCNT	Fabrication	4 M LiCl	30.5 F cm^{-3}	10 mV s^{-1}	96.9%, 3000 cycles	[175]
4	Ag-mesoporous carbon-based electrodes	Atmospheric pressure chemical vapour deposition (AP-CVD) and solvent evaporation-induced self-assembly (EISA)	6 M KOH	213 F g^{-1}	0.1 V s^{-1}	90%, 10000 cycles	[176]
5	pAg/GCE	Modified sol gel approach	4 M KOH	224.0 Fg^{-1}	17.6 kW kg^{-1} and 31.0 Wh kg^{-1}	91.3%, 1000 cycles	[177]
6	Au-MWCNT	Solution method	3 M KOH	105 F g^{-1}	0.8 A g^{-1}	–	[178]
7	Graphene-gold nanocomposites	Chemical method	1 M KOH	100 and 500 F g^{-1}	5–500 mV s^{-1}	90%, 600 cycle	[179]
8	RGO-AuNPs	Electrodeposition process	1 M Na_2SO_4	288 F g^{-1}	28 A g^{-1}	–	[180]
9	Au/paper/graphite electrodes	Fabrication	2 M Na_2SO_4	790 mF cm^{-2}	5 mV s^{-1}	5000 cycles	[181]
10	PtNP-RGO composites	γ -ray irradiation	1 M Na_2SO_4	154 F g^{-1}	0.1 A g^{-1}	72.3%, 20 A g^{-1}	[182]
11	Graphene/Pt films	Electrochemical	1 M Na_2SO_4	249 F g^{-1}	0.1 A g^{-1}	40000 cycles	[183]
12	Platinum-carbon nanoonions (Pt–CNOs)	–	0.5 M H_2SO_4	342.5 F g^{-1}	100 mV s^{-1}	–	[184]
N ^o	Material	Synthesis method	Electrolyte	Specific capacitance/ volumetric capacitance	Scan rate/ current density	Capacity retention	Ref.
13	$\text{Ru}_2\text{O}/\text{MC}$ composites/ruthenium/mesoporous carbon (Ru/MC)	Microwave-assisted glycol reduction method	6 m KOH	287 F g^{-1}	2 mV s^{-1}	93.3%, 1000 cycles	[185]
14	C_{60}/Pd films	Electrochemical reduction	0.10 M organic compound	300 F g^{-1}	50 mV s^{-1}	–	[186]
15	ALD RuOx-CNT	Atomic layer deposition (ALD)	0.5 M H_2SO_4	644 F g^{-1}	20 V s^{-1}	81%, 1500 cycles	[187]

on the ZnSb_2O_6 nanorods [146]. The electrode material showed pseudocapacitance with an SC of 165.9 F g^{-1} at a CD of 1.0 A g^{-1} . The superior pseudocapacitive properties were attributed to the easy access to electrolyte ions and their unique structure.

Despite its high cost, gold is one of the most common metals used in electrode systems due to its flexibility, high conductivity, specific capacitance and stability. One of the most common ways to fabricate high-power and energy-density supercapacitors is to coat gold or other conducting metals on transition metal oxides. Au-doped MnO_2 films synthesized by doping gold into λ - MnO_2 nanocrystals through sputtering show an ultrahigh SC of 626 F g^{-1} at an SR of 5 mV s^{-1} with outstanding cycling stability, i.e., a 7% increase after 15000 cycles. The MnO_2 was physically deposited with Au atoms, as a consequence, the Au-doped MnO_2 electrodes were remarkable stability under voltammetric cycling and enhanced electronic conductivity (high energy density). The Au is mainly responsible for good ionic contact and low internal resistance in Au-doped MnO_2 supercapacitors. As a result, the enhance redox reactions for the high specific capacitance of pure MnO_2 in aqueous electrolyte, even at high scan rates. Additionally, the Au influence the structural changes of nanoparticles. The precious metals are main responsible for the enhancement of high specific capacitance, impressive cycle retention, flexibility, high conductivity, specific capacitance and stability for supercapacitors. In addition to this, they develop good ionic contact and low internal resistance. These properties promote the high mobility of electrons in the REDOX reactions of pseudo-capacitors.

The FESEM images and Nyquist plots of the above nanocrystals are shown in Figs. 3 and 4, respectively [134]. Xu and his team invented a highly flexible asymmetric nanoporous hybrid architecture using a flexible nanoporous gold- MnO_2 composite [145]. The material exhibited good flexibility, high capacitance and high energy density. Si et al. introduced a new concept of flexible, all-solid-state

microsupercapacitors based on MnOx/Au multilayer electrodes; these microsupercapacitors yielded power and energy densities of up to 3.44 W cm^{-3} and 1.75 mWh cm^{-3} , respectively [144]. ZnSb_2O_6 nanorods are prepared related to the following steps: firstly, the Zn^{2+} ions are formed in double-distilled water from the Zn salts; secondly, the Zn^{2+} ions in double-distilled water with mixed SbCl_3 to form the Sb^{3+} ions; finally, the reaction mixture was stridden for 2 h to form the ZnSb_2O_6 nanorods. Ag-anchored ZnSb_2O_6 nanostructures were prepared related to the following steps: the ZnSb_2O_6 nanorods are re-dispersed in double-distilled water through the ultrasonication; next, the formed mixture was treated with AgNO_3 by the reduction using NaBH_4 ; as a result, the Ag-anchored ZnSb_2O_6 nanostructures were formed [134].

It was prepared a hybrid device based on a $\text{MnO}_2/\text{Au}/\text{MnO}_2$ -nanospine electrode synthesized via a low-voltage anodization process, which yielded an appreciable specific energy ($1.75 \times 10^{-3} \text{ Wh cm}^{-3}$) and capacitance [143]. The synthesis of nanosized MnO_2 spines on Au stems by electrochemical deposition for use as electrode materials was also reported [142]. Dai et al. adopted a two-step procedure to prepare MnO_2 nanorod-Au nanoparticle composites that exhibited excellent stability and higher capacitance retention (91.3%) [162]. Hu et al. electrodeposited MnO_2/Au nanofilms from $\text{KMnO}_4/\text{AuCl}_3$ aqueous solution using a potentiostat method that exhibited a specific capacitance of up to 1230 F cm^{-3} at 20 mV s^{-1} [161]. Qiu et al. synthesized a unique gold-manganese oxide nanomesh structure using a combination of lithography and electrodeposition. Schematic diagrams of the fabrication process (Fig. 5), SEM and TEM microphotographs are indicated in Figs. 6 and 7, respectively [160]. Monodispersed dumbbell-like $\text{Au-Fe}_3\text{O}_4$ nanostructures were prepared as electrode materials and exhibited size-dependent capacitive behaviour, leading to a specific capacitance of up to 464 F g^{-1} at a scan rate of 1 A g^{-1} after 1000 cycles with 7–14 nm-sized $\text{Au-Fe}_3\text{O}_4$ particles [158].

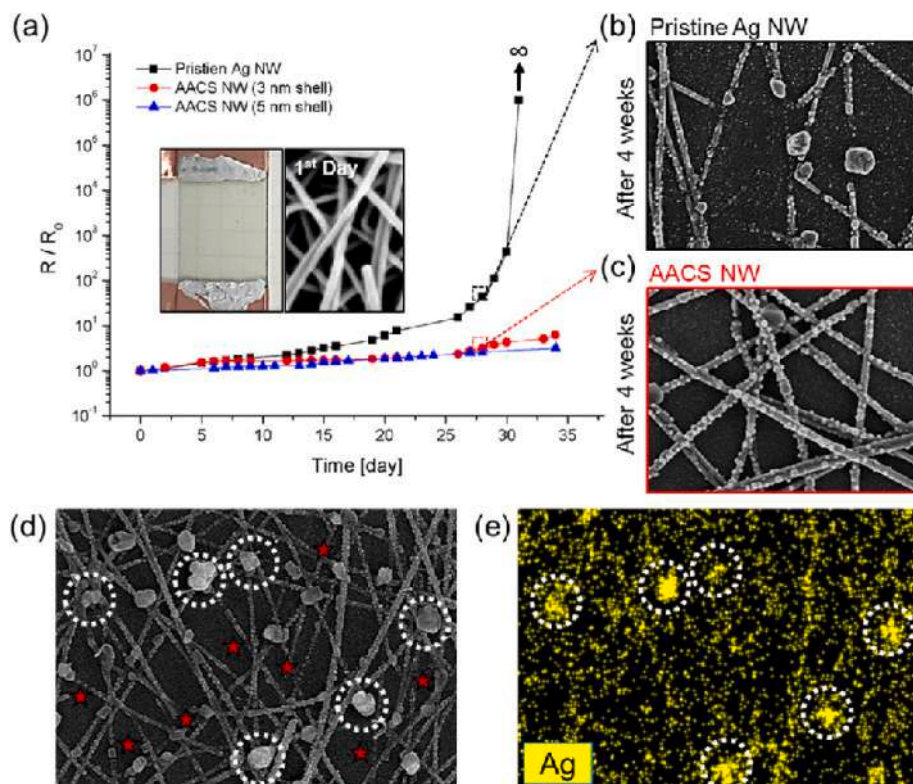


Fig. 8. Electrical properties of AgNW and Ag–Au core–shell NW supercapacitors: (a) correlation between the electrical performance and time; pictures of (b) pristine AgNWs and (c) Ag–Au core–shell NWs; (d) SEM picture and the (e) corresponding EDS results of AgNW (reprint with permission from Ref. [118], ©2016 American Chemical Society).

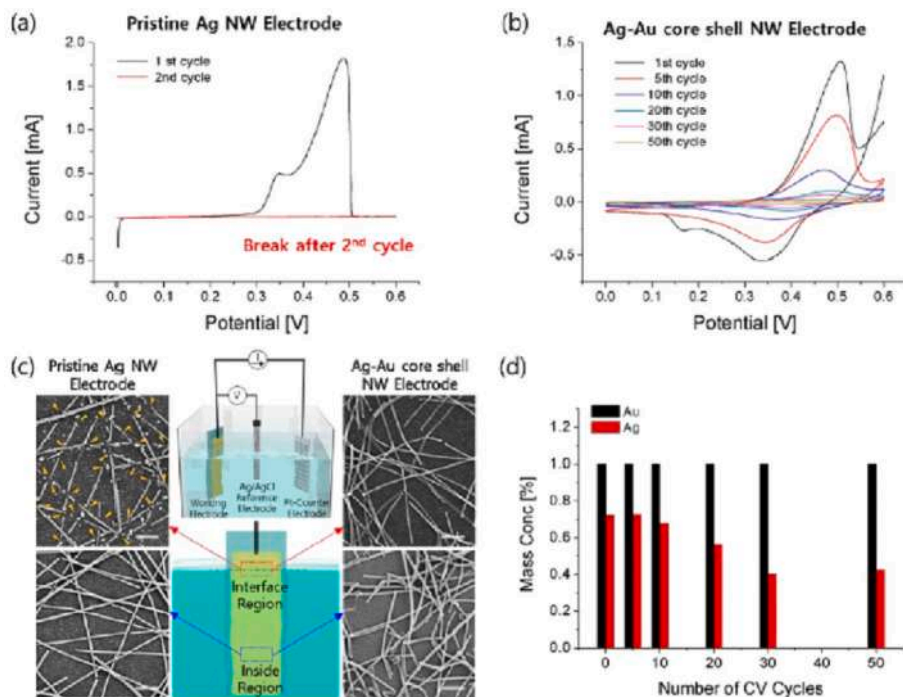


Fig. 9. Stability testing results: (a) cyclic voltammetry plots of AgNWs electrodes; (b) cyclic voltammetry plots of Ag–Au core–shell NW electrodes; (c) SEM pictures of AgNWs electrodes after cyclic voltammetry analysis; (d) SEM pictures of Ag–Au core–shell NW electrodes after cyclic voltammetry analysis (reprint with permission from Ref. [118], ©2016 American Chemical Society).

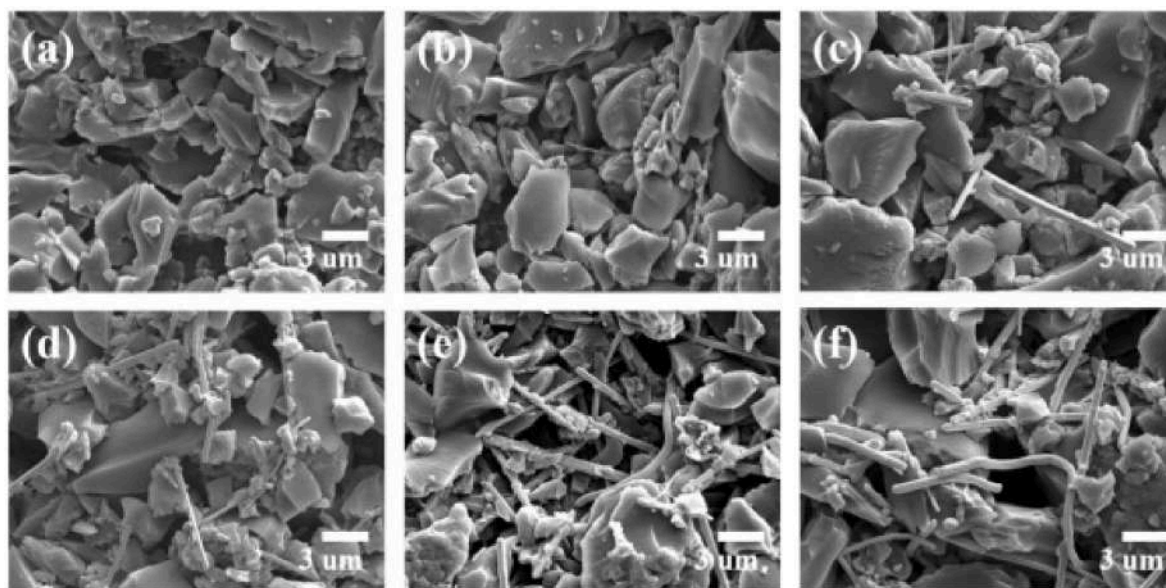


Fig. 10. FESEM pictures of Ag and Au doped carbon electrodes: (a) Undoped and doped with (f) 1.0 wt%, (e) 0.8 wt%, (d) 0.5 wt%, (c) 0.3 wt% and (b) 0.1 wt% AgNWs (reprint with permission from Ref. [120], ©2017 Elsevier).

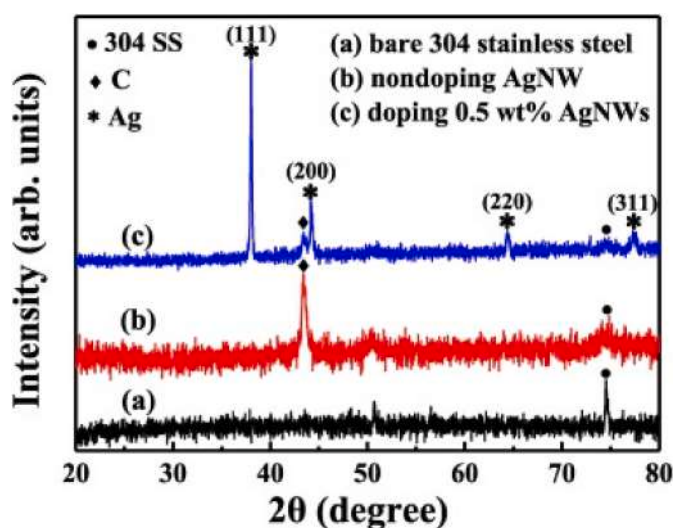


Fig. 11. XRD results of thin-film electrodes: (c) material doped with 0.5 wt% AgNWs; (b) undoped material; (a) bare 304 stainless steel (reprint with permission from Ref. [120], ©2017 Elsevier).

Xu et al. synthesized Au–AgO-based nanoporous composites with ligament channel sizes of 10 nm via an electrochemical partial dealloying stripping method that exhibited highly appreciable cyclic rotation [159]. It was prepared novel mesoporous NiCo_2O_4 –Au nanotubes with hollow cores using the electrospinning method followed by calcination. The specific capacitance of the material was found to be up to 1013.5 F g^{-1} with a cycling stability of 85.13% after 10000 cycles [115, 163]. Kim et al. deposited Au nanoparticles onto Ni(OH)_2 and compared the composite with pure Ni(OH)_2 as an electrode material for supercapacitors [157]. Au/ Ni(OH)_2 showed the SC of 1927 F g^{-1} at 1 A g^{-1} . Additionally, cycling stabilities of 66% and 80% were observed after 5000 cycles at 20 A g^{-1} , which were quite superior to those of untreated Ni(OH)_2 [156,164]. The electrode revealed a volumetric capacitance of 2223 F cm^{-3} at a CD of 5 A g^{-1} along with a CR of 90% after 30000 cycles at 500 A g^{-1} [165].

RuO_2 has been extensively studied as a noble metal electrode

material for supercapacitors due to its excellent SC, well-defined redox property, reversibility, high electric conductance and long cycle life. Juodkakis et al. theoretically calculated the capacitance of ruthenium metal at approximately 3800 F g^{-1} after oxidation by water, suggesting Ru as a favourable electrode material for supercapacitors [155]. An et al. prepared Ru– RuO_2 composites (Nb-doped TiO_2 nanofibres) using electrospinning and impregnation methods with a high-rate capacitance of 5 mV s^{-1} and a specific capacitance of 496.3 F g^{-1} [153,166].

Pt demonstrates suitable redox, non-corrosiveness and durability at 5.6 eV, making it suitable as an excellent electrode material. The Pt present in composites improves the conductivity of electrons and ions, which results in high reversible capacitance at a high rate. Choi et al. fabricated a high-rate redox supercapacitor using hydrous RuO_2 -coated Pt fibremat composites as electrode materials; this supercapacitor exhibited a high SC of 409.4 F g^{-1} with a retention of 78.6% from 10 to 1000 mV s^{-1} [154]. Ahn and his team invented a microelectrochemical capacitor using a Pt– Co_3O_4 nanostructure prepared by a cosputtering system that exhibited a capacitance of 391.6 F cm^{-3} at an SR of 100 mV s^{-1} along with excellent high-rate performance [167,168].

Electrode materials with two noble metals together may significantly enhance the performance of supercapacitors due to their SC, conductance and cycling stability. For instance, Ag-doped RuO_2 composites synthesized using radio frequency magnetron cosputtering exhibit a much higher specific capacitance of $\sim 1306.0 \text{ F cm}^{-3}$ at 200 mV s^{-1} SR compared to a pure RuO_2 electrode [7,169]. The electrodeposition of thin-layer alloys of Pd with Pt, Au, or Rh have been synthesized by Czerwinski and coworkers using a hydrogen electrosorption method; these materials exhibited a good SC of approximately 4500 F g^{-1} , a power of up to 750 W g^{-1} and a specific energy of approximately 150 J g^{-1} [151,152]. Lee et al. reported a simple way to prepare Ag–Au core-shell nanowires that exhibited outstanding electrical conductivity and excellent stability [170,171]. Additionally, the doping of Ag enhanced the chemical and electrochemical stabilities of unmodified Ag nanowires.

3.3. Noble metal–carbon-based composites

Carbon materials such as graphite, graphenes, and carbon nanotubes are widely applied as electrode materials with noble metals, such as Ag, Au, Pt, Pd, Cu, Ir, Os, and Ru, due to their electrical conductivity, wide

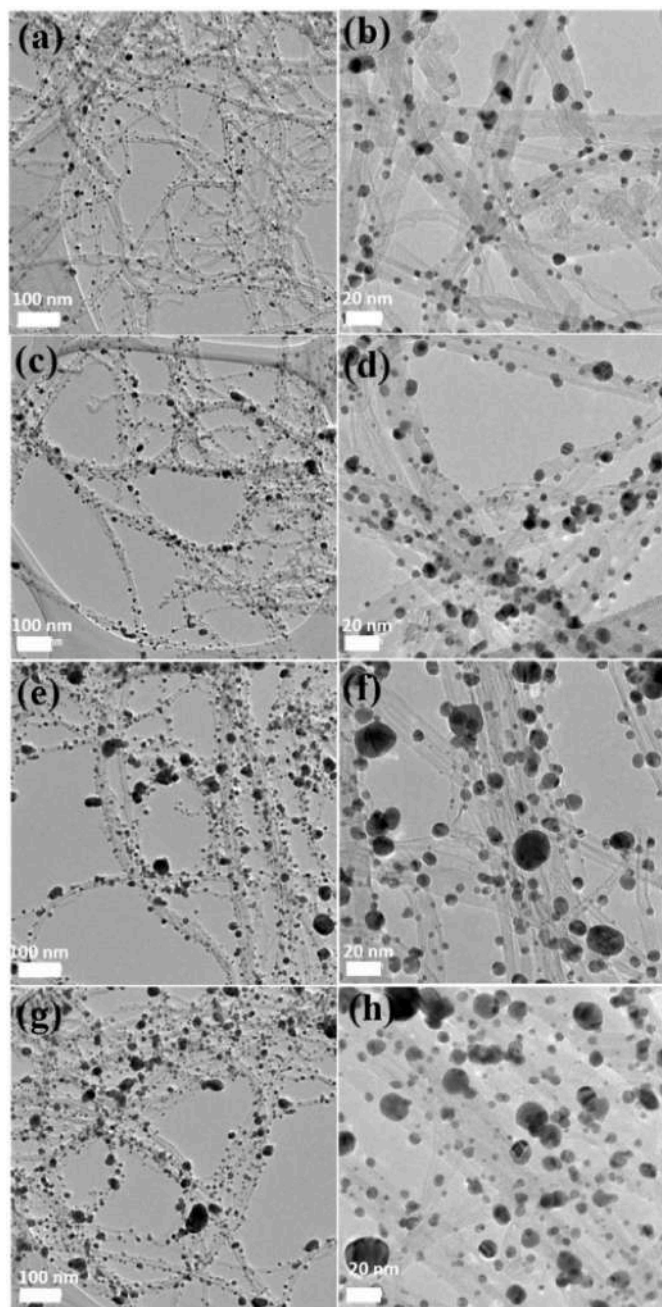


Fig. 12. HRTEM pictures of (g, h) 40 wt% Au-MWCNT, (e, f) 20 wt% Au-MWCNT, and (c, d) 10 wt% Au-MWCNT and (a, b) 5 wt% Au-MWCNT (reprint with permission from Ref. [124], ©2015 Elsevier).

surface area, cycling stability and simple and cost-effective preparation methods. Kim et al. synthesized Ag/CNF metal-carbon electrodes and showed a power density of 1.2 W m^{-2} , an energy density of 61 m Wh m^{-2} , a high capacitance of $\sim 31 \text{ mF cm}^{-2}$ and a good cycling performance with $\sim 100\%$ retention after 10000 cycles; these results are attributed to the highly conductive Ag/CNF composite core structure [115,172,173]. The capacitance and capacity retention of noble metal-carbon composite electrode materials are listed in Table 3.

Huang et al. used active carbon doped with a silver nanowire electrode paste to enhance the performance of supercapacitors by using the ultrasonic spray coating method. The investigation showed that the sheet resistance decreased significantly from 118.77 to $35.10 \text{ k}\Omega\text{-sq}^{-1}$ (undoped to the doped electrode), and the charge transfer resistance decreased by 35.5% . At an SR of 5 mV s^{-1} the SC increased from 186.90

(undoped electrode) to 230.91 F g^{-1} (doped electrode) [188]. The SEM-EDS microphotographs and electrochemical stability test images of the nanowires are shown in Figs. 8 and 9, respectively [174]. Wang et al. synthesized a highly conductive pattern with Ag-MWCNT-based ink in an inkjet printer. The supercapacitors exhibited a 96.9% retention ratio after 3000 cycles, and also showed excellent supercapacitance at 96 mW cm^{-3} [175]. It is prepared new 1D Ag nanowires and 3D graphene electrodes for supercapacitors that exhibited a high power density of 5040 W kg^{-1} , high energy density of 4.5 Wh kg^{-1} and retention capacitance of 90% for over 10000 cycles. The various FESEM images and XRD patterns of the Ag nanowires are shown in Figs. 10 and 11, respectively [176]. Naikoo et al. prepared a pAg/GCE (pAg-modified glassy carbon electrode) [177], and Chaudhari et al. prepared a gold-MWCNT electrode for use in a supercapacitor through the solution method, and this material exhibited excellent stability and a good current density [178,189].

Graphene-Au-based composites were prepared chemically using gamma radiation exhibited a capacity retention of 90% after 600 cycles and an SC of 100 and 500 F g^{-1} at SRs of $5\text{--}500 \text{ mVs}^{-1}$ [179]. Yu et al. prepared an RGO-AuNP-based electrode that was applied in a supercapacitor, and this electrode showed good capacitance (288 F g^{-1}). The HRTEM images, histograms and cyclic voltammograms of the nano-composites are systematically shown in Figs. 12–14, respectively [180]. Mandal et al. synthesized a supercapacitor using gold nanoparticles embedded on graphite electrodes, which showed a high volumetric energy density and power density along with an SC of 790 mF cm^{-2} at an SR of 5 mV s^{-1} [181]. PtNP-RGO, graphene/Pt films and Pt-CNOs (platinum-carbon nanooxides) have been successfully prepared and applied as supercapacitors. These Pt-carbon-based composites exhibit SC values of 154 F g^{-1} , 249 F g^{-1} and 342.5 F g^{-1} at particular scan rates with excellent cyclability [182–184]. He et al. prepared Ru-mesoporous carbon (ruthenium/MC) electrode composites for use in supercapacitors [185]. Similarly, Winkler et al. synthesized a C_{60} /palladium film electrode for use in supercapacitors [186], while Warren and coworkers synthesized active RuO_2 -CNTs coated with an ALD electrode for use in supercapacitors [187,190].

3.4. Noble metal-containing ternary composites

The physico-chemical of supercapacitor-based electrodes was improved by using ternary composites due to their advanced performance. Ternary composites can be formed by a combination of noble metal oxides/hydroxides, carbon materials, transition metals and conducting polymers for use in supercapacitors [191,192]. Zeng et al. applied the cathodic reduction method for the deposition of Ag-doped MnO_2 on carbon fibre to obtain advanced electrochemical properties with an SC of 825 F g^{-1} at an SR of 5 mV s^{-1} [130]. The Ag@PANI-PEC ternary system was synthesized by Amaranth and coworkers and showed an SC of 140 F g^{-1} in phosphate-buffered saline at a CD of 1.5 A g^{-1} [193,194]. The capacitance and capacity retention of noble metal-containing ternary composite electrode materials are listed in Table 4. The CNF/Ru-Ag composites synthesized by An et al. using electrospinning and impregnation methods exhibited excellent capacitance and good capacity retention of up to 98.6% [195,196].

Ternary Ag/ MnO_2 /RGO composites were synthesized by Ma et al. from a two-step route in which the noble metal and transition metal oxide were deposited on the RGO surface. The synthesized nano-composites exhibited a capacitance of 467.5 F g^{-1} at an SR of 5 mV s^{-1} [197]. The ZnO-Au-NiO composites prepared by Zheng et al. exhibited a high stability of up to 80.3% after 4000 cycles at a capacitance of 4.1 F cm^{-2} [198]. Ag/ MnO_2 /reduced graphene oxide composites exhibit an SC of 467.5 F g^{-1} at an SR of 5 mVs^{-1} when synthesized in a KOH electrolytic medium [198]. MWCNT/Pd/PANI hybrid have also been prepared, and the SC is calculated to be 920 F g^{-1} at an SR of 2 mV s^{-1} with an excellent stability of up to 87% after 4000 cycles. Fig. 15 represents the schematic SEM images, whereas Fig. 16 shows the EDS, XRD

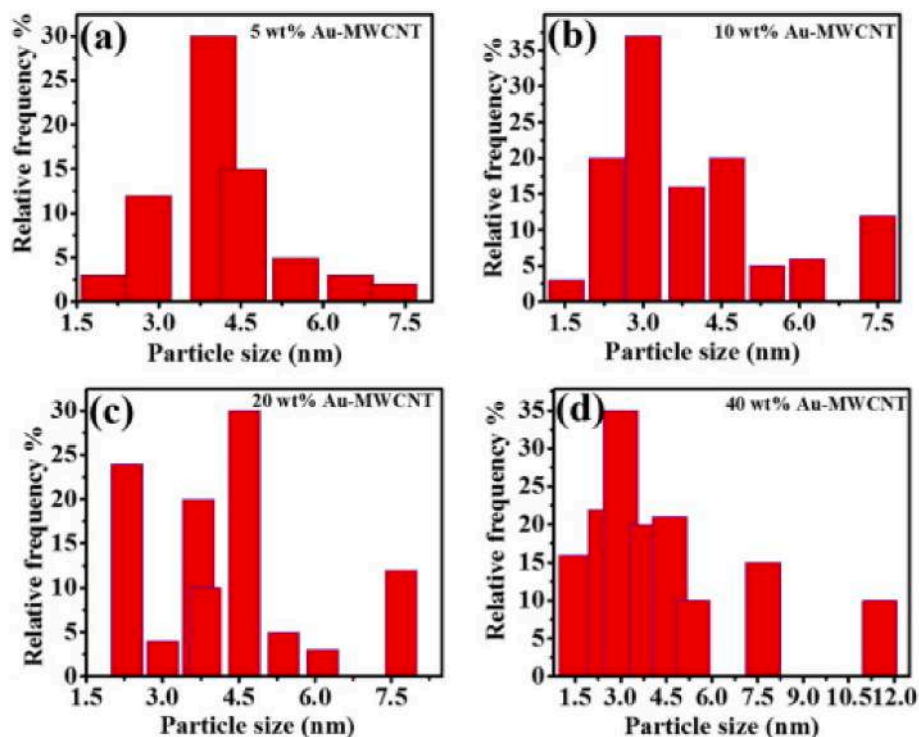


Fig. 13. Effects of the gold nanoparticle size to the Au-MWCNT super capacitor (reprint with permission from Ref. [124], ©2015 Elsevier). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

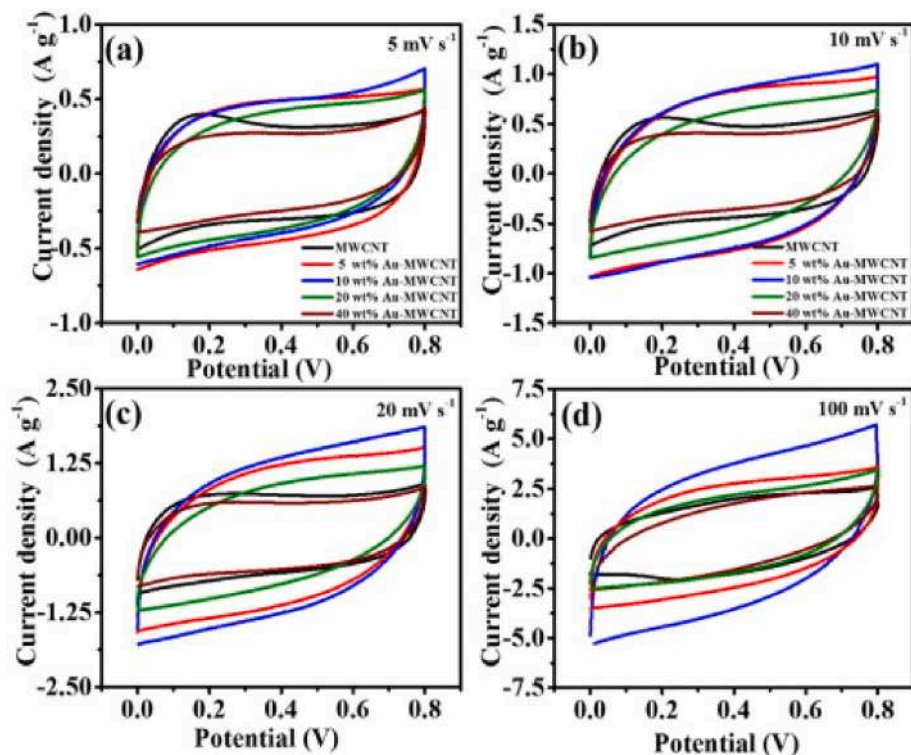


Fig. 14. Cyclic voltammograms of the pristine MWCNT and Au-MWCNT nanocomposites with loadings of 5, 10, 20, and 40 wt% Au recorded at (a) 5 mV s⁻¹, (b) 10 mV s⁻¹, (c) 20 mV s⁻¹ and (d) 100 mV s⁻¹, respectively (reprint with permission from Ref. [124], ©2015 Elsevier).

and TEM images of the synthesized composites [199]. MoO₂/Au/MnO₂ ternary composites prepared via the two-step electrodeposition method demonstrate an SC of 112 mF cm⁻² at an SR of 5 mV s⁻¹ [200]. Similarly, some recent ternary composites (noble metals, metal oxides,

conducting polymers and carbon-based materials) have been extensively reported with improved electrochemical performance when used as supercapacitor electrode materials [183,202,204,206].

Table 4

Capacitance and capacity retention of noble metal-containing ternary composite electrode materials.

N ^o	Material	Synthesis method	Electrolyte	Specific capacitance/ volumetric capacitance	Scan rate/ current density	Capacity retention	Ref.
1	Ag-doped carbon fibrous MnOx	Cathodic reduction method	0.5 M Na ₂ SO ₄	825 F g ⁻¹	5 mV s ⁻¹	~100%, 1000 cycles, 3 A g ⁻¹	[130]
2	Ag@PANI-PEC	Water dispersion method	PBS	140, 290, 144, and 121 F g ⁻¹	1.5 A g ⁻¹	80%, 1000 cycles	[193]
4	CNF composites decorated with Ru-Ag nanophases	Combination of electrospinning and impregnation	0.5 M H ₂ SO ₄	350.0 F g ⁻¹	100 mV s ⁻¹	98.6%	[193]
5	Ag/MnO ₂ /RGO nanocomposites	Two-step route consisting of in situ growth followed by co-reduction	1 M KOH	467.5 F g ⁻¹	5 mV s ⁻¹		[197]
6	ZnO-Au-NiO hybrid composites	Embedding method	1 M H ₂ SO ₄	4.1 F cm ⁻²	5 mA cm ⁻²	80.3%, 4000 cycles	[198]
7	Ag/MnO ₂ /reduced graphene oxide	Chemical reduction	3.0 M KOH	467.5 F g ⁻¹	5 mV s ⁻¹	–	[197]
8	Pd-MWCNT/PANI matrix	Electrochemical reduction	1 M H ₂ SO ₄	920 F g ⁻¹	2 mV s ⁻¹	87.3%, 1000 cycles	[199]
9	Hierarchical MoO ₂ /Au/MnO ₂ heterostructure	Two-step electrodeposition method	0.5 M H ₂ SO ₄	112 mF cm ⁻²	5 mV s ⁻¹		[200]
10	Graphene/Pt films	Electrochemical method	1 M H ₂ SO ₄	120 F g ⁻¹	0.1 A g ⁻¹	~100% (10000 cycles, 50 mV s ⁻¹)	[183]
11	Ag-decorated CeO ₂ /RGO nanocomposite	Facile hydrothermal method	3 M KOH	710.42 F g ⁻¹	0.2 A g ⁻¹	–	[201]
12	MnO ₂ /Pt/carbon nanofibres (CNF)	Electrospinning and co-impregnation methods	0.5 M H ₂ SO ₄	252.3 F g ⁻¹	10 mV s ⁻¹	93.5%, 300 cycles, 10 mV s ⁻¹	[202]
13	Au-MnO ₂ /CNT hybrid coaxial nanotube	Electrodeposition, vacuum infiltration, and CVD	0.1 M Na ₂ SO ₄	68 F g ⁻¹	10 mV s ⁻¹	1000 cycles	[203]
N ^o	Material	Synthesis method	Electrolyte	Specific capacitance/ volumetric capacitance	Scan rate/ current density	Capacity retention	Ref.
14	Pt/CNT@PANI nanowire nanocomposite	Fabrication	PVA/H ₃ PO ₄ gel	91.67 mF cm ⁻²	–	80%, 5000 cycles	[204]
15	Ag-AC/PANI composite	Facile dip coating technique	1 M H ₂ SO ₄	567 F g ⁻¹	5 mV s ⁻¹	87%, 2000 cycles	[205]
16	Novel nanocomposite film of Au-MnO ₂ -graphene	Electrophoretic and electrochemical deposition	0.5 M NaOH	575 F g ⁻¹	2.5 A g ⁻¹	–	[206]
17	WO ₃ -x@Au@MnO ₂ core-shell NWs	Electrochemical method	(PVA)-H ₃ PO ₄	588 F g ⁻¹ 1195 F g ⁻¹	10 mV s ⁻¹ 0.75 A g ⁻¹	5000 cycles, 50 mV s ⁻¹	[207]

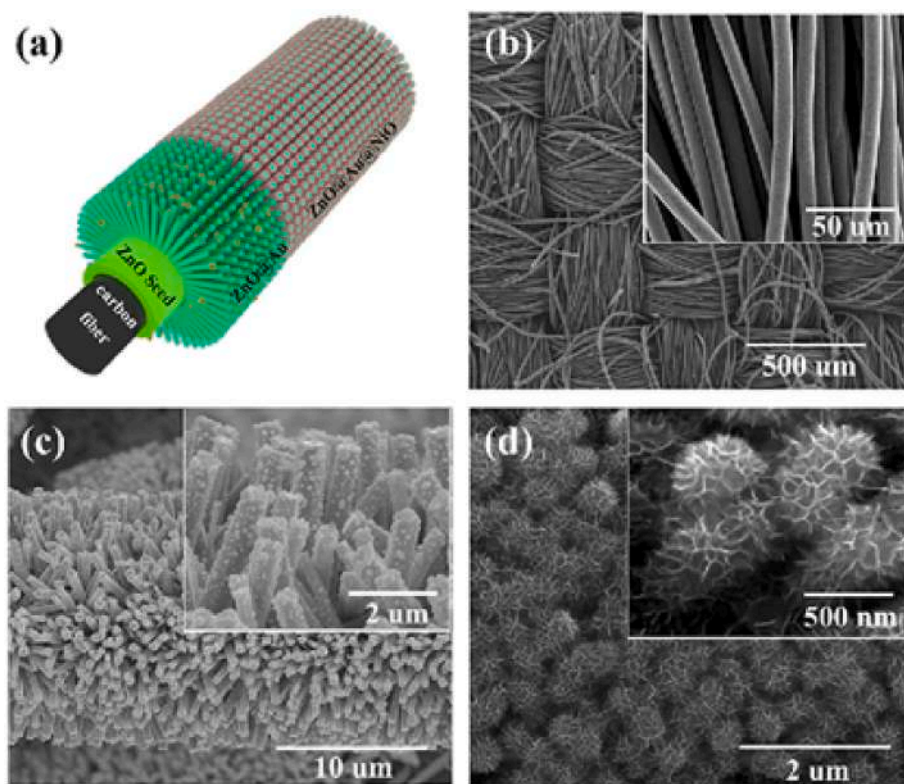


Fig. 15. Preparation of 3D NiO@Au@ZnO hybrid nanostructure: (a) SEM pictures of the carbon modified ZnO nanorods, (b) Au doped ZnO nanorods, (c and d) ZnO-Au-NiO hybrid composites. (reprint with permission from Ref. [138], ©2015 American Chemical Society).

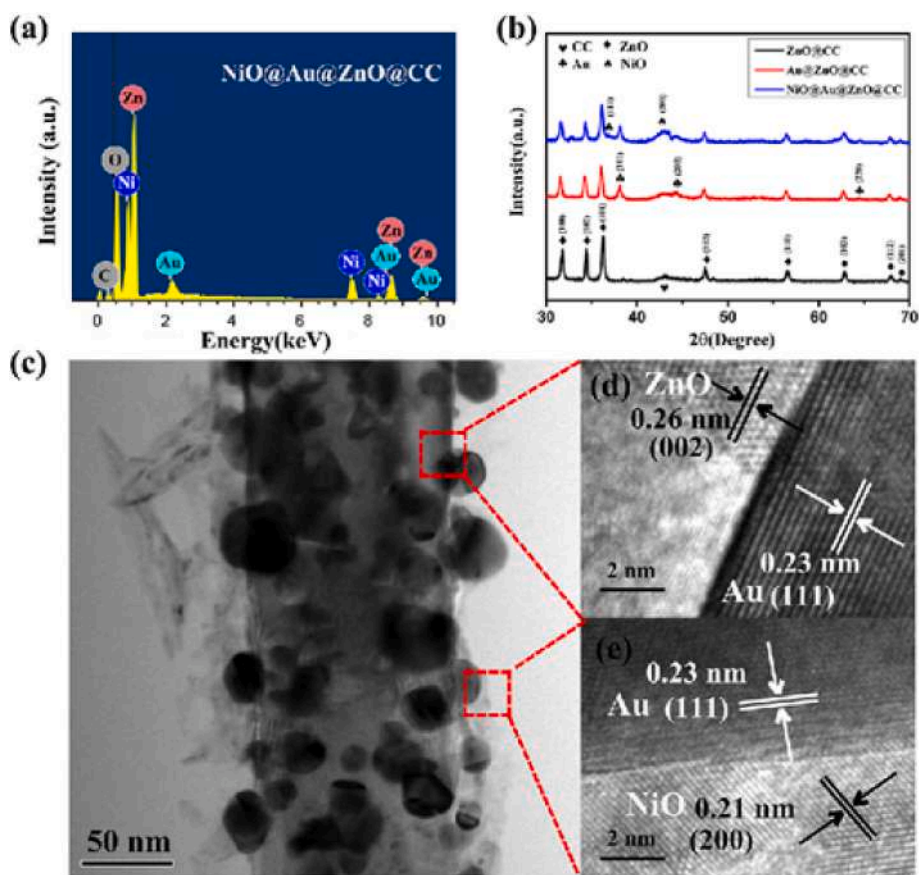


Fig. 16. (a) EDS and (b) XRD results of ZnO@Au@NiO; (c) TEM results of ZnO@Au@NiO and (d and e) their HRTEM pictures (reprint with permission from Ref. [138], ©2015 American Chemical Society).

4. Advantages and disadvantages of noble and transition metal compounds as supercapacitor

Advantages. Noble or transition metal is one of the most common metals used in electrode systems due to its flexibility, high conductivity, specific capacitance and stability. One of the most common ways to fabricate high-power and energy-density supercapacitors is to coat them with noble or transition metal or other conducting metals on transition metal oxides. For example, the MeO_2 was physically deposited with noble or transition metal atoms, as a consequence, the noble or transition metal doped MeO_2 electrodes were remarkable stability under voltammetric cycling and have an enhanced electronic conductivity (high energy density). The noble or transition metal is mainly responsible for good ionic contact and low internal resistance in noble or transition metal-doped MeO_2 supercapacitors. As a result, the enhance redox reactions for the high specific capacitance of pure MeO_2 in aqueous electrolyte, even at high scan rates. Additionally, the noble or transition metal influence the structural changes of nanoparticles. The precious metals are main responsible for the enhancement of high specific capacitance, impressive cycle retention, flexibility, high conductivity, specific capacitance and stability for supercapacitors. In addition to this, they develop good ionic contact and low internal resistance [208–210].

Disadvantages. Noble or transition metal is an expensive material. The recycling process after use is a little difficult. Some components of noble or transition metals are toxic materials. These materials are more reactive, which means that they easily interacted with other chemicals. Therefore, the purification of noble or transition metal compounds required difficult actions [208–210].

5. Future trends and challenges of noble metal materials for supercapacitors

In the near future, the role of noble metal materials in developing supercapacitors is increasing. Because supercapacitors are very important in the electronic industries. The various noble metals, binary composites with transition metals, binary composites with carbon-based materials, and ternary composites containing both transition metals and carbon-based materials will be developed in the supercapacitor electrode materials [211–213]. The new syntheses ways of noble metal materials for supercapacitors based the greenness technology will be developed in the future. The natural and low-cost materials will be transformed with noble materials to create new types of supercapacitors [214]. As a result, the supercapacitors based on transformed noble materials will be environmentally friendly and economically efficient in the electronic industry. The specific capacitance, cycling stability, charge-storage capability, economic efficiency, greenness, life time and productivity of noble metals, binary composites with transition metals, binary composites with carbon-based materials, and ternary composites, nanostructured transition metal oxides based on transition metal hydroxides, pseudocapacitors using noble metals and naturally transformed materials with the noble metals will be developed in the future.

6. Conclusion and future scope

Conclusion. Electronic energy storage devices are very important in various electronic applications. Although batteries are high-energy-density devices, they are unable to produce a high power density. On the other hand, supercapacitors have high power densities along with substantial energy densities. Compared to the electric double-layer

capacitor (EDLC), a slightly higher energy density along with a high power density can be obtained with a pseudocapacitor. At present, nanostructured transition metal oxides based on transition metal hydroxides are used as electrode materials. A high energy density can be achieved from pseudocapacitors using noble metals. However, noble metals are quite expensive, and their minimal use in regard to quantity must be assured while achieving the best performance, which is realized with nanocomposites due to their high surface-to-volume ratio. In the application of a noble metal along with a transition metal, carbon material, conducting polymer or a blend of the above as ternary composites, the supercapacitor electrode can result in a significantly improved specific capacitance, cycling stability and charge-storage capability of the device by refining the electrical conductivity and forming electron transfer channels during charge–discharge cycling. From the above discussion, it can also be seen that the pseudocapacitance activity is affected by the shape, size, morphology and composition of the electrode material. The goal for the development of a device with both a high energy density and high power density is close when using noble metal composites; however, it has yet to be achieved. Therefore, research related to noble metal capacitance needs to continue.

Future scope. The role of noble metals in supercapacitors is increasing importantly and it would be more important in the electronics industry. This is due to their high-energy capacitance. The properties of noble metals based supercapacitors would be enhanced by the various modifications with the nanomaterials, carbon dots, natural compounds and polymers. The future batteries would be designed with noble metals based supercapacitors to achieve super energy capacitors. The discussion results of this review would be good motivations for the development of the role of noble metals in supercapacitors in future. The researchers in electronic industries would use this review to develop supercapacitors.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

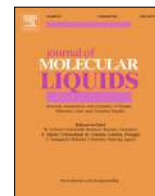
- [1] Y. Ge, Z. Shi, C. Tan, Y. Chen, H. Cheng, Q. He, H. Zhang, Two-dimensional nanomaterials with unconventional phases, *Chem* 6 (6) (2020) 1237–1253.
- [2] H. Yoon, J. Yang, S. Park, Y. Sohn, Thermal CO oxidation and photocatalytic CO₂ reduction over bare and M-Al₂O₃ (M = Co, Ni, Cu, Rh, Pd, Ag, Ir, Pt, and Au) cotton-like nanosheets, *Nanomaterials* 11 (2021) 1278.
- [3] B. Zhang, Z. Peng, L. Song, X. Wu, X. Fu, Computational screening toward quantum capacitance of transition-metal and vacancy doped/co-doped graphene as electrode of supercapacitors, *Electrochim. Acta* (2021), 138432.
- [4] P. Makkar, N.N. Ghosh, High-performance all-solid-state flexible asymmetric supercapacitor device based on a Ag–Ni nanoparticle-decorated reduced graphene oxide nanocomposite as an advanced cathode material, *Ind. Eng. Chem. Res.* 60 (2021) 1666–1674.
- [5] S. Kumar, S. Sharma, R. Karmaker, D. Sinha, DFT study on the structural, optical and electronic properties of platinum group doped graphene, *Mater. Today Commun.* 26 (2021), 101755.
- [6] N.L. Reddy, V.N. Rao, M. Vijayakumar, R. Santhosh, S. Anandan, M. Karthik, M. V. Shankar, K.R. Reddy, N.P. Shetti, M.N. Nadagouda, A review on frontiers in plasmonic nano-photocatalysts for hydrogen production, *Int. J. Hydrogen Energy* 44 (2019) 10453–10472.
- [7] D. Nandi, V.B. Mohan, A.K. Bhowmick, D. Bhattacharyya, Metal/metal oxide decorated graphene synthesis and application as supercapacitor: a review, *J. Mater. Sci.* 55 (2020) 6375–6400.
- [8] V. Augustyn, P. Simon, B. Dunn, Pseudocapacitive oxide materials for high-rate electrochemical energy storage, *Energy & Environ. Sci.* 7 (2014) 1597–1614.
- [9] S.B. Aziz, E. Dannoun, M.H. Hamsan, H.O. Ghareeb, M.M. Nofal, W.O. Karim, A. S.F.M. Asnawi, J.M. Hadi, M.F.Z.A. Kadir, A polymer blend electrolyte based on CS with enhanced ion transport and electrochemical properties for electrical double layer capacitor applications, *Polymers (Basel)* 13 (2021) 930.
- [10] S.B. Aziz, M.H. Hamsan, M. M Nofal, W.O. Karim, I. Brevik, M. Brza, R. T. Abdulwahid, S. Al-Zangana, M.F.Z. Kadir, Structural, impedance and electrochemical characteristics of electrical double layer capacitor devices based on chitosan: dextran biopolymer blend electrolytes, *Polymers (Basel)* 12 (2020) 1411.
- [11] S.B. Aziz, J.M. Hadi, E. Dannoun, R.T. Abdulwahid, S.R. Saeed, A. Shahab Marf, W.O. Karim, M.F.Z. Kadir, The study of plasticized amorphous biopolymer blend electrolytes based on polyvinyl alcohol (PVA): chitosan with high ion conductivity for energy storage electrical double-layer capacitors (EDLC) device application, *Polymers (Basel)* 12 (2020) 1938.
- [12] A.F. Holleman, E. Wieberg, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, Walter de Gruyter, Berlin Und New York, 1985.
- [13] Y. Wang, I. Zhitomirsky, Cathodic electrodeposition of Ag-doped manganese dioxide films for electrodes of electrochemical supercapacitors, *Mater. Lett.* 65 (2011) 1759–1761.
- [14] H. Xia, C. Hong, X. Shi, B. Li, G. Yuan, Q. Yao, J. Xie, Hierarchical heterostructures of Ag nanoparticles decorated MnO₂ nanowires as promising electrodes for supercapacitors, *J. Mater. Chem. A* 3 (2015) 1216–1221.
- [15] R. Li, X. Liu, H. Wang, Y. Wu, Z.P. Lu, Development of electrochemical supercapacitors with uniform nanoporous silver network, *Electrochim. Acta* 182 (2015) 224–229.
- [16] R. Kötz, M. Carlen, Principles and applications of electrochemical capacitors, *Electrochim. Acta* 45 (2000) 2483–2498.
- [17] G. Wang, L. Zhang, J. Zhang, A review of electrode materials for electrochemical supercapacitors, *Chem. Soc. Rev.* 41 (2012) 797–828.
- [18] H. Schranger, F. Barzegar, Q. Abbas, Hybrid electrochemical capacitors in aqueous electrolytes: challenges and prospects, *Curr. Opin. Electrochem.* 21 (2020) 167–174.
- [19] R. Bogdanowicz, A. Dettlaff, F. Skiba, K. Trzcinski, M. Szkoda, M. Sobaszek, M. Ficek, B. Dec, L. Macewicz, K. Wyrebski, Enhanced charge storage mechanism and long-term cycling stability in diamondized titania nanocomposite supercapacitors operating in aqueous electrolytes, *J. Phys. Chem. C* 124 (2020) 15698–15712.
- [20] A.G. Pandolfo, A.F. Hollenkamp, Carbon properties and their role in supercapacitors, *J. Power Sources* 157 (2006) 11–27.
- [21] A. González, E. Goikolea, J.A. Barrena, R. Mysyk, Review on supercapacitors: technologies and materials, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 58 (2016) 1189–1206.
- [22] Q. Wang, J. Li, D. Wang, J. Niu, P. Du, J. Liu, P. Liu, Enhanced electrochemical performance of polyaniline-based electrode for supercapacitors in mixed aqueous electrolyte, *Electrochim. Acta* 349 (2020), 136348.
- [23] M.Z. Iqbal, S. Zakar, S.S. Haider, Role of aqueous electrolytes on the performance of electrochemical energy storage device, *J. Electroanal. Chem.* 858 (2020), 113793.
- [24] W. Qin, N. Zhou, C. Wu, M. Xie, H. Sun, Y. Guo, L. Pan, Mini-review on the redox additives in aqueous electrolyte for high performance supercapacitors, *ACS Omega* 5 (2020) 3801–3808.
- [25] Z. Yue, H. Dunya, M. Ashuri, K. Kucuk, S. Aryal, S. Antonov, B. Alabbad, C. U. Segre, B.K. Mandal, Synthesis of a very high specific surface area active carbon and its electrical double-layer capacitor properties in organic electrolytes, *ChemEngineering* 4 (2020) 43.
- [26] Z. Chen, X. Wang, Z. Ding, Q. Wei, Z. Wang, X. Yang, J. Qiu, Biomass-based hierarchical porous carbon for supercapacitors: effect of aqueous and organic electrolytes on the electrochemical performance, *ChemSusChem* 12 (2019) 5099–5110.
- [27] S.Z. Golkhatmi, A. Sedghi, H.N. Miankushki, M. Khalaj, Structural properties and supercapacitive performance evaluation of the nickel oxide/graphene/polypyrrole hybrid ternary nanocomposite in aqueous and organic electrolytes, *Energy* 214 (2021), 118950.
- [28] Y. Niu, J. Niu, Y. Ma, L. Zhi, Rational design of viologen redox additives for high-performance supercapacitors with organic electrolytes, *Sci. China Mater.* 64 (2021) 329–338.
- [29] Y. Wu, J.-P. Cao, Z. Zhou, X.-Y. Zhao, Q.-Q. Zhuang, Y.-L. Wei, M. Zhao, Y.-P. Zhao, H.-C. Bai, Transforming waste sugar solution into N-doped hierarchical porous carbon for high performance supercapacitors in aqueous electrolytes and ionic liquid, *Int. J. Hydrogen Energy* 45 (2020) 31367–31379.
- [30] H. Shim, Ö. Budak, V. Haug, M. Widmaier, V. Presser, Comparison of organic electrolytes at various temperatures for 2.8 V–Li-ion hybrid supercapacitors, *Electrochim. Acta* 337 (2020), 135760.
- [31] H. Ohno, K. Fukumoto, Progress in ionic liquids for electrochemical reaction matrices, *Electrochemistry* 76 (2008) 16–23.
- [32] G.A. Snook, P. Kao, A.S. Best, Conducting-polymer-based supercapacitor devices and electrodes, *J. Power Sources* 196 (2011) 1–12.
- [33] M. Galiński, A. Lewandowski, I. Stępekniak, Ionic liquids as electrolytes, *Electrochim. Acta* 51 (2006) 5567–5580.
- [34] S. Pan, M. Yao, J. Zhang, B. Li, C. Xing, X. Song, P. Su, H. Zhang, Recognition of ionic liquids as high-voltage electrolytes for supercapacitors, *Front. Chem.* 8 (2020) 261.
- [35] P.F.R. Ortega, G.A. dos Santos Jr., J.P.C. Trigueiro, G.G. Silva, N. Quintanal, C. Blanco, R.L. Lavall, R. Santamaría, Insights on the behavior of imidazolium ionic liquids as electrolytes in carbon-based supercapacitors: an applied electrochemical approach, *J. Phys. Chem. C* 124 (2020) 15818–15830.
- [36] Y.-H. Liu, S.-C. Lan, C. Zhu, S.-H. Lin, Intersystem crossing pathway in quinoline-pyrazole isomerism: a time-dependent density functional theory study on excited-state intramolecular proton transfer, *J. Phys. Chem. A* 119 (2015) 6269–6274.
- [37] C. Largeot, C. Portet, J. Chmiola, P.-L. Taberna, Y. Gogotsi, P. Simon, Relation between the ion size and pore size for an electric double-layer capacitor, *J. Am. Chem. Soc.* 130 (2008) 2730–2731.
- [38] J. Garche, C.K. Dyer, P.T. Moseley, Z. Ogumi, D.A.J. Rand, B. Scrosati, *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, Newnes, 2013.
- [39] A. Lewandowski, M. Galiński, Carbon-ionic liquid double-layer capacitors, *J. Phys. Chem. Solids* 65 (2004) 281–286.

- [40] N.C. Osti, E. Mamontov, Microscopic dynamics in room-temperature ionic liquids confined in materials for supercapacitor applications, *Sustain. Energy Fuels* 4 (2020) 1554–1576.
- [41] A.M. Sampaio, G.F.L. Pereira, M. Salanne, L.J.A. Siqueira, Comparing the performance of sulfonium and phosphonium ionic liquids as electrolytes for supercapacitors by molecular dynamics simulations, *Electrochim. Acta* 364 (2020), 137181.
- [42] L. Miao, Z. Song, D. Zhu, L. Li, L. Gan, M. Liu, Ionic Liquids for Supercapacitive Energy Storage: A Mini-Review, *Energy & Fuels*, 2021.
- [43] Y. Zhang, H. Feng, X. Wu, L. Wang, A. Zhang, T. Xia, H. Dong, X. Li, L. Zhang, Progress of electrochemical capacitor electrode materials: a review, *Int. J. Hydrogen Energy* 34 (2009) 4889–4899.
- [44] K. Wang, H. Wu, Y. Meng, Z. Wei, Conducting polymer nanowire arrays for high performance supercapacitors, *Small* 10 (2014) 14–31.
- [45] S. Liu, S. Sun, X.-Z. You, Inorganic nanostructured materials for high performance electrochemical supercapacitors, *Nanoscale* 6 (2014) 2037–2045.
- [46] Y. Slimani, E. Hannachi, Ru-based perovskites/RGO composites for applications in high performance supercapacitors, in: *Hybrid Perovskite Compos. Mater*, Elsevier, 2021, pp. 335–354.
- [47] Y. Guo, Z. Li, Y. Xia, Y. Wei, J. Zhang, Y. Wang, H. He, Facile synthesis of ruthenium nanoparticles capped by graphene and thiols for high-performance supercapacitors, *Electrochim. Acta* 391 (2021), 138990.
- [48] L. Ruiyi, H. Keyang, Y. Yongqiang, Z. Haiyan, L. Zaijun, Atomically dispersed RuO₂-tryptophan functionalized graphene quantum dot-graphene hybrid with double Schottky heterojunctions for high performance flexible supercapacitors, *Chem. Eng. J.* (2021), 130893.
- [49] H. Zhang, X. Han, R. Gan, Z. Guo, Y. Ni, L. Zhang, A facile biotemplate-assisted synthesis of mesoporous V₂O₅ microtubules for high performance asymmetric supercapacitors, *Appl. Surf. Sci.* 511 (2020), 145527.
- [50] M. Fu, Q. Zhuang, Z. Zhu, Z. Zhang, W. Chen, Q. Liu, H. Yu, Facile synthesis of V₂O₅/graphene composites as advanced electrode materials in supercapacitors, *J. Alloys Compd.* 862 (2021), 158006.
- [51] C. Xiong, M. Li, W. Zhao, C. Duan, Y. Ni, Flexible N-Doped reduced graphene oxide/carbon Nanotube-MnO₂ film as a Multifunctional Material for High-Performance supercapacitors, catalysts and sensors, *J. Mater.* 6 (2020) 523–531.
- [52] Y. Zhou, X. Cheng, F. Huang, Z. Sha, Z. Han, J. Chen, W. Yang, Y. Yu, J. Zhang, S. Peng, others, Hierarchically structured electrodes for moldable supercapacitors by synergistically hybridizing vertical graphene nanosheets and MnO₂, *Carbon* N. Y. 172 (2021) 272–282.
- [53] S. Adhikari, S. Selvaraj, S.-H. Ji, D.-H. Kim, Encapsulation of Co₃O₄ nanocone arrays via ultrathin NiO for superior performance asymmetric supercapacitors, *Small* 16 (2020), 2005414.
- [54] H. Liu, K. Moon, J. Li, Y. Xie, J. Liu, Z. Sun, L. Lu, Y. Tang, C.-P. Wong, Laser-oxidized Fe₃O₄ nanoparticles anchored on 3D macroporous graphene flexible electrodes for ultrahigh-energy in-plane hybrid micro-supercapacitors, *Nano Energy* 77 (2020), 105058.
- [55] X. Zeng, L. Zhu, B. Yang, R. Yu, Necklace-like Fe₃O₄ nanoparticle beads on carbon nanotube threads for microwave absorption and supercapacitors, *Mater. & Des.* 189 (2020), 108517.
- [56] W. Fu, E. Zhao, R. Ma, Z. Sun, Y. Yang, M. Sevilla, A.B. Fuertes, A. Magasinski, G. Yushin, Anatase TiO₂ operating in carbon nanopores for high-energy Li-ion hybrid supercapacitors operated at high rates and subzero temperatures, *Adv. Energy Mater.* 10 (2020), 1902993.
- [57] B. Pant, H.R. Pant, M. Park, Fe_{1-x}S Modified TiO₂ NPs embedded carbon nanofiber composite via electrospinning: a Potential electrode material for supercapacitors, *Molecules* 25 (2020) 1075.
- [58] Y. Guo, Z. Zhu, Y. Chen, H. He, X. Li, T. Qin, Y. Wang, High-performance supercapacitors of ruthenium-based nanohybrid compounds, *J. Alloys Compd.* 842 (2020), 155798.
- [59] W.E. Mahmoud, Syntheses and characterization of Ru_xV_{1-x}O₂ (0 ≤ x ≤ 0.05)/graphene nanocomposites for flexible supercapacitors and energy storage devices, *Ceram. Int.* 47 (2021) 30888–30894.
- [60] S. Trasatti, G. Buzzanca, Ruthenium dioxide: a new interesting electrode material. Solid state structure and electrochemical behaviour, *J. Electroanal. Chem. Interfacial Electrochem.* 29 (1971) A1–A5.
- [61] J.P. Zheng, P.J. Cygan, T.R. Jow, Hydrous ruthenium oxide as an electrode material for electrochemical capacitors, *J. Electrochem. Soc.* 142 (1995) 2699.
- [62] B. Hu, C. Xu, M.K. Aslam, Y. Cen, J. Hu, Y. Li, Y. Liu, C. Guo, D. Yu, C. Chen, L-doped V₂O₅-nH₂O@ OAB and flexible Fe₂O₃@ rGO as binder-free thin film electrodes for asymmetric supercapacitors, *Chem. Eng. J.* 389 (2020), 123534.
- [63] T. Cottineau, M. Toupin, T. Delahaye, T. Brousse, D. Bélanger, Nanostructured transition metal oxides for aqueous hybrid electrochemical supercapacitors, *Appl. Phys. A* 82 (2006) 599–606.
- [64] N.-L. Wu, Nanocrystalline oxide supercapacitors, *Mater. Chem. Phys.* 75 (2002) 6–11.
- [65] T. Brousse, D. Bélanger, A hybrid Fe₃O₄ MnO₂ capacitor in mild aqueous electrolyte, *Electrochem. Solid State Lett.* 6 (2003) A244.
- [66] H.Y. Lee, J.B. Goodenough, Supercapacitor behavior with KCl electrolyte, *J. Solid State Chem.* 144 (1999) 220–223.
- [67] M. Toupin, T. Brousse, D. Bélanger, Influence of microstructure on the charge storage properties of chemically synthesized manganese dioxide, *Chem. Mater.* 14 (2002) 3946–3952.
- [68] A.L.M. Reddy, S. Ramaprabhu, Nanocrystalline metal oxides dispersed multilayered carbon nanotubes as supercapacitor electrodes, *J. Phys. Chem. C* 111 (2007) 7727–7734.
- [69] V. Kakani, S. Ramesh, H.M. Yadav, A. Kumar, S. Shinde, S. Sandhu, L.N.D. Quang, H.S. Kim, H.-S. Kim, H. Kim, others, Facile synthesis of CuO/NiO/nitrogen doped rGO by ultrasonication for high performance supercapacitors, *J. Alloys Compd.* 847 (2020), 156411.
- [70] L. Sun, Y. Sun, Q. Fu, C. Pan, Facile preparation of NiO nanoparticles anchored on N/P-codoped 3D carbon nanofibers network for high-performance asymmetric supercapacitors, *J. Alloys Compd.* 888 (2021), 161488.
- [71] C. Guo, Y. Zhang, M. Yin, J. Shi, W. Zhang, X. Wang, Y. Wu, J. Ma, D. Yuan, C. Jia, Co₃O₄@ Co₃S₄ core-shell neuroid network for high cycle-stability hybrid-supercapacitors, *J. Power Sources* 485 (2021), 229315.
- [72] X. Zhang, G. Ma, L. Shui, G. Zhou, X. Wang, Direct growth of oxygen vacancy-enriched Co₃O₄ nanosheets on carbon nanotubes for high-performance supercapacitors, *ACS Appl. Mater. & Interfaces* 13 (2021) 4419–4428.
- [73] N.R. Reddy, M.M. Kumari, M.V. Shankar, K.R. Reddy, S.W. Joo, T. M. Aminabhavi, Photocatalytic hydrogen production from dye contaminated water and electrochemical supercapacitors using carbon nanohorns and TiO₂ nanoflower heterogeneous catalysts, *J. Environ. Manage.* 277 (2021), 111433.
- [74] Y. Qu, X. Tong, C. Yan, Y. Li, Z. Wang, S. Xu, D. Xiong, L. Wang, P.K. Chu, Hierarchical binder-free MnO₂/TiO₂ composite nanostructure on flexible seed graphite felt for high-performance supercapacitors, *Vacuum* 181 (2020), 109648.
- [75] W.G. Pell, B.E. Conway, Peculiarities and requirements of asymmetric capacitor devices based on combination of capacitor and battery-type electrodes, *J. Power Sources* 136 (2004) 334–345.
- [76] G.G. Amatucci, F. Badway, A. Du Pasquier, T. Zheng, An asymmetric hybrid nonaqueous energy storage cell, *J. Electrochem. Soc.* 148 (2001) A930.
- [77] S.J. Patil, D.P. Dubal, D.-W. Lee, Gold nanoparticles decorated rGO-ZnCo₂O₄ nanocomposite: a promising positive electrode for high performance hybrid supercapacitors, *Chem. Eng. J.* 379 (2020), 122211.
- [78] C. Wang, F. Liu, J. Chen, Z. Yuan, C. Liu, X. Zhang, M. Xu, L. Wei, Y. Chen, A graphene-covalent organic framework hybrid for high-performance supercapacitors, *Energy Storage Mater.* 32 (2020) 448–457.
- [79] K. Jayaramulu, M. Horn, A. Schneemann, H. Saini, A. Bakandritsos, V. Ranc, M. Petr, V. Stavila, C. Narayana, B. Scheibe, others, Covalent graphene-MOF hybrids for high-performance asymmetric supercapacitors, *Adv. Mater.* 33 (2021), 2004560.
- [80] S. Zhu, J. Ni, Y. Li, Carbon nanotube-based electrodes for flexible supercapacitors, *Nano Res* 13 (2020) 1825–1841.
- [81] Y.-H. Lai, S. Gupta, C.-H. Hsiao, C.-Y. Lee, N.-H. Tai, Multilayered nickel oxide/carbon nanotube composite paper electrodes for asymmetric supercapacitors, *Electrochim. Acta* 354 (2020), 136744.
- [82] M.Y. Ho, P.S. Khiew, D. Isa, T.K. Tan, W.S. Chiu, C.H. Chia, A review of metal oxide composite electrode materials for electrochemical capacitors, *Nano* 9 (2014), 1430002.
- [83] Y.-L. Chen, Z.-A. Hu, Y.-Q. Chang, H.-W. Wang, Z.-Y. Zhang, Y.-Y. Yang, H.-Y. Wu, Zinc oxide/reduced graphene oxide composites and electrochemical capacitance enhanced by homogeneous incorporation of reduced graphene oxide sheets in zinc oxide matrix, *J. Phys. Chem. C* 115 (2011) 2563–2571.
- [84] L. Yuan, X. Xiao, T. Ding, J. Zhong, X. Zhang, Y. Shen, B. Hu, Y. Huang, J. Zhou, Z. L. Wang, Paper-based supercapacitors for self-powered nanosystems, *Angew. Chem. Int. Ed.* 51 (2012) 4934–4938.
- [85] N. Liu, W. Ma, J. Tao, X. Zhang, J. Su, L. Li, C. Yang, Y. Gao, D. Golberg, Y. Bando, Cable-type supercapacitors of three-dimensional cotton thread based multi-grade nanostructures for wearable energy storage, *Adv. Mater.* 25 (2013) 4925–4931.
- [86] Q. Hao, Y. Yu, D. Zhao, C. Xu, Composites Co₃O₄/Ag with flower-like nanosheets anchored on a porous substrate as a high-performance anode for Li-ion batteries, *J. Mater. Chem. A* 3 (2015) 15944–15950.
- [87] K.-S. Lee, K.J. Lee, Y.S. Kang, T.J. Shin, Y.-E. Sung, D. Ahn, Effects of Ag-embedding on electronic and ionic conductivities of LiMnPO₄ and its performance as a cathode for lithium-ion batteries, *Nanoscale* 7 (2015) 13860–13867.
- [88] S. Li, J. Huang, A nanofibrous silver-nanoparticle/titania/carbon composite as an anode material for lithium ion batteries, *J. Mater. Chem. A* 3 (2015) 4354–4360.
- [89] T.-F. Hsieh, C.-C. Chuang, W.-J. Chen, J.-H. Huang, W.-T. Chen, C.-M. Shu, Hydrous ruthenium dioxide/multi-walled carbon-nanotube/titanium electrodes for supercapacitors, *Carbon* N. Y. 50 (2012) 1740–1747.
- [90] M.-Y. Chung, C.-T. Lo, High-performance binder-free RuO₂/electrospun carbon fiber for supercapacitor electrodes, *Electrochim. Acta* 364 (2020), 137324.
- [91] M.-J. Huang, W.-H. Chen, C. Cheng, S.-R. Chen, J.-Y. Lin, C.-R. Yang, Integration of RuO₂/conductive fiber composites within carbonized micro-electrode array for supercapacitors, *J. Alloys Compd.* 869 (2021), 159300.
- [92] S. Korkmaz, I. A. Ç. Kariper, O. Karaman, C. Karaman, The production of rGO/RuO₂ aerogel supercapacitor and analysis of its electrochemical performances, *Ceram. Int.* (2021).
- [93] S. Ramesh, K. Karuppasamy, A. Sivasamy, H.-S. Kim, H.M. Yadav, H.S. Kim, Core shell nanostructured of Co₃O₄@ RuO₂ assembled on nitrogen-doped graphene sheets electrode for an efficient supercapacitor application, *J. Alloys Compd.* 877 (2021) 160297, 160297.
- [94] J. Yan, Q. Wang, T. Wei, Z. Fan, Recent advances in design and fabrication of electrochemical supercapacitors with high energy densities, *Adv. Energy Mater.* 4 (2014), 1300816.
- [95] H. Wang, Y. Yang, Y. Liang, G. Zheng, Y. Li, Y. Cui, H. Dai, Rechargeable Li-O₂ batteries with a covalently coupled MnCo₂O₄-graphene hybrid as an oxygen cathode catalyst, *Energy & Environ. Sci.* 5 (2012) 7931–7935.
- [96] I.-H. Kim, K.-B. Kim, Electrochemical characterization of hydrous ruthenium oxide thin-film electrodes for electrochemical capacitor applications, *J. Electrochem. Soc.* 153 (2006) A383.

- [97] P. Simon, Y. Gogotsi, Materials for electrochemical capacitors, *Nanosci. Technol. a Collect. Rev. from Nat. Journals.* (2010) 320–329.
- [98] C.-W. Kuo, J.-C. Chang, B.-W. Wu, T.-Y. Wu, Electrochemical characterization of RuO₂-Ta₂O₅/polyaniline composites as potential redox electrodes for supercapacitors and hydrogen evolution reaction, *Int. J. Hydrogen Energy.* 45 (2020) 22223–22231.
- [99] Z. Cao, R. Li, P. Xu, N. Li, H. Zhu, Z. Li, Highly dispersed RuO₂-biomass carbon composite made by immobilization of ruthenium and dissolution of coconut meat with octyl ammonium salicylate ionic liquid for high performance flexible supercapacitor, *J. Colloid Interface Sci.* 606 (2022) 424–433.
- [100] C. Liu, F. Li, L.-P. Ma, H.-M. Cheng, Advanced materials for energy storage, *Adv. Mater.* 22 (2010) E28–E62.
- [101] W. Sugimoto, K. Yokoshima, Y. Murakami, Y. Takasu, Charge storage mechanism of nanostructured anhydrous and hydrous ruthenium-based oxides, *Electrochim. Acta.* 52 (2006) 1742–1748.
- [102] J. Upadhyay, T.M. Das, R. Borah, K. Paul, K. Acharjya, Ternary Nanocomposites of rGO: RuO₂: Pani Based Flexible Electrode for Supercapacitor Applications, *Solid State Commun.* 2021, 114382.
- [103] C.-C. Hu, K.-H. Chang, M.-C. Lin, Y.-T. Wu, Design and tailoring of the nanotubular arrayed architecture of hydrous RuO₂ for next generation supercapacitors, *Nano Lett* 6 (2006) 2690–2695.
- [104] J.-Y. Kim, K.-H. Kim, H.-K. Kim, S.-H. Park, K.Y. Chung, K.-B. Kim, Nanosheet-assembled 3D nanoflowers of ruthenium oxide with superior rate performance for supercapacitor applications, *RSC Adv* 4 (2014) 16115–16120.
- [105] Y.-F. Ke, D.-S. Tsai, Y.-S. Huang, Electrochemical capacitors of RuO₂ 2 nanophase grown on LiNbO₃ (100) and sapphire (0001) substrates, *J. Mater. Chem.* 15 (2005) 2122–2127.
- [106] W. Sugimoto, H. Iwata, Y. Yasunaga, Y. Murakami, Y. Takasu, Preparation of ruthenium acid nanosheets and utilization of its interlayer surface for electrochemical energy storage, *Angew. Chemie Int. Ed.* 42 (2003) 4092–4096.
- [107] K.E. Swider, C.I. Merzbacher, P.L. Hagans, D.R. Rolison, Synthesis of ruthenium dioxide- titanium dioxide aerogels: redistribution of electrical properties on the nanoscale, *Chem. Mater.* 9 (1997) 1248–1255.
- [108] J. Zhang, J. Ma, L.L. Zhang, P. Guo, J. Jiang, X.S. Zhao, Template synthesis of tubular ruthenium oxides for supercapacitor applications, *J. Phys. Chem. C.* 114 (2010) 13608–13613.
- [109] J.K. Das, A.K. Samantara, S. Satyarthi, C.S. Rout, J.N. Behera, Three-dimensional NiCoP hollow spheres: an efficient electrode material for hydrogen evolution reaction and supercapacitor applications, *RSC Adv* 10 (2020) 4650–4656.
- [110] K. Brousse, S. Pinaud, S. Nguyen, P.-F. Fazzini, R. Makarem, C. Josse, Y. Thimont, B. Chaudret, P.-L. Taberna, M. Respaud, others, Facile and scalable preparation of ruthenium oxide-based flexible micro-supercapacitors, *Adv. Energy Mater.* 10 (2020), 1903136.
- [111] A. Morag, N. Shauloff, N. Maman, N. Froumin, V. Ezersky, R. Jelinek, Nickel alloying significantly enhances the power density of ruthenium-based supercapacitors, *Batter. & Supercaps.* 3 (2020) 789.
- [112] K. Kuratani, T. Kiyobayashi, N. Kuriyama, Influence of the mesoporous structure on capacitance of the RuO₂ electrode, *J. Power Sources* 189 (2009) 1284–1291.
- [113] V.D. Patake, S.M. Pawar, V.R. Shinde, T.P. Gujar, C.D. Lokhande, The growth mechanism and supercapacitor study of anodically deposited amorphous ruthenium oxide films, *Curr. Appl. Phys.* 10 (2010) 99–103.
- [114] Z.R. Cormier, H.A. Andreas, P. Zhang, Temperature-dependent structure and electrochemical behavior of RuO₂/carbon nanocomposites, *J. Phys. Chem. C.* 115 (2011) 19117–19128.
- [115] S. Singhal, A.K. Shukla, Improved electrochemical performance of supercapacitors by utilizing ternary Pd-AC-doped NiO nanostructure as an electrode material, *J. Solid State Electrochem.* 24 (2020) 1271–1282.
- [116] S. Bhanushali, P. Ghosh, A. Ganesh, W. Cheng, 1D copper nanostructures: progress, challenges and opportunities, *Small* 11 (2015) 1232–1252.
- [117] H. Chen, M. Zhou, T. Wang, F. Li, Y.X. Zhang, Construction of unique cupric oxide-manganese dioxide core-shell arrays on a copper grid for high-performance supercapacitors, *J. Mater. Chem. A.* 4 (2016) 10786–10793.
- [118] S. Brittan, Y. Yoo, N.P. Dasgupta, S. Kim, B. Kim, P. Yang, Epitaxially aligned cuprous oxide nanowires for all-oxide, single-wire solar cells, *Nano Lett* 14 (2014) 4665–4670.
- [119] F. Chen, C. Chen, Q. Hu, B. Xiang, T. Song, X. Zou, W. Li, B. Xiong, M. Deng, Synthesis of CuO@ CoNi LDH on Cu foam for high-performance supercapacitors, *Chem. Eng. J.* 401 (2020), 126145.
- [120] S. Yousaf, M. Aadil, S. Zulfiqar, M.F. Warsi, P.O. Agboola, M.F.A. Aboud, I. Shakir, Hierarchically porous CuO microspheres and their r-GO based nanohybrids for electrochemical supercapacitors applications, *J. Mater. Res. Technol.* 9 (2020) 14158–14167.
- [121] M. Huang, Y. Zhang, F. Li, Z. Wang, N. Hu, Z. Wen, Q. Liu, others, Merging of Kirkendall growth and Ostwald ripening: CuO@ MnO₂ core-shell architectures for asymmetric supercapacitors, *Sci. Rep.* 4 (2014) 1–9.
- [122] A.A. Dubale, W.-N. Su, A.G. Tamirat, C.-J. Pan, B.A. Aragaw, H.-M. Chen, C.-H. Chen, B.-J. Hwang, The synergetic effect of graphene on Cu₂O nanowire arrays as a highly efficient hydrogen evolution photocathode in water splitting, *J. Mater. Chem. A.* 2 (2014) 18383–18397.
- [123] A. Li, H. Song, W. Wan, J. Zhou, X. Chen, Copper oxide nanowire arrays synthesized by in-situ thermal oxidation as an anode material for lithium-ion batteries, *Electrochim. Acta.* 132 (2014) 42–48.
- [124] J. Wang, Q. Zhang, X. Li, B. Zhang, L. Mai, K. Zhang, Smart construction of three-dimensional hierarchical tubular transition metal oxide core/shell heterostructures with high-capacity and long-cycle-life lithium storage, *Nano Energy* 12 (2015) 437–446.
- [125] H. Xie, X. Liu, R. Wu, J. Liu, J. Wu, L. Li, High-performance supercapacitor with faster energy storage and long cyclic life based on CuO@ MnO₂ nano-core-shell array on carbon fiber surface, *ACS Appl. Energy Mater.* 3 (2020) 7325–7334.
- [126] R.R. Palem, S. Ramesh, C. Bathula, V. Kakani, G.D. Saratale, H.M. Yadav, J.-H. Kim, H.S. Kim, S.-H. Lee, Enhanced supercapacitive behavior by CuO@ MnO₂/carboxymethyl cellulose composites, *Ceram. Int.* 47 (2021) 26738–26747.
- [127] Z. Li, M. Shao, L. Zhou, R. Zhang, C. Zhang, J. Han, M. Wei, D.G. Evans, X. Duan, A flexible all-solid-state micro-supercapacitor based on hierarchical CuO@ layered double hydroxide core-shell nanoarrays, *Nano Energy* 20 (2016) 294–304.
- [128] Z. Li, X. Wang, Z. Yin, J. Zhao, M. Song, Z. Wu, H. Li, X. Wang, Ag nanoparticles decorated N/S dual-doped graphene nanohybrids for high-performance asymmetric supercapacitors, *Carbon* N. Y. 161 (2020) 726–735.
- [129] X. Zhao, L. Gong, C. Wang, C. Wang, K. Yu, B. Zhou, A facile grinding method for the synthesis of 3D Ag metal-organic frameworks (MOFs) containing Ag₆Mo₇O₂₄ for high-performance supercapacitors, *Chem. Eur. J.* 26 (2020) 4613–4619.
- [130] Z. Zeng, P. Sun, J. Zhu, X. Zhu, Ag-doped manganese oxide prepared by electrochemical deposition on carbon fiber for supercapacitors, *RSC Adv* 5 (2015) 17550–17558.
- [131] H.K. Jung, S.J. Lee, D. Han, A.-R. Hong, H.S. Jang, S.H. Lee, J.H. Mun, H. Lee, S. H. Han, D. Yang, others, Au-incorporated NiO nanocomposite thin films as electrochromic electrodes for supercapacitors, *Electrochim. Acta.* 330 (2020), 135203.
- [132] Y. Lee, S. Chae, H. Park, J. Kim, S.-H. Jeong, Stretchable and transparent supercapacitors based on extremely long MnO₂/Au nanofiber networks, *Chem. Eng. J.* 382 (2020), 122798.
- [133] P. Lu, H. Xue, W. Liu, Z. Feng, Q. Sun, Chemically roughened, sputtered Au films with trace-loaded manganese oxide for both on-chip and off-chip high frequency supercapacitors, *Nanomaterials* 11 (2021) 257.
- [134] J. Kang, A. Hirata, L. Kang, X. Zhang, Y. Hou, L. Chen, C. Li, T. Fujita, K. Akagi, M. Chen, Enhanced supercapacitor performance of MnO₂ by atomic doping, *Angew. Chemie Int. Ed.* 52 (2013) 1664–1667.
- [135] J. Huang, Y. Wang, H. Deng, J. Chen, J. Ding, C. Wang, In situ surface decoration of single-wall carbon nanohorn with Pt/MnO₂ and its application for supercapacitors, *Int. J. Electrochem. Sci.* 15 (2020) 7272–7281.
- [136] H. Tong, Q. Meng, J. Liu, T. Li, D. Gong, J. Xiao, L. Shen, T. Zhang, D. Bing, X. Zhang, Cross-linked NiCo₂O₄ nanosheets with low crystallinity and rich oxygen vacancies for asymmetric supercapacitors, *J. Alloys Compd.* 822 (2020), 153689.
- [137] S. Patil, D. Dubal, D. Lee, Gold Nanoparticles Decorated rGO-ZnCo₂O₄ Nanocomposite: a Promising Positive Electrode for High Performance Hybrid Supercapacitors, 2020.
- [138] Y. Yan, T. Wang, X. Li, H. Pang, H. Xue, Noble metal-based materials in high-performance supercapacitors, *Inorg. Chem. Front.* 4 (2017) 33–51.
- [139] M. Li, J. Yu, X. Wang, Z. Yang, 3D porous MnO₂@ carbon nanosheet synthesized from rambutan peel for high-performing supercapacitor electrodes materials, *Appl. Surf. Sci.* 530 (2020), 147230.
- [140] S. Dang, Y. Wen, T. Qin, J. Hao, H. Li, J. Huang, D. Yan, G. Cao, S. Peng, Nanostructured manganese dioxide with adjustable Mn³⁺/Mn⁴⁺ ratio for flexible high-energy quasi-solid supercapacitors, *Chem. Eng. J.* 396 (2020), 125342.
- [141] W. Gong, B. Fugetsu, Q. Li, A.K. Vipin, T. Konishi, T. Ueki, I. Sakata, Z. Wang, M. Yu, L. Su, others, Improved supercapacitors by implanting ultra-long single-walled carbon nanotubes into manganese oxide domains, *J. Power Sources* 479 (2020), 228795.
- [142] Y.-L. Chen, P.-C. Chen, T.-L. Chen, C.-Y. Lee, H.-T. Chiu, Nanosized MnO₂ spines on Au stems for high-performance flexible supercapacitor electrodes, *J. Mater. Chem. A.* 1 (2013) 13301–13307.
- [143] Y. Gao, H. Jin, Q. Lin, X. Li, M.M. Tavakoli, S.-F. Leung, W.M. Tang, L. Zhou, H.L. W. Chan, Z. Fan, Highly flexible and transferable supercapacitors with ordered three-dimensional MnO₂/Au/MnO₂ nanospikes arrays, *J. Mater. Chem. A.* 3 (2015) 10199–10204.
- [144] X. Wang, Y. Chen, O.G. Schmidt, C. Yan, Engineered nanomembranes for smart energy storage devices, *Chem. Soc. Rev.* 45 (2016) 1308–1330.
- [145] H. Xu, X. Hu, Y. Sun, H. Yang, X. Liu, Y. Huang, Flexible fiber-shaped supercapacitors based on hierarchically nanostructured composite electrodes, *Nano Res* 8 (2015) 1148–1158.
- [146] M. Balasubramaniam, S. Balakumar, Nanostructuring of silver nanoparticles anchored 1D zinc antimonate electrode material by ultrasonication assisted chemical reduction approach for supercapacitors, *Mater. Chem. Phys.* 224 (2019) 334–348.
- [147] W. Alshammari, D.S. Patil, S.A. Pawar, J.C. Shin, Silver nanowires-copper sulfide core/shell nanostructure for electrochemical supercapacitors, *Mater. Today Chem.* 5 (2017) 72–80.
- [148] J.B. Wu, Z.G. Li, Y. Lin, Porous NiO/Ag composite film for electrochemical capacitor application, *Electrochim. Acta.* 56 (2011) 2116–2121.
- [149] Y. Li, H. Fu, Y. Zhang, Z. Wang, X. Li, Kirkendall effect induced one-step fabrication of tubular Ag/MnO_x nanocomposites for supercapacitor application, *J. Phys. Chem. C.* 118 (2014) 6604–6611.
- [150] G. Zhang, L. Zheng, M. Zhang, S. Guo, Z.-H. Liu, Z. Yang, Z. Wang, Preparation of Ag-nanoparticle-loaded MnO₂ nanosheets and their capacitance behavior, *Energy & Fuels* 26 (2012) 618–623.
- [151] M. Łukaszewski, A. Żurowski, A. Czerwiński, Hydrogen in thin Pd-based layers deposited on reticulated vitreous carbon—a new system for electrochemical capacitors, *J. Power Sources* 185 (2008) 1598–1604.

- [152] M. Łukaszewski, K. Hubkowska, U. Koss, A. Czerwiński, Characteristic of hydrogen-saturated Pd-based alloys for the application in electrochemical capacitors, *J. Solid State Electrochem.* 16 (2012) 2533–2539.
- [153] H.L. An, Y.-J. Lee, H.-J. Ahn, Nanophase Ru–RuO₂ composites decorated on wrinkled Nb-doped TiO₂ nanofibers for electrochemical capacitors, *Res. Chem. Intermed.* 41 (2015) 4785–4793.
- [154] S.-H. Choi, T.-S. Hyun, H. Lee, S.-Y. Jang, S.-G. Oh, I.-D. Kim, Facile synthesis of highly conductive platinum nanofiber mats as conducting core for high rate redox supercapacitor, *Electrochem. Solid State Lett.* 13 (2010) A65.
- [155] K. Juodkazyte, J. Juodkazyte, V. Sukiene, A. Griguociene, A. Selskis, On the charge storage mechanism at RuO₂/0.5 MH₂SO₄ interface, *J. Solid State Electrochem.* 12 (2008) 1399–1404.
- [156] S.-I. Kim, S.-W. Kim, K. Jung, J.-B. Kim, J.-H. Jang, Ideal nanoporous gold based supercapacitors with theoretical capacitance and high energy/power density, *Nano Energy* 24 (2016) 17–24.
- [157] S.-I. Kim, P. Thiagarajan, J.-H. Jang, Great improvement in pseudocapacitor properties of nickel hydroxide via simple gold deposition, *Nanoscale* 6 (2014) 11646–11652.
- [158] S. Liu, S. Guo, S. Sun, X.-Z. You, Dumbbell-like Au–Fe₃O₄ nanoparticles: a new nanostructure for supercapacitors, *Nanoscale* 7 (2015) 4890–4893.
- [159] J. Xu, C. Wang, J. Liu, S. Xu, W. Zhang, Y. Lu, Facile fabrication of a novel nanoporous Au/AgO composite for electrochemical double-layer capacitor, *RSC Adv* 5 (2015) 38995–39002.
- [160] T. Qiu, B. Luo, M. Giersig, E.M. Akınoglu, L. Hao, X. Wang, L. Shi, M. Jin, L. Zhi, Au@ MnO₂ core-shell nanomesh electrodes for transparent flexible supercapacitors, *Small* 10 (2014) 4136–4141.
- [161] J.-S. Liu, Y. Hu, Characterization of manganese oxides/Au nanocomposite thin films for supercapacitor, *Int. J. Electrochem. Sci.* 8 (2013) 9231–9241.
- [162] Y. Dai, S. Tang, X. Wang, X. Huang, C. Zhu, Z. Hang, X. Meng, MnO₂–Au composite electrodes for supercapacitors, *Chem. Lett.* 43 (2014) 122–124.
- [163] C. Zhang, M. Shao, F. Ning, S. Xu, Z. Li, M. Wei, D.G. Evans, X. Duan, Au nanoparticles sensitized ZnO nanorod@ nanoplatelet core-shell arrays for enhanced photoelectrochemical water splitting, *Nano Energy* 12 (2015) 231–239.
- [164] T.T.B. Huyen, A.N. Nguyen, D.T. Nguyen, T.T.B. Hoang, Influence of Ag doping on the electrochemical supercapacitor characteristics of manganese dioxide prepared by pulsed potentiostatic electrodeposition, in: *Mater. Sci. Forum, Trans Tech Publ.*, 2020, pp. 147–155.
- [165] I.U. Hassan, H. Salim, G.A. Naikoo, T. Awan, R.A. Dar, F. Arshad, M.A. Tabidi, R. Das, W. Ahmed, A.M. Asiri, A review on recent advances in hierarchically porous metal and metal oxide nanostructures as electrode materials for supercapacitors and non-enzymatic glucose sensors, *J. Saudi Chem. Soc.* (2021), 101228.
- [166] M. Huang, Y. Lin, H. Huang, X. Fan, K. Shi, Z. Yang, W. Zhang, Nickel nanoparticles modified MnO₂ nanosheet arrays for high-performance supercapacitor with long-lasting and sustainable capacitance increase, *Electrochim. Acta.* 383 (2021), 138353.
- [167] H.-J. Ahn, T.-Y. Seong, Effect of Pt nanostructures on the electrochemical properties of Co₃O₄ electrodes for micro-electrochemical capacitors, *J. Alloys Compd.* 478 (2009) L8–L11.
- [168] S. Park, D. Shin, T. Yeo, B. Seo, H. Hwang, J. Lee, W. Choi, Combustion-driven synthesis route for tunable TiO₂/RuO₂ hybrid composites as high-performance electrode materials for supercapacitors, *Chem. Eng. J.* 384 (2020), 123269.
- [169] H.-J. Ahn, Y.-E. Sung, W.B. Kim, T.-Y. Seong, Crystalline Ag nanocluster-incorporated RuO₂ as an electrode material for thin-film micropseudocapacitors, *Electrochem. Solid State Lett.* 11 (2008) A112.
- [170] H. Lee, S. Hong, J. Lee, Y.D. Suh, J. Kwon, H. Moon, H. Kim, J. Yeo, S.H. Ko, Highly stretchable and transparent supercapacitor by Ag–Au core-shell nanowire network with high electrochemical stability, *ACS Appl. Mater. & Interfaces* 8 (2016) 15449–15458.
- [171] R. Wang, X. Li, Z. Nie, Y. Zhao, H. Wang, Metal/metal oxide nanoparticles-composited porous carbon for high-performance supercapacitors, *J. Energy Storage.* 38 (2021), 102479.
- [172] Y. Il Kim, E. Samuel, B. Joshi, M.-W. Kim, T.G. Kim, M.T. Swihart, S.S. Yoon, Highly efficient electrodes for supercapacitors using silver-plated carbon nanofibers with enhanced mechanical flexibility and long-term stability, *Chem. Eng. J.* 353 (2018) 189–196.
- [173] Y. Wang, L. Zhang, H. Hou, W. Xu, G. Duan, S. He, K. Liu, S. Jiang, Recent progress in carbon-based materials for supercapacitor electrodes: a review, *J. Mater. Sci.* (2020) 1–28.
- [174] J.-J. Huang, Y.-L. Hsueh, Y.-X. Zhang, Silver nanowire doped active carbon thin film electrode by ultrasonic spray coating for high performance supercapacitor, *Surf. Coatings Technol.* 350 (2018) 788–794.
- [175] S. Wang, N. Liu, J. Tao, C. Yang, W. Liu, Y. Shi, Y. Wang, J. Su, L. Li, Y. Gao, Inkjet printing of conductive patterns and supercapacitors using a multi-walled carbon nanotube/Ag nanoparticle based ink, *J. Mater. Chem. A* 3 (2015) 2407–2413.
- [176] J. Zhi, W. Zhao, X. Liu, A. Chen, Z. Liu, F. Huang, Highly conductive ordered mesoporous carbon based electrodes decorated by 3D graphene and 1D silver nanowire for flexible supercapacitor, *Adv. Funct. Mater.* 24 (2014) 2013–2019.
- [177] G.A. Naikoo, R.A. Dar, M. Thomas, M.U.D. Sheikh, F. Khan, Hierarchically porous metallic silver monoliths: facile synthesis, characterization and its evaluation as an electrode material for supercapacitors, *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 26 (2015) 2403–2410.
- [178] K.N. Chaudhari, S. Chaudhari, J.-S. Yu, Synthesis and supercapacitor performance of Au-nanoparticle decorated MWCNT, *J. Electroanal. Chem.* 761 (2016) 98–105.
- [179] B. Ankamwar, P. Das, U.K. Sur, Graphene–gold nanoparticle-based nanocomposites as an electrode material in supercapacitors, *Indian J. Phys.* 90 (2016) 391–397.
- [180] Z. Yu, S. Sun, M. Huang, Electrodeposition of gold nanoparticles on electrochemically reduced graphene oxide for high performance supercapacitor electrode materials, *Int J Electrochem Sci* 11 (2016) 3643–3650.
- [181] S. Mandal, A. Pal, R.K. Arun, N. Chanda, Gold nanoparticle embedded paper with mechanically exfoliated graphite as flexible supercapacitor electrodes, *J. Electroanal. Chem.* 755 (2015) 22–26.
- [182] Q. Zhang, Y. Zhang, Z. Gao, H.-L. Ma, S. Wang, J. Peng, J. Li, M. Zhai, A facile synthesis of platinum nanoparticle decorated graphene by one-step γ -ray induced reduction for high rate supercapacitors, *J. Mater. Chem. C* 1 (2013) 321–328.
- [183] D. Zhang, X. Zhang, Y. Chen, C. Wang, Y. Ma, H. Dong, L. Jiang, Q. Meng, W. Hu, Supercapacitor electrodes with especially high rate capability and cyclability based on a novel Pt nanosphere and cysteine-generated graphene, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 14 (2012) 10899–10903.
- [184] S.R. Suryawanshi, V. Kaware, D. Chakravarty, P.S. Walke, M.A. More, K. Joshi, C. S. Rout, D.J. Late, Pt-nanoparticle functionalized carbon nano-onions for ultra-high energy supercapacitors and enhanced field emission behaviour, *RSC Adv* 5 (2015) 80990–80997.
- [185] X. He, K. Xie, R. Li, M. Wu, Microwave-assisted synthesis of Ru/mesoporous carbon composites for supercapacitors, *Mater. Lett.* 115 (2014) 96–99.
- [186] K. Winkler, E. Grodzka, F. D'Souza, A.L. Balch, Two-component films of fullerene and palladium as materials for electrochemical capacitors, *J. Electrochem. Soc.* 154 (2007) K1.
- [187] R. Warren, F. Sammoura, F. Tounsi, M. Sanghadasa, L. Lin, Highly active ruthenium oxide coating via ALD and electrochemical activation in supercapacitor applications, *J. Mater. Chem. A* 3 (2015) 15568–15575.
- [188] P. Sinha, S. Banerjee, K.K. Kar, Transition metal oxide/activated carbon-based composites as electrode materials for supercapacitors, in: *Handb. Nanocomposite Supercapacitor Mater.* II, Springer, 2020, pp. 145–178.
- [189] G. Pan, F. Cao, Y. Zhang, Synthesis of titanium carbide/carbon composites for supercapacitor application, *Mater. Res. Bull.* 137 (2021), 111172.
- [190] H. Yang, H. Guo, K. Pang, P. Fan, X. Li, W. Ren, R. Song, An amorphous carbon nitride/NiO/CoN-based composite: a highly efficient nonprecious electrode for supercapacitors and the oxygen evolution reaction, *Nanoscale* 12 (2020) 7024–7034.
- [191] S. Abraham, T. Prasankumar, K.V. Kumar, S.Z. Karazhanov, S. Jose, Novel lead dioxide intercalated polypyrrole/graphene oxide ternary composite for high throughput supercapacitors, *Mater. Lett.* 273 (2020), 127943.
- [192] J. Jose, S.P. Jose, T. Prasankumar, S. Shaji, S. Pillai, Emerging ternary nanocomposite of rGO draped palladium oxide/polypyrrole for high performance supercapacitors, *J. Alloys Compd.* 855 (2021), 157481.
- [193] C.A. Amarnath, N. Venkatesan, M. Doble, S.N. Sawant, Water dispersible Ag@ polyaniline-pectin as supercapacitor electrode for physiological environment, *J. Mater. Chem. B* 2 (2014) 5012–5019.
- [194] Z. Çıplak, A. Yıldız, N. Yıldız, Green preparation of ternary reduced graphene oxide-au@ polyaniline nanocomposite for supercapacitor application, *J. Energy Storage.* 32 (2020), 101846.
- [195] G. An, H. Ahn, *ECS Solid State Lett* 2 (2013). M33 Search PubMed. (n.d.).
- [196] J. Iqbal, S. Bashir, M.O. Ansari, R. Jafer, A. Jilani, S. Mohammad, K. Ramesh, S. Ramesh, Ternary nanocomposites for supercapattery, in: *Adv. Supercapacitor Supercapattery*, Elsevier, 2021, pp. 141–173.
- [197] L. Ma, X. Shen, Z. Ji, G. Zhu, H. Zhou, Ag nanoparticles decorated MnO₂/reduced graphene oxide as advanced electrode materials for supercapacitors, *Chem. Eng. J.* 252 (2014) 95–103.
- [198] X. Zheng, X. Yan, Y. Sun, Z. Bai, G. Zhang, Y. Shen, Q. Liang, Y. Zhang, Au-embedded ZnO/NiO hybrid with excellent electrochemical performance as advanced electrode materials for supercapacitor, *ACS Appl. Mater. & Interfaces* 7 (2015) 2480–2485.
- [199] S. Giri, D. Ghosh, A. Malas, C.K. Das, A facile synthesis of a palladium-doped polyaniline-modified carbon nanotube composites for supercapacitors, *J. Electron. Mater.* 42 (2013) 2595–2605.
- [200] X. Zhang, Y. Xu, Y. Ma, M. Yang, Y. Qi, A hierarchical MoO₂/Au/MnO₂ heterostructure with enhanced electrochemical performance for application as supercapacitor, 2015, *Eur. J. Inorg. Chem.* (2015) 3764–3768.
- [201] M. Vanitha, P. Cao, N. Balasubramanian, others, Ag nanocrystals anchored CeO₂/graphene nanocomposite for enhanced supercapacitor applications, *J. Alloys Compd.* 644 (2015) 534–544.
- [202] Y.-J. Lee, G.-H. An, H.-J. Ahn, Comparison of electrodes for high-performance electrochemical capacitors: multi-layer MnO₂/Pt and composite MnO₂/Pt on carbon nanofibres, *J. Nanosci. Nanotechnol.* 15 (2015) 8931–8936.
- [203] A.L.M. Reddy, M.M. Shaijumon, S.R. Gowda, P.M. Ajayan, Multisegmented Au–MnO₂/carbon nanotube hybrid coaxial arrays for high-power supercapacitor applications, *J. Phys. Chem. C* 114 (2010) 658–663.
- [204] Q. Wang, Y. Wu, T. Li, D. Zhang, M. Miao, A. Zhang, High performance two-ply carbon nanocomposite yarn supercapacitors enhanced with a platinum filament and in situ polymerized polyaniline nanowires, *J. Mater. Chem. A* 4 (2016) 3828–3834.
- [205] D.S. Patil, S.A. Pawar, R.S. Devan, S.S. Mali, M.G. Gang, Y.R. Ma, C.K. Hong, J. H. Kim, P.S. Patil, Polyaniline based electrodes for electrochemical supercapacitor: synergistic effect of silver, activated carbon and polyaniline, *J. Electroanal. Chem.* 724 (2014) 21–28.
- [206] V. Veeramani, B. Dinesh, S.-M. Chen, R. Saraswathi, Electrochemical synthesis of Au–MnO₂ on electrophoretically prepared graphene nanocomposite for high

- performance supercapacitor and biosensor applications, *J. Mater. Chem. A*. 4 (2016) 3304–3315.
- [207] X. Lu, T. Zhai, X. Zhang, Y. Shen, L. Yuan, B. Hu, L. Gong, J. Chen, Y. Gao, J. Zhou, others, WO₃-x@ Au@ MnO₂ core-shell nanowires on carbon fabric for high-performance flexible supercapacitors, *Adv. Mater.* 24 (2012) 938–944.
- [208] W. Wei, W. Chen, L. Mi, J. Xu, J. Zhang, High-rate performance aqueous-based supercapacitors at -30° C driven by novel 1D Ni (OH) 2 nanorods and a two-solute electrolyte, *Journal of Materials Chemistry A* 9 (42) (2021) 23860–23872.
- [209] W. Wei, J. Wu, S. Cui, Y. Zhao, W. Chen, L. Mi, α -Ni (OH) 2/NiS 1.97 heterojunction composites with excellent ion and electron transport properties for advanced supercapacitors, *Nanoscale* 11 (13) (2019) 6243–6253.
- [210] W. Wei, J. Wu, S. Cui, Y. Zhao, W. Chen, L. Mi, α -Ni (OH) 2/NiS 1.97 heterojunction composites with excellent ion and electron transport properties for advanced supercapacitors, *Nanoscale* 11 (13) (2019) 6243–6253.
- [211] S. Zheng, Y. Sun, H. Xue, P. Braunstein, W. Huang, H. Pang, Dual-ligand and hard-soft-acid-base strategies to optimize metal-organic framework nanocrystals for stable electrochemical cycling performance, *Natl. Sci. Rev.* 9 (7) (2021) 1–9.
- [212] S. Zheng, Q. Li, H. Xue, H. Pang, Q. Xu, A highly alkaline-stable metal oxide@ metal-organic framework composite for high-performance electrochemical energy storage, *Natl. Sci. Rev.* 7 (2020) 305–314.
- [213] Y. Bai, C. Liu, T. Chen, W. Li, S. Zheng, Y. Pi, Y. Luo, H. Pang, MXene-copper/cobalt hybrids via lewis acidic molten salts etching for high performance symmetric supercapacitors, *Angew. Chemie.* 133 (2021) 25522–25526.
- [214] F. Sun, Q. Li, Y. Bai, G. Zhang, S. Zheng, M. Peng, X. Chen, N. Lin, H. Pang, A controllable preparation of two-dimensional cobalt oxalate-based nanostructured sheets for electrochemical energy storage, *Chinese Chem. Lett.* 33 (6) (2021) 3249–3254.



Nanomaterials: A comprehensive review of applications, toxicity, impact, and fate to environment

Maha M. El-Kady^a, Iqbal Ansari^b, Charu Arora^{c,*}, Nidhi Rai^c, Sanju Soni^c, Dakeshwar Kumar Verma^{d,*}, Priyanka Singh^d, Alaa El Din Mahmoud^{e,f}

^a Department of Self-pollinated Vegetable Crops, Horticulture Research Institute (HRI), Agricultural Research Centre (ARC), Giza, Egypt

^b Academy of Scientific and Innovative Research, CSIR-Central Institute of Mining and Fuel Research, Dhanbad 826015, Jharkhand, India

^c Department of Chemistry Guru Ghasidas University, Bilaspur 495009, Chhattisgarh, India

^d Department of Chemistry, Govt. Digvijay Autonomous Postgraduate College, Rajnandgaon, Chhattisgarh 491441, India

^e Environmental Sciences Department, Faculty of Science, Alexandria University, 21511 Alexandria, Egypt

^f Green Technology Group, Faculty of Science, Alexandria University, 21511 Alexandria, Egypt

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 July 2022

Revised 8 November 2022

Accepted 8 December 2022

Available online 12 December 2022

Keywords:

Nanotechnology

Nanomaterials

Nanosize

Drug delivery

Nanotoxicology

ABSTRACT

The present era is considered the nanotech age. Nanomaterials have gained a great deal of importance in the field of technology, engineering, and medicine progression because of their tunable, physical, chemical, and biological properties rather than their bulk counterparts. Nanomaterials are classified based on their size, shape, composition, origin, and toxicity. Due to the increasing utility and industrial applications of nanomaterials, it has become important to investigate nanomaterials' toxicity and environmental risks. In the present review, we have critically discussed the applications, behavior, and toxic impact on humans, animals, and the environment. Its fate and challenges and future requirements for the development and design of safe nanotechnology for sustainable development have been discussed.

© 2022 Elsevier B.V. All rights reserved.

Contents

1. Introduction	2
2. Classification of nanomaterials	3
3. Characterization of nanomaterials	3
4. Applications of nanomaterials	4
4.1. Nanobioremediation	5
4.2. Biogas production	5
4.3. Drug delivery	5
4.4. Vaccine development	5
4.5. Water disinfection	6
4.6. Other applications	6
5. Exposure and toxicology of nanomaterials	7
5.1. Effect on human beings	7
5.2. Sources of exposure to nanomaterials	7

Abbreviations: ISO, International Organization for Standardization; ROS, Reactive oxygen species; SEM/TEM, Scanning/transmission electron microscopy; STM, Scanning tunneling microscope; MOFs, Metal organic frameworks; ZVI NPs, Zero valent iron nano particles; MSNs, Mesoporous silica nanoparticles; GMs, Graphene materials; GO, Graphene oxide; rGO, Reduced graphene oxide; NNI, National Nanotechnology Initiative; LDE, Lactate dehydrogenase enzyme; MIP, Macrophage Inflammatory Proteins; IL, Interleukin; MCP, Monocyte Chemoattractant Protein; GM-CSF, Granulocyte-macrophage colony-stimulating factor; LOQ, Limit of quantification; SOD, Superoxide-dismutase activity; RAPD, Random amplified polymorphic DNA; MWCNTs, Multi-walled carbon nanotubes; SRFA, Suwannee River Fulvic Acid; NOM, Natural organic matter; OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development; WPMN, Working Party on Manufactured Nanomaterials.

* Corresponding authors.

E-mail addresses: charuarora77@gmail.com, charu.arora77@gggu.ac.in (C. Arora), dakeshwarverma@gmail.com (D.K. Verma).

5.3.	Entryways of nanoparticles into the human body	8
5.3.1.	Respiratory system	8
5.3.2.	Skin layers	8
5.3.3.	Digestive system	8
5.3.4.	Immune system	9
5.3.5.	Genotoxicity of nanomaterials	10
6.	Impact of nanomaterials on ecosystem and animals	10
7.	Impact of nanomaterials on plants	12
8.	Environmental fate and behavior of nanomaterials	14
9.	Challenges and future prospects	16
10.	Conclusion	16
	Declaration of Competing Interest	16
	References	16

1. Introduction

Although the idiom of nanomaterials appeared at the end of the 19th century, as they have been used already in ancient civilizations. For example, in ancient Egypt, oil lamps smut was applied to make black dyes distinguished with stability and high opacity for writing on sedge papers. However, ancient Egyptians at that time did not know that smut contains carbon nanomaterials [1]. Moreover, they used synthetic chemistry to manufacture PdS₂ (Palladium disulfide) NPs with ~ 5 nm diameter which was used as an ingredient in their hair dyes [2]. Moreover, for more than 4,500 old Cyprus years people reinforced ceramic matrix materials with natural nano-fibers of asbestos (50–200 nm in diameter) and used it for bleaching cloth and wool [3,4]. Around 2575 BCE ancient Egyptians invented the synthetic dye Egyptian blue which is composed of a nanosized mixture of glass and silicon dioxide (quartz) (CaCuSi₄O₁₀ and SiO₂). Likewise, in approximate time China produced blue dye by replacing Ca used in Egyptian blue with Ba (BaCuSi₄O₁₀) [5].

Nano term refers to a size that ranges between 1 and 100 nm according to International Organization for Standardization (ISO), (ISO 2008). Nanomaterials (NMs) are larger than a single atom or even small groups of atoms. The first-time word nanotechnology was used by Norio Taniguchi in 1974 during machining and finishing dimensional tolerances for semiconductor processes as a reference [6]. Meanwhile, the term nanotechnology was first coined by Richard Feynman in 1959 during his talk at the American Physical Society meeting [7]. Nanotechnology helps in the fabrication, processing, imaging, measuring, and application of materials that fall in the size range of up to 100 nm. So, nanomaterials possess particles and materials dispersed within the porous matrix with nanometer-sized pores in metallic clusters. It shows a remarkable change in physical and chemical properties like unique optical, thermal, electrical, magnetic, and catalytic properties when compared with non-nanomaterials due to their small size or nanoscale effect [8–12]. Nanomaterials have a large surface area, a high feature ratio, and a high surface-to-mass ratio [13]. These remarkable features of nanomaterials can drastically alter the physical, chemical, biological, electrical, and mechanical properties [14,15]. Nanotechnology provides a wide area of interdisciplinary research, innovation, development, and industrial activity which has been growing rapidly in recent years [12,16–18].

From the economical side, the worldwide market size of nanomaterials should dilate significantly during the period from 2021 to 2027 because nanotechnology is getting involved progressively in numerous industrial sectors [19] which include the food industry, cosmetics, healthcare, medicines, electronics, etc. [20]. During the COVID-19 epidemic, the worldwide market of nanomaterials was rated at US\$7.1 billion in 2020 and will reach 2026 US\$12.1 billion in, with annual growth of 9.7 %. In the United States (US)

the nanomaterial market in 2021 was 2.1 billion US\$, an ongoing increase in federal government grants for nanotechnology projects from \$464 million in 2001 to about US\$6.2 billion in 2019 reported by the US National Nanotechnology Initiative. Likewise, the investments by Japan and the European Union (EU) in nanotechnology increased during the period 2005–2010 from \$1.8 billion and \$1.5, respectively, to \$3–4 billion in the 2019–2020 period [21,22]. South Korea, China, and Taiwan assigned \$300, \$250, and \$110 million respectively, for nanotechnology projects in the 2010–2020 period [23,24].

Nanotechnology plays a vital role and has many applications in the fields of medicine [25], agriculture [26], food industries [27], biotechnology [28], environmental pollution detection and control [14,29,30], water treatment [13,31–35] and electronic [36], due to various physicochemical properties of nanomaterials in comparison to microscale and bulk materials. These unique properties are naturally due to elevated atoms fraction and surface energy of miniature particles in comparison to bulk materials [37]. During the 1980 s the first nanoceramics were developed. Since then there has been a huge excitement for its application in diverse technology. Nanoceramics are prepared from ultrafine particles <100 nm in diameter. Ceramic nanoparticles have confirmed themselves to be highly stable in comparison with metallic ones and their production tends to be economical [38,39]. Nanomaterial-based biosensors display attractive prospects over traditional biosensors [40]. It has many potential merits such as enhanced detection sensitivity/specificity in its applications in various fields such as environment and processing control, quality control of food, biodefence, agriculture along with agro-products, and particularly in the medical field [41].

To characterize the risk factors of nanomaterials and their fate in the environment, it is crucial to understand the various forms of nanomaterials and their potential route of exposure. The kind of nanomaterial may be uncertain via its production process (vapor deposition gas phase, attrition, colloidal, and so forth), which can potentially result in human exposure through various routes viz, inhalation, dermal absorption, or ingestion [42]. Studies by Ostiguy et al., reveal that engineered nanomaterials cause unanticipated toxicity in living organisms and harmful human health effects [43]. The properties of nanomaterials like reactivity, melting point, mechanical strength, fluorescence, and electrical conductivity which are altered at the nanoscale, make it more difficult to evaluate how nanomaterials will interact with living organisms as well as the environment [44]. Furthermore, some natural nanoparticles originated from a diversity of geological and biological processes and can be potentially toxic. It has been observed that both human beings and other species have more or less evolved, modified, and proliferated as a result of potentially detrimental exposure to natural nanomaterials [45,46]. The application of nanotechnology has been introduced to get better air, water, and soil in the field of

environmental management. A remediation process based on nanomaterials has been developed to monitor and detect the pollutant released into the surrounding environment [47]. In the remediation process by nanomaterials, waste containing residues of nanoparticles is also obtained which ends up as wastewater that finally reaches other abiotic environmental sources such as soil, sediments, and surface water [42]. However, the application and release of nanomaterials that cause toxicity and potential impacts on the environment have drawn the attention of regulatory and environmental agencies and scientific researchers [48].

Numerous review articles that have already been published examine both naturally occurring and synthesized pathways. Additionally, they talked about the development and current uses of nanomaterials. However, there is a lack of information regarding the use of nanomaterials in the past as well as their negative consequences outside of their numerous applications [49–51]. Nearly all of these topics have been covered in the current review study with adequate reasoning. Contemporary biomedical advancements, the toxicology of nanomaterials, and other topics have also been discussed.

Moreover, the applications, toxicity, impact, and environmental fate of nanomaterials are also covered in the present review. Nanomaterials, their background in time, and their features are covered in the first section. The classification of NPs, which is based on a variety of characteristics including size, occurrence/origin, chemical compositions, natural and synthetic, nature of toxicity, and many more, is covered in the following sections. The classification's following section was mostly concerned with applications, including biogas production, drug delivery, vaccine research, disinfection, and other significant ones. The key topics covered in Section 5 include human exposure to nanomaterials, their toxicity, sources of exposure, and routes by which nanoparticles enter the body. The impact of NPs on ecology and animals as well as the effects of nanoparticles on plants are finally summarized at the end of the manuscript and are not previously mentioned [52,53].

Several studies have shown that during manufacture and applications, the negative effects of nanomaterials on human health and the environment occurs [44,54–58]. Some available evidence suggests that due to the small size of nanoparticles, these are generally more toxic than their larger counterparts (e.g., 41 nm) of the same substances [55,59]. There are several ways to produce toxic nanomaterials in the environment. Chemical activities which are considered primary mechanisms produce free radicals and finally produce toxic nanomaterials [60]. For example, iron nanoparticles produce highly oxidized OH radicals which contribute to their toxicity and damage biological systems via the Fenton reaction [61,62].

During various stages, industrial waste containing nanoparticles is directly released into lakes, rivers, and aquatic fields which are concerning sources of nanoparticle pollution [63,64]. In a very large geographical area, the depositions of nanoparticles can be observed in soil texture [65]. Sujatha et al. investigated the ecotoxicological consequences of TiO₂ nanoparticle (NPs) exposure on aquatic life. They have chosen zebrafish as a model system. During the study, a decreased activity of acetylcholine esterase, as well as enzymatic and non-enzymatic antioxidants, was observed. Vice-versa, there was an increase in protein content, reactive oxygen species (ROS), protein carbonyls, and lipid peroxidation products [66]. TiO₂ NPs induced oxidative stress which results in respiratory distress in zebrafish. In drug delivery processes, nanomaterials chemically react with cell surfaces and may change cell properties [67]. A study by Kocbek et al. revealed that during in vitro toxicity study of ZnO and TiO₂ nanoparticles on keratinocytes for short and long-term application, it results in decreased mitochondrial activity, loss of normal cell morphology, and arrest in the cell cycle

when exposed to a long duration at 10 mg/mL⁻¹ concentration of ZnO nanoparticles [68].

In the present review, an attempt has been carried out to access the toxic nature of nanomaterials, their exposure, impacts on humans, animals, and the environment along with their fate in the environment, and challenges faced for proper disposal to make a sustainable environment. Various applications of nanomaterials have also been discussed.

2. Classification of nanomaterials

Nanomaterials illustrate various classifications due to their unique characteristics. Classification is based on numerous properties such as dimensions, occurrence/origin, chemical compositions, natural and synthetic, toxicity nature, and many more. Nanomaterials can be broadly classified based on their origin (natural and artificial), chemical properties (organic, inorganic, and mixed), and homogeneity (single or hybrid composition) [69]. The natural and incidental origin of nanoparticles commonly referred to as ultrafine particles includes erupting volcanoes, soils, sand storms, forest fires, and breaking sea waves [70]. Certain forms of clay also comprise 1 nm thick nanoplates stacked to 70 to 150 nm in width. Natural sources of nanomaterials are also found in living organisms, for example, biogenic magnetite, a ferromagnetic crystalline composition coupled with magneto reception in some animals, ferritin, which acts as iron storage protein, and calcium hydroxyapatite, the hard nanocrystalline component of bones [71]. Recently, the presence of fullerenes has been detected in space [72]. NMs can be categorized into various groups based on different criteria. Usually, NMs can also be classified according to their dimensions, morphology, state, and chemical composition [73]. However, several authors have classified nanomaterials based on five factors: nanoparticle geometry, morphology, composition, uniformity, and agglomeration [74–76].

Further based on nanoparticle geometry, nanomaterials are classified as 1D, 2D, or 3D [75]. According to electromagnetic properties and chemistry, NMs exist in discrete forms, suspensions, and colloids, or an agglomerated state, for example, magnetic NPs present in a bunch of an agglomerate state unless their surfaces are functionalized [77]. Further on the chemical composition, NMs have been classified as single constituent NPs and nanocomposites. In carbonaceous NMs carbon exist as fullerenes, graphenes, and carbon nanotubes (CNTs). Metallic NMs, are prepared from various forms of metals such as iron, copper, silver, zinc, alumina, silica, and titania. Branched dendrimers represent another kind of NMs having branch-like structures with nanoscale dimensions. Nanocomposite materials are organized by mixing of NPs into a matrix of standard materials to improve further properties like toughness, mechanical strength, and electrical or thermal conductivity [77]. The various kinds of nanomaterials and their classifications have been shown in Fig. 1 based on the above-mentioned criteria.

3. Characterization of nanomaterials

Nanomaterials are characterized by the presence of free nanoparticles in several nano dimensions i.e., 1D, 2D, or 3D, and are classified as nanosheets, 2D needles or filaments, and 3D particles, etc. Such geometries can be found in adjacent solids as dispersed or precipitated phases or adjacent nanocrystals forming nanograin solids. These nanomaterial structures are characterized by using principal imaging techniques like scanning/transmission electron microscopy (SEM/TEM), scanning tunneling microscope (STM) and atomic force microscope (AFM). SEM and TEM are the

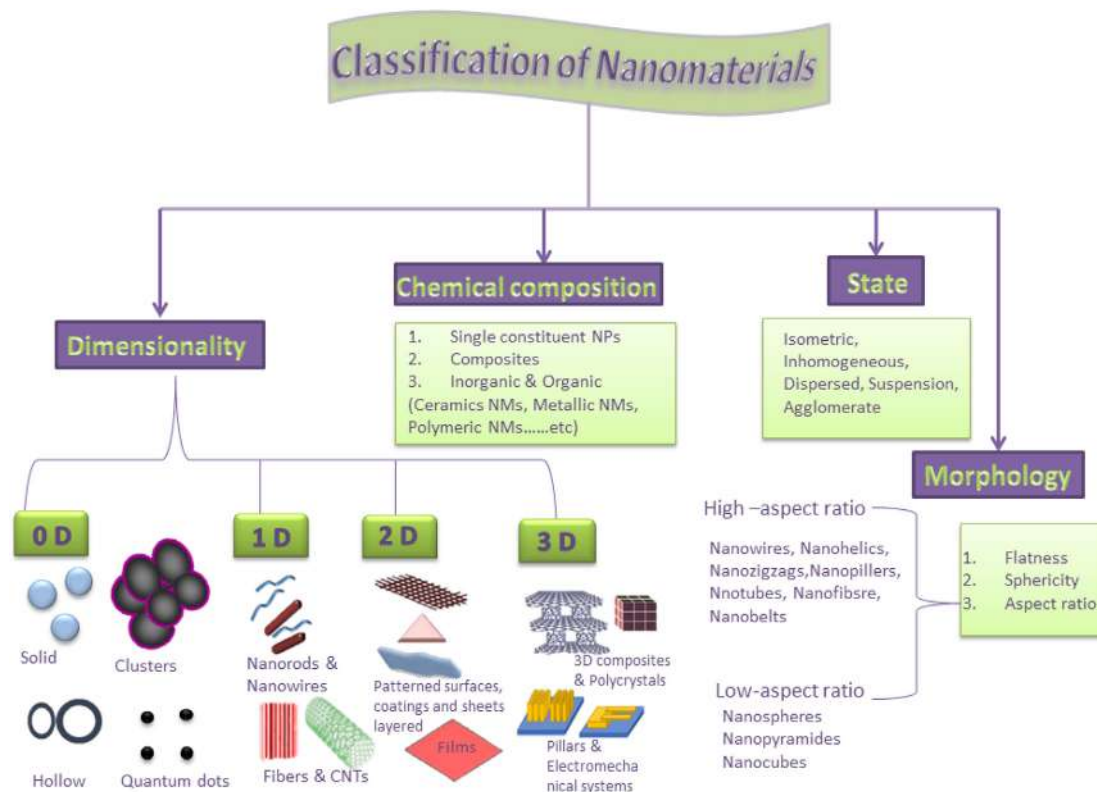


Fig. 1. Classification detail of various kinds of nanomaterials.

most commonly used tool in characterization because nanomaterials can be readily prepared and examined directly through SEM and TEM with resolutions nearly equal to 1–10 nm and < 1 nm, respectively. Whereas, atomic lattice structures can be characterized by either a single atom or crystal lattice plane levels at higher resolutions [78]. Microscopy, light scattering, and light spectroscopy are used for measuring the particle size of nanomaterials.

Hyphenated techniques based on chromatography or electrophoresis, and size-separation of colloidal suspensions, are also used [79]. Nanoscale materials have far larger surface areas than similar masses of bulk materials. As the surface area per mass of a material increases, a greater amount of the material can come into contact with surrounding materials, thus affecting reactivity. BET surface area analyzer is used to measure the surface area [33]. Functionalization and surface treatment of nanomaterials is an area of crucial importance in the emerging field of nanotechnology. Controlling the surface chemical composition and mastering its modification at the nanometer scale are critical issues for high-added value applications involving nanoparticles. The basic applications of surface functionalization range from altering the wetting or adhesion characteristics and improving the nanoparticles dispersion in matrices to enhancing the catalytic properties and ordering the interfacial region.

The creation of specific surface sites on nanoparticles for selective molecular attachment is a promising approach for their applications in nanofabrication, nanopatterning, self-assembly, nanosensors, bioprobes, drug delivery, pigments, photocatalysis, LEDs, etc. Novel and improved synthesis methods and approaches are being explored for controlling and functionalizing the nanoparticle surfaces to enhance the overall performance of the nanoparticles for targeted applications [31]. X-ray diffraction is a powerful nondestructive technique for characterizing the crystallinity of materials. It provides information on structures, phases, preferred crystal orientations (texture), and other structural parameters,

such as average grain size, crystallinity, strain, and crystal defects [33]. Particle size distribution, shape, surface area, surface chemistry, solubility, etc. also play an important role in nanomaterial chemistry.

4. Applications of nanomaterials

Nanomaterials have various applications in the fields of medicine [25], agriculture [26], food industries [27], biotechnology [28], and electronics [36], as they differ in physicochemical properties as compared to their counterparts. The small size, large surface area, and elevated surface energy of miniature particles in comparison to bulk material are responsible for these properties [38]. A large number of applications in various fields have been explored in the development of the first nanoceramics during the 1980 s. Nanoceramics are stable and economic in comparison to their metallic counterparts [38]. Nanomaterials and their various forms have been widely and commonly used in household items such as sunscreens, socks, sports gear, garments, bedding items, detergents, mobile phones, and also in electronic gadgets. These vast applications of nanomaterials are due to the specific characteristics of materials. Mostly color, strength, conductivity, and reactivity of nanomaterials can be changed substantially according to desire, by manipulating their atoms.

Probably, nanomaterials are perfectly safe for general purposes mostly in the solid form [80]. Furthermore, nanomaterials possess some antimicrobial properties so they have been utilized in water disinfection [81]. Nanotechnology provides an opportunity for enhancement in the development of wastewater treatment technology for better sustainable water supply systems Ganesh et al., have utilized AlTiPbO Nanoparticles (ATPO-NPs), prepared from Eriochrome black-T as a potential adsorbent for the removal of toxic dye from the aqueous phase [82]. The isotherms and kinetic study reveal that ATPO-NPs have effectively been reused up to

the 5th cycle of adsorption. It can remove up to 1000 mg/g of dye from the waste-containing industrial sample. Arora et al., and Soni et al., have explored nanoporous MOFs and modified MOFs for the removal of organic dyes from wastewater [31,33]. Nanomaterials have many folds of applications in various fields making life easier by adopting technology based on these applications. The detail of applications of nanomaterials has been described below.

4.1. Nanobioremediation

Nanobioremediation is an emerging technology for the removal of pollutants from the environment by using biologically synthesized nanoparticles which show a significant role in manipulating and detoxifying various pollutants. The nanobioremediation process is a nontoxic and economic method for providing a sustainable environment [83]. Nanomaterials are potential candidates for the bioremediation process, due to less toxicity towards microorganisms. Moreover, these exhibit better microbial activity against particulate waste and toxic material thus saving time along with cost reduction during the remediation process [84]. Carbon nanotubes, nano iron and its derivatives, nanosized dendrimers, engineered nanoparticles, and single enzyme nanoparticles are examples of nanomaterials used in nanobioremediation [84,85]. Some of the engineered polymeric nanoparticles have been utilized in the bioremediation process of hydrophobic contaminants [86] and soil remediation [87]. In uranium bioremediation, biogenic uranite-based nanoparticles have been utilized [88]. Moreover, some biologically synthesized nanomaterials obtained from organisms such as *Gundelia tournefortii*, *Centaurea virgata*, *Reseda lutea*, *Scariola orientalis*, *Eleagnum angustifolia*, *Bacillus* sp., and *Noaea mucronata* for the accumulation of heavy metals mostly focused on Cu, Zn, Pb and Ni [84,85,89]. Lincy et al., have demonstrated that nanoparticles increase the adsorption rate of dye and removal efficiency due to their smaller BV size and increased surface-to-volume (S/V) ratio. During their experiment, 82.4 % of azo blue dye was removed with an initial dye concentration of 25 ppm [90].

Silver nanoparticles have shown an admirable decoloration of more than 85.8 %, within 24 h when it is incubated with *Aspergillus niger* broth containing Congo red [91]. Nano-scale ZVI has shown up to 99.9 % remediation of lead (Pb) from contaminated water [92].

4.2. Biogas production

Anaerobic digestion is a multifaceted microbial process for the conversion of organic compounds such as animal manure, agricultural residues, industrial waste food, and sewage sludge into biogas/methane [93]. It consists of four microbial sequential stages namely hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis, and methanogenesis which are carried out by a consortium of microorganisms [94]. The obtained final product i.e., biogas, which mostly consists of methane (CH₄) 60–70 %, Carbon dioxide (CO₂) 30–40 %, and some other gases like ammonia (NH₃), hydrogen sulfide (H₂S), hydrogen (H₂), nitrogen (N₂), oxygen (O₂) and little amount of water (H₂O) vapors [95–98]. Mona et al. reported the application of nanoparticles in anaerobic digestion and its mechanism which deals with the biogas production rate. Along with NPs studies, ZVI NPs is considered potent nanomaterials for enhancing biogas production via stabilizing the process of anaerobic digestion as well as stimulating the growth of beneficial microorganisms and enzymes evolved in the process [99]. In 2011, the impact of particle size of nano-metal oxides such as CuO, and ZnO was studied on methane and biogas production during anaerobic digestion [100].

Using NPs is beneficial due to its precise dosing of ions thus enabling enhancement of the anaerobic digestion process, which leads to higher biogas production. On the contrary, the large-

scale application of NPs might have some concerns regarding toxicity and environmental issues [101]. Abdelsalam et al., have demonstrated the effect of 20 mg/L⁻¹ Fe₃O₄ NPs on methane (CH₄) production from cattle dung slurry [102]. The investigations have shown an increase of 1.7 and 2.0 times, in the biogas and CH₄ production by the addition of 20 mg/L⁻¹ Fe₃O₄ NPs. Similarly, CH₄ production was increased by 120 % with the addition of 100 mg/g⁻¹ TSS Fe₂O₃ NPs [103]. Moreover, Rana et al., investigated the effects of different doses of α -Fe₂O₃-nanoparticles (IONPs) on the growth and biogas production potential of *Chlorella pyrenoidosa*. The highest growth (2.94 ± 0.01 g/L) of microalgae at 20 mg/L was observed in the study. A net augmentation in biomass, biogas, and methane production was achieved by 98.63 % at 30 mg/L IONPs supplementation [104].

4.3. Drug delivery

Mesoporous silica nanoparticles (MSNs) have fascinated and drawn attention due to their biomedical application. Due to mesoporous structures and high surface area, MSNs proved a potential candidate over conventional drug delivery systems [105]. In the year 2001, the first report of using MCM-41 type mesoporous silica particles (MSNs) as a drug delivery system has been introduced. An exponential increase in the applications of MSNs has been observed in biomedical research [106]. However, various applications of MSNs as nanocarriers, with unique mesoporous structures have been investigated as efficient drug delivery systems which act as therapeutic agents in fights against several kinds of diseases like diabetes [107,108] cancer [109] inflammation, [110] and in bone/tendon tissue engineering [111–124].

An ocular drug delivery system needs efficient drug delivery to the eyes because of several anatomical barriers and the clearance mechanisms present in the eye. Since nanomaterial-based drug delivery will be more advantageous as compared to conventional methods. Scientists have been using liposomes, polymeric micelles, liposomes, cyclodextrins, hydrogels, and dendrimers, to enhance the bioavailability of ocular therapeutic agents in ocular drug delivery systems [115]. Recently nanocarrier-based ocular drug delivery systems are getting the most capable tool to fulfill the demands for an ideal ocular delivery system. Its small size makes it more appropriate for high diffusivity across the corneal epithelium membranes. Several studies have already demonstrated that the application of such nanomaterials through topical administration improved the corneal permeability of drugs [116–119]. Moreover, advancement in nanotechnology applications has been utilized in ocular drug delivery systems consisting of copious nanostructure carriers as probable ocular drug carriers [120]. Additionally, Ludwig has explained the employ of mucoadhesive polymer-based nanostructures in the ophthalmic delivery of drugs. It showed an enhancement of targeting and provided retention of the drugs at tissue sites such as the corneal surface [121].

4.4. Vaccine development

Vaccines are widely considered crucial immunological tools to fight against infectious diseases by providing long-lasting defensive immunity with good antibody response [122]. Nanoparticles have a wide range of biomedical applications due to their unique physicochemical properties as compared to other bulk chemicals [123]. NPs are capable to penetrate deeply into tissue and improve cellular uptake as well as escaping from lysosomal compartments [124–126]. At present time, the world is facing covid-19 pandemic and it has infected millions of people due to its high pervasiveness, long incubation period, and lack of well-supporting treatments or vaccines with no clear signs of abatement which make it even more terrible. Nanomaterials are potential candidates for antigen

delivery, as adjuvants and as mimics of viral structures. Hence the first vaccine developed into clinical trials is an mRNA vaccine which was delivered with the help of lipid nanoparticles [127]. The prime role of the adjuvant is to enhance the specific response of the particular immune system to the least amount of the antigen supplied via the activation of antigen-presenting cells [128]. Available vaccines like diphtheria, tetanus and influenza type b are making use of the adjuvanticity of AI NPs. These adjuvants are mostly used in vaccines to build strong antigen-specific immune responses [129].

Similarly, SiNPs and other antigen carriers, recently used are capable of controlled antigen release in vivo. This method has elevated the magnitude of both humoral and cell-mediated immune response against porcine circovirus type 2 in the rat [130]. Hyaluronic acid (HA) is another potential candidate for a nanoparticle vaccine being biodegradable, native to the human body, and has been successful in cancer therapy clinical trials [131]. HA consists of repeating units of D-glucuronic acid and N-acetyl-D-glucosamine, having a native biological role that depends on the length of the polysaccharide [132]. Dodi et al. investigated Au nanoclusters as carriers in the preparation of synthetic carbohydrate vaccines. Gold glyconanoparticles act as synthetic tetrasaccharide epitopes related to *Streptococcus pneumoniae* type 14 capsular polysaccharide (Pn14PS), the T-helper ovalbumin 323–339 peptide (OVA_{323–339}). The cytokine levels confirmed that glyconanoparticles help in T-helper cell activation. The antisaccharide antibodies promoted phagocytosis of type 14 bacteria by human leukocytes, indicating the functionality of the antibodies [133].

4.5. Water disinfection

Water disinfection methods have been developed to provide safe water. It works on the principle of inactivating and removing pathogens to provide safe drinking water without contamination by microbes [134]. Several methods have been developed for water disinfection such as the use of ozone, ultraviolet (UV) radiations, chlorine, heat sterilization, and filtration through the size exclusion technique [81]. The process of photocatalysis is gaining more attention over traditional water treatment technologies for water-borne biohazard inactivation. 2D nanomaterials-based novel photocatalysts have been used as building blocks for photocatalytic water disinfection viz. graphene, graphitic carbon nitride, 2D metal oxides, and metallates. Metaloxyhalides and transition metal dichalcogenides have been introduced for the photocatalytic pathogen inactivation process [135]. Due to unique properties in structural features as compared to 0D and 1D nanomaterials, 2D nanostructures pose superiority in architecture modulation, light harvesting, charge separation, and tenability providing suitable sites for pollutant adsorption and surface reaction [136].

Nanoparticles have proved better disinfectants in comparison to chemical disinfectants viz. sodium hypochlorite (NaClO) and phenol (C₆H₅OH) [137]. The porous Ca-Si-based nanospheres can act as intracanal disinfectants-carrier and hence can serve in infected canal treatment [138]. Nano disinfectants developed into biofilm have shown excellent antimicrobial activity against some bacterial pathogens e.g., *Salmonella* and *Staphylococcus* sp. [139–142]. Consequently, an antimicrobial nanomaterial provides a substitute for energy-efficient methods for water disinfection [136 s]. Graphene-based nanomaterials and their derivatives have been introduced recently as potential antimicrobial disinfectants. Graphene materials (GMs) are broad-spectrum antimicrobial agents, capable to inactivate and control various kinds of living organisms. GMs consists of graphene, pristine, graphene oxide (GO), and reduced graphene oxide (rGO). They possess properties and superior structures capable to overcome pathogenic microorganisms

and act as potent disinfectants due to specific structural and related properties [143].

4.6. Other applications

To examine the effectiveness of polymer-based nano-adsorbents for the adsorption of anionic and cationic dyes in the aqueous phase, nanostructured sulfonated polypyrrole adsorbents have indeed been developed by copolymerizing pyrrole and sulfophenylenediamine [144]. This increased number of functional groups, like NH/NH₂/SO₃H present in the copolymers, may be the cause of the polymer-based (PPY-SPDA) adsorbents' high adsorption efficiency toward the anionic and cationic dyes in aqueous solution. In the batch adsorption method, the effects of temperature, pH, dye concentration, contact time, and adsorbent dosage have been researched. For the adsorption of Congo Red dye, a dosage of 0.15 g (PPY-SPDA) of adsorbent over a period of 3 h at pH 1 resulted in a 100 % adsorption efficiency.

Similarly, comprehensive review work offers a thorough analysis of the removal of pollutants from a multi-component system when there are other contaminants present (MCS). The many synergistic, antagonistic, and non-interactive interaction processes that could occur in MCS are reviewed. A detailed explanation of the MCS, which contains a combination of traditional toxins like heavy metals and colors and other emergent contaminants like antibiotics, organic contaminants, pesticides, and personal care items. Researchers interested in the simultaneous removal of pollutants from MCSs for wastewater cleanup will find the review paper useful [145].

The banana peel biochar (Ag-BBc) composite was successfully tailored using a green synthetic method. Ag nanoparticles were made using *Azadirachta indica* leaf extract as a reducing agent, while biochar was produced by pyrolyzing banana peels [146].

Through its use in energy storage and environmental restoration, the nanocomposite was examined for its multifunctionality. By using a variety of analytical techniques, the prepared composite was thoroughly characterized. Cyclic voltammetry and galvanostatic charge-discharge methods were used to examine the electrochemical aspects. Ag-BBc composite's enhanced specific capacitance was measured at 655 Fg⁻¹ in 1 M.

By using a bimetallic composite made of silver (Ag) and copper (Cu) as well as ultrasonic technology, the study attempted to remove the dye rhodamine B (RhB) and the insecticide dichlorophenoxy acetic acid (2,4-D) from an aqueous matrix [147]. When compared to Ag/CNF and Cu/CNF, Ag-Cu/CNF demonstrated superior adsorptive efficiency. Freundlich and Langmuir's isotherms were used to study the equilibrium of adsorption. Following analysis of the data, it was concluded that the Langmuir model best fit the equilibrium data, with maximum adsorption efficiencies of 201 mg/g for RhB and 112 mg/g for 2,4-D, respectively. Sonosorption is a successful choice for starting the adsorption phenomena due to convenient and easy diffusion, according to a comparison of adsorption assisted by ultrasound, magnetic stirrer, and vortex shaker-assisted methods.

The transport, fate, and distribution processes of PAHs in the environment with their influencing elements were detailed in a recent review study. Additionally, this research offered a summary of many conventional and cutting-edge prospective treatment methods utilized to clean up PAHs-contaminated locations, including nano-adsorption, chemical, thermal, electrokinetic, and biological treatments [148].

However, another study found that the most widely used adsorption method was superior because of its effectiveness, affordability, and simplicity of use. To assess the mass transfer mechanisms, the effectiveness of the nano-adsorbents was explained using adsorption kinetic models. However, several

degrading techniques, such as catalytic reduction and photocatalysis, have also been developed. For the removal of pesticides from water, a variety of strong metals, metal oxide, and functionalized magnetic nanoparticles have been highlighted, organized, and compared. Additionally, the published work has suggested future directions as well as existing difficulties addressed by researchers [149].

5. Exposure and toxicology of nanomaterials

5.1. Effect on human beings

Nanotechnology is defined by The US National Nanotechnology Initiative (NNI) as “using and control of materials and structures with nanoscale dimensions, approximately between 1 and 100 nm, and that unique phenomenon enables new applications.” Novel scientific reports expound on the potential benefits of nanotechnology. Based on these investigations more and more nanomaterials are expected to be used and offer a lot of benefits in numerous fields in industrial products and consumers including, cosmetics, medicine, food, and agriculture. This will result in the enhancement of exposure to nanomaterials by humans at their workplaces and daily lives [150]. People are exposed to a large range of natural and artificial nanoparticles via the environment, water supply, air, food chain, drugs, and medical applications [151]. To explain the modes of action of nanomaterial toxicity, it becomes necessary to underpin the processes of its environmental fate and behavior. Firstly, it is required to characterize the materials used in different studies as far as possible and compulsory.

5.2. Sources of exposure to nanomaterials

There are numerous examples of potential nanomaterials that may be exposed to humans during daily routines, for example, erosion from artificial materials such as ultrafine particles from car

tires on roads. The particle diameter ranges from 15 to 50 nm [152]. Other ultrafine particles from vehicle exhausts, ranging from 18 to 300 nm, during the morning rush hours have the highest concentrations, especially of particle size < 50 nm. Exhaust concentration depends on vehicle type and speed [153]. Aerosol emissions from highway roads, where the particle size was < 50 nm increased generally with vehicle speed [154]. Volcanic eruption is a natural source of dust and ash containing ultrafine particles which are respirable affecting the respiratory system health [155]. Iron oxide nanoparticles (4–6 nm) utilized in ultrafiltration technology to improve disinfection of water supplies are left in drinking water in trace quantities [156]. Iron sulfide nanoparticles help in the removal of organochlorine pesticides from drinking water supplies to improve the quality of drinking water [157]. Silver nanoparticles coated with polyurethane foam have been used as low-cost and efficient agents in killing bacteria or providing an antibacterial filter for water treatment [158].

Radioactive nanoparticles are sparsest in the environment in small quantities but they could have access to groundwater and lungs through aerosol uptake [159]. Zerovalent metal nanoparticles containing iron used in soil treatment and removal of chlorinated hydrocarbons from contaminated soil can transfer to humans and animals through food chains [160]. Application of 1–2 kg of the active ingredients of nanoparticles containing fungicides to control fungal infection in soils may transfer kilos of the new nanomaterials in the soil to food chains through planted crops in the soil [161]. Another source is medical fluorescent nanoparticles used for imaging and detection of tumor cells in breast cancer along with potential application in chemotherapy (targeted drug delivery) [162]. Medical Chitosan nanoparticles are utilized in bone cement which is used to fix implants to combat bacterial contagion in bone surgically [163]. The utilization of medical nanocrystals has been reported for the delivery of anti-nausea and vomiting drugs used for the control of side effects of chemotherapy [164]. Various sources of the exposure of nanomaterials to the human body have been illustrated in Fig. 2.

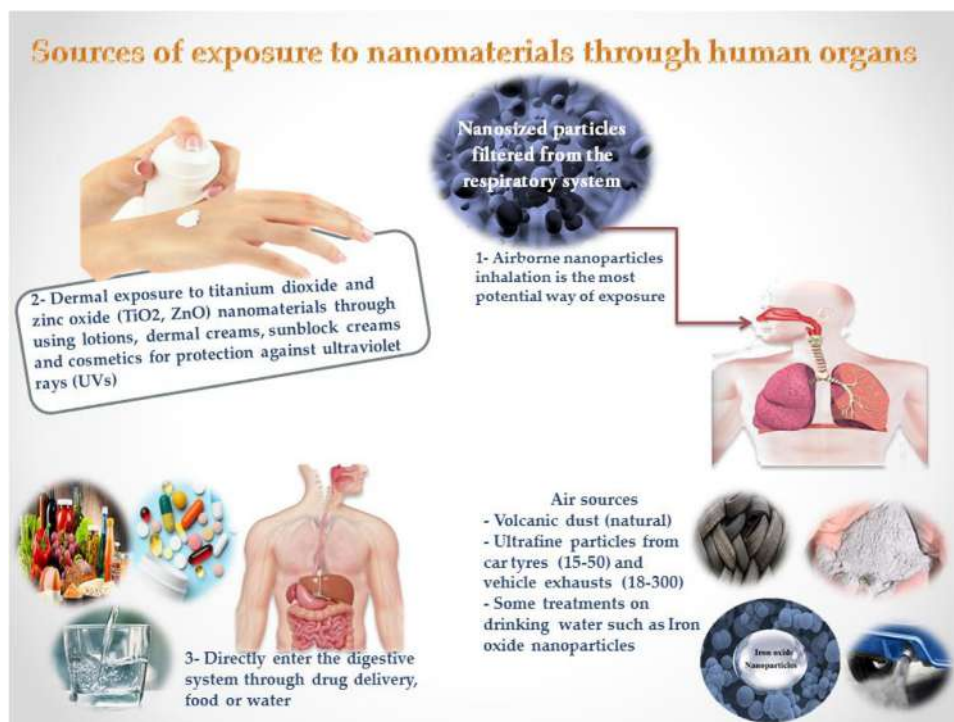


Fig. 2. Sources of exposure of nanomaterials to the human body.

5.3. Entryways of nanoparticles into the human body

Once nanoparticles enter the body, they may be translocated by blood circulation. Their plausible allocation in the body may be related to their surface characteristics and size such as lipophilicity, polarity, hydrophilicity, and catalytic activity [165,166]. As the particle size decreases, per unit surface area increases, and thus, the nanoparticles are expected to display increased biological and chemical activity in the human body [167,168]. As a result, it can be concluded that smaller size of nanoparticles might be more toxic and taken up faster than the larger ones by the cells. Nano-sized particles (NSPs) inhalation and entry through the respiratory system is the most potent way of exposure to nanoparticles. Exposure via other routes is less rational unless it is because of dermal contact of skin creams and oils, direct ingestion through drugs and food delivery, and nanoparticle-treated membranes in a water filtration system [169].

5.3.1. Respiratory system

Airborne nanoparticles inhalation is the most common way to enter the human body. Several researchers have reported that the inhaled nanoparticles are efficiently distributed by diffusion mechanisms in the lungs. The most common nanomaterials which easily enter the lungs are ball-shaped solid materials [170]. An exploratory study made about the pulmonary effects of single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) by two separate groups concluded that carbon nanotubes (CNTs) can reach the lungs and cause more severe effects than carbon black or quartz [171,172]. A more in-depth study about the threshold length of nanofibers that prompt acute pleural inflammation was made by Schinwald et al., They utilized five defined length classes of silver nanofibers. Carbon nanotubes and nickel nanofibers were used to set the relationship between pleural inflammation and fiber length. The results showed a threshold effect which indicates that fibers pathogenic to the pleura are above 4 μm in length [173].

Moreover, the results can give a better understanding of the toxicity–structure relationship of asbestos-induced mesothelioma and eventual risk assessment for the aim of engineering non-pathogenic synthetic nanofibers. Likewise, toxicologic studies utilizing rodent models proved that some types of carbon nanotubes can have the ability to induce mesothelioma [174–176]. This later leads the World Health Organization (WHO) to evaluate rigid, long multi-walled carbon nanotubes as potentially carcinogenic to humans (International Agency for Research on Cancer, IARC Group [177]. Long, rigid CNTs can be more hazardous as compared to shorter ones [178].

A study made by Zhang et al. evaluated nanoparticle precipitation in the upper human airway system. The precipitation of nanoparticles with high concentrations appears around the carinal peaks as compared to the straight segments in the bronchial airways but, precipitation allocations are more regular along the branches of the airway [179]. Precipitation depends on particle size, bifurcation, and inhalation stream rate. The relatively massive regular distribution of nanoparticles leads to major toxicity as it possesses more area to interact with the cell membranes as well as transportation and absorption of toxic substances. Cell line A549 of human lung cancer has been utilized as a model for in vitro cell culture to study the toxicity of nanomaterials. Cell line A549 was used by Foldbjerg et al., to investigate the silver nanoparticle's genotoxic and cytotoxic effects. They used flow cytometry and atomic absorption spectroscopy to measure the cellular uptake of the nanoparticles. They studied the cytotoxicity dose-dependence of silver nanoparticles by the annexin V/propidium iodide assays and MTT. The silver nanoparticles' cytotoxicity was extremely reduced by pretreatment with the *N*-acetyl-cysteine antioxidant. They confirmed a strong linkage between reactive oxygen species

(ROS) levels and mitochondrial damage along with early apoptosis [180]. The ROS-induced DNA damage has been measured after nanoparticle exposure by increased DNA adducts through ^{32}P -post labeling. The cellular ROS levels were strongly linked with the DNA adducts level and were blocked by antioxidant pretreatment. The results suggested that silver nanomaterials act as the mediator of genotoxicity and ROS-induced cytotoxicity. Hazard damage might happen when exposed to nanomaterials through inhalation; NMs size allows endocytosis to perforate a cell and transcytosis to perforate several cells, one after another. Thus, when they are inhaled, NMs can reach the nervous ends of the olfactory epithelium and can travel upstream the axons towards the olfactory bulbs in the brain thus affecting neurons. NMs can reach the brain through the lungs, followed by blood, and finally the blood–brain barriers. They can also reach other organs via blood circulation such as the heart, bone marrow, spleen, and lymph nodes. They can cause inflammation, antioxidant and pro-oxidant activities, and oxidative stress. The effect depends on the dose and type of nanomaterial [150].

5.3.2. Skin layers

The skin is the largest organ of the human body and the fundamental route of exposure to the external environment. Skin structure consists of three layers: epidermis, dermis, and subcutaneous tissue. Dermal exposure is the second serious uptake source for nano-sized particles after the uptake from the respiratory system. There is augmented interest in investigations related to titanium dioxide and zinc oxide (TiO_2 , ZnO) nanoparticles as these are utilized in various lotions, dermal creams, sun-block creams, and cosmetics for protection against ultraviolet rays (UVs) which can cause melanoma. Titanium dioxide (TiO_2) nanoparticles (5–20 nm) can infiltrate into the skin cells and intervene with the immune system function. Anatase TiO_2 nanoparticles (10 nm and 20 nm) can cause lipid peroxidation, oxidative DNA damage, and micronuclei origin. They also boost nitric oxide and hydrogen peroxide production in BEAS-2B cells which behave as human bronchial epithelial cell lines in the absence of photoactivation [181]. Consequently, it can be easily concluded that the smaller the nanoparticles, the easier skin perforation and damage induction. It was discovered that the photocatalytic activity of the anatase TiO_2 is higher than that of rutile. 200 nm rutile titania can induce oxidative DNA damage in the absence of light while the anatase of titanium dioxide remains inactive. The uptake of materials via the skin is a rather complicated process controlled by both external and internal factors [182].

The zinc oxide NP's toxic response was estimated in human epidermal keratinocyte cells by Lee et al. 2012. Results showed that ZnO NPs lessened the mitochondrial function and caused leakage of lactate dehydrogenase enzyme (LDH) which is a prediction tool for cutaneous lymphoma. Moreover, induction of both LPO and ROS was observed which indicates that ZnO nanoparticles motivated oxidative stress. These results clarified the significant cytotoxicity in human epidermal keratinocyte cells. Clinical side effects of nanoparticles following topical admonition, including skin inflammation, skin cancer, and genetic toxicity, etc. resulting from skin exposure have been summarized in Table 1 [183].

5.3.3. Digestive system

Nanosized particles can enter the digestive system through filtration from the respiratory system or directly through drug delivery, food or water. Several reports are available in the literature which deal with the uptake of NMs in the intestines. Most of them showed that the nanosized particles pass through the intestinal tract and can rapidly be gotten rid of [169]. An important study was made by Bettini et al., to evaluate the uptake effects of food grades containing titanium dioxide nanoparticles (TiO_2 -NPs) which

Table 1

Types of NPs, doses, size, study at various medium and final findings of various nanomaterials.

Type of nanoparticle	Dose / size of nanoparticle	In vivo/ex vivo/in vitro study	Finding	Reference
TiO ₂	400-μg TiO ₂ per cm ² , 4–90 nm	In vivo porcine ear skin	Discovered in the SC, stratum granulosum, prickle cell layer and basal cell layer but not in dermis	Wu <i>et al.</i> , 2009
TiO ₂ and ZnO		Ex vivo porcine	skin Able to penetrate through porcine skin, but not to deeper layer	Gamer <i>et al.</i> 2006
TiO ₂ and ZnO	ZnO: 3.0 μmol/g, TiO ₂ : 0.41 mol/g	In vivo	skin obtained by biopsy with present at the skin surface and in the uppermost SC regions	Filipe <i>et al.</i> 2009
ZnO	Uncoated (65.5 ± 35.6 nm) and coated (74.3 ± 32.3 nm)	In vivo human	skin Penetration only into the superficial layers of the SC, with no penetration to the viable epidermis and no apparent toxicity in the viable epidermis	Leite-Silva <i>et al.</i> 2016
ZnO	19 and 100 nm	In vivo human	⁶⁸ Zn was not detected in blood and urine, and only trace was tracked after 5 days	Gulson <i>et al.</i> 2010
Silver	20–80 nm, 34.0–0.34 μg/ml	In vivo porcine skin	On top of the SC and the superficial layers of SC	Samberg <i>et al.</i> 2010
Silver	20–50 nm	<i>In vitro</i> the mouse skin samples from the Franz diffusion cell system. Investigation on dependence of the nanoparticle's shape on penetration was carried out.	TNP in the SC region whereas SNP in a viable epidermal layer was observed, indicating that both TNPs and SNPs could not penetrate through the dermal–epidermal junction into the underlying dermal layers. Rod-shaped nanoparticles were observed with high penetration ability through dermal–epidermal junction	Taket <i>et al.</i> 2015
Silver	SNPs: 50 nm, length and diameter of RNPs: 50 and 20 nm, TNPs: 2 nm thick equilateral triangular length of 50 nm	<i>In vitro</i> Franz diffusion cell system In vivo mice skin	RNPs: most penetration, SNPs: moderate penetration, TNPs: lowest penetration, presence of an SC and a collagen- and muscle-filled dermis. No major differences with differently shaped AgNPs	Taket <i>et al.</i> 2015
Silver	10, 30, 50 μg/ml	<i>In vitro</i> human skin keratinocytes (HaCaT)	Observation of apoptosis symptoms, decrease of cell viability and induce production of reactive oxygen species	Auffanet <i>et al.</i> 2009
Gold	15 and 6 nm, 90 μg/ml	Ex vivo excised human skin	Aggregation of AuNP (15 nm) in aq. solution on the surface SC but penetration of AuNP (6 nm) in toluene through SC and into epidermal layers of human skin	Labouta <i>et al.</i> 2011
Gold nanorods	100 μl, 500 μg/ml	<i>In vitro</i> skin permeation using a Franz-type diffusion cell	Penetrated into the SC	Lee <i>et al.</i> 2013
Gold	2 μl (5–10 nm)	in vitro human keratinocytes cell line	Penetration of NPs through the barrier of the SC, epidermis and the dermis. Nanoparticles were found over 500 μm deep into the skin	Goldstein <i>et al.</i> 2014
Gold	22–186 nm	In vivo rat skin	In epidermal layers just below the SC	Raju <i>et al.</i> 2018
Gold	90 mg/ml, 437 mg/ml	<i>In vitro</i> human skin permeation using a Franz-type diffusion cell	Penetration increases with increasing concentration and property of hydrophobicity, also by decreasing the size of NPs	Labouta <i>et al.</i> 2011
Gold	109–1011 NPs/ml	Ex vivo rat hind-paw skin In vivo rat hind-paw skin	Epidermal penetration but in rats exposed to AuNPs demonstrated nanoparticles in blood, and histological analysis revealed	Raju <i>et al.</i> 2018
Quantum dot	8.40 × 5.78 nm; 1, 2 and 10 μM for 24 h	In vivo porcine skin	Penetration of QD through the uppermost SC layers of the epidermis and near hair follicles. QD were found in the intercellular lipid bilayers of the SC	Zhang <i>et al.</i> 2008

RNP: Rod-shaped nanoparticle; SC: Stratum corneum; SLN: Solid lipid nanoparticle; SNP: Spherical nanoparticle; TNP: Triangular nanoparticle.

were used as a white pigment in Europe (E171). This study was of utmost importance because daily oral intake of such TiO₂-NPs may be related to the increased risk of carcinogenesis and chronic intestinal inflammation [184]. After one week of oral exposure to E171 at human levels for rat models, regulatory T cells showed a decrease in inflammatory response inhibition. E171 use for one week did not launch intestinal inflammation, but a 100-day treatment confirmed micro-inflammation in the colon and initiated preneoplastic lesions, and also promoted the growth of aberrant crypt foci in chemically model-induced carcinogenesis. These results should be contemplated for risk estimation of exposure to

NPs from dietary sources leading to Th17-driven autoimmune diseases and colorectal cancer in humans.

5.3.4. Immune system

A review dealing with the immunotoxicity testing for safety estimation of nanomaterials marked that nanoparticles can catalyze or suppress the immune responses [185]. Nanomaterials can alter the production of cytokine. They motivate pro-inflammatory effects in the lungs of experimental animals with increased expression of Macrophage Inflammatory Proteins (MIP), Interleukin (IL), Monocyte Chemoattractant Protein (MCP),

keratinocyte chemoattractant, Granulocyte-macrophage colony-stimulating factor (GM-CSF), Chemokine (C–C motif) ligand 17 (TARC), activation of the stress-activated mitogen-activated protein kinases (MAPKs) p38 and Jun N-terminal kinase (JNKs). The results suggested that through the elicitation of an oxidative stress mechanism, nanomaterials may share pro-inflammatory disease operations in the lung, especially allergy diseases [186,187]. A positive role of nanomaterials in the immune system has been explained by Elechiguerra et al., in a study on the interaction of nanomaterials with microorganisms such as the HIV-1 virus. The silver nanomaterials under a size-dependent interaction with the HIV-1 virus showed that silver nanomaterials in the range of 1–10 nm exclusively united to the virus, because of this interaction, the silver nanomaterials prevent the virus from binding to the human host cells [188].

Oxidative stress is the main mechanism of toxicity in cellular organelles induced by engineered NPs due to some factors such as size, particle surface, presence of metals, and composition. Cellular oxidative stress causes damage to the mitochondrial membrane and immune cell activation acts as an early indicator of cellular stress. Mitochondrial membrane damage leads to mitochondrial abnormality function, a major step in cell death and cell injury [189,190]. Oxidative stress response which is caused by NP is a starter for numerous pathophysiological effects including; genotoxicity, fibrosis, and inflammation as investigated by activation of associated cell signaling pathways [191]. The cytotoxicity mechanism of SiO₂ nanomaterials in human embryonic kidney cultured cells (HEK293) has been investigated by Wang et al., They noticed a dose-dependent reduction in cell viability, a reduction in reduced glutathione content, and a rising level of intracellular ROS. These studies showed that the cytotoxicity of SiO₂ nanomaterials on kidney culture cells HEK293 was related to oxidative stress [192].

Besides the common paradigms of nanomaterial toxicity (inflammation and oxidative stress), there are other mechanisms of nanomaterial toxicity such as lysosomal and autophagy dysfunctions. Lysosomal cells are considered the most common NPs reservation and degradation intracellular sites. Lysosomal and autophagy dysfunction pathways have been attached to a variety of diseases. Autophagy dysfunction can be induced by some nanomaterials resulting in autophagic cell death or apoptosis [193]. Autophagy dysfunction has an important role in both cancer development and progression [194] as it might allow the damaged organelles such as mitochondria to pile up, which can further induce oxidative stress, DNA damage, and inflammation subsequently.

Vietti et al. highlighted the indirect and direct effects of CNT on fibroblasts. Both contribute to fibrogenic activity in the lung. Porter et al., carried out in vitro studies and revealed that a dose range of CNT between 1 and 100 µg/ml induces effects on the different cell types. The dose range used in in vivo experiments (10–100 µg/mouse, corresponding to 0.5–5 mg/kg) is relevant for the human exposure scenario [195].

5.3.5. Genotoxicity of nanomaterials

Several methods have been adopted for testing the genotoxicity of nanomaterials. They include mutations, chromosomal aberrations, micronucleus formation, oxidative DNA damage, DNA strand breaks, and DNA adducts [196,197]. Various studies reported that TiO₂ is genotoxic by its nature [165,198,199]. However, there are several studies [200–202] that reveal that TiO₂ is not genotoxic. Moreover, Sahu et al., utilized genotoxicity tests, the flow cytometric in vitro micronucleus test and the cytochalasin B-blocked micronucleus test, in vitro models (Caco2 cells from the colon and HepG2 cells from the liver) to compare the potential genotoxicity of two dissimilar sizes of nanosilver (20 and 50 nm) having similar surface charge, shape, composition and obtained from the

similar commercial source. They observed that the smaller size of nanosilver (20 nm) was genotoxic by inducing micronuclei for both the cell types, but the larger size (50 nm) produced a weak response [203,204].

6. Impact of nanomaterials on ecosystem and animals

Since the introduction of nanomaterials (NMs), new technology has been developing day by day and extended to include most life aspects. However, the toxic effect of such materials must be deliberated to evaluate their impacts on the living organisms which live in terrestrial and aquatic environments [205]. NMs elements and their physicochemical properties may act as disturbing factors for organism development which interfere with their ordinary physiological functions, causing malformations that can be lethal for the embryos and growing animals. Not only does the chemical structure of NMs affect normal mechanisms, but the size of NMs itself has some properties which interfere with the chemical, physical, and biological activities of living organisms [45]. Cells have different reactions according to NMs sizes. Tiny nanomaterials can enter the cell easily by penetrating its membranes and reach to organelles. TiO₂ nanoparticles can target mitochondria and cause mitochondrial dynamic imbalance [206]. It might alter the cell metabolism causing cell death ultimately. If NMs are not in small sizes, they can't break through the cell and overlap with the cell membrane disrupting its functions (e.g., signal transduction and ion transport).

Furthermore, membrane lipid bilayers can be destroyed by positive electric charges of NMs, and surface coating of nanomaterials can also cause a disturbance effect on cell structure [207]. In a previous study, the ecotoxicity effects on some fish species, algae, bacteria, and mollusks as well as mammals had been studied by Handy et al., [45] The data on biological effects revealed that nanomaterials can be toxic for these species. Diverse living models are used in more recent studies to measure the potential effects of NMs on living organisms. Using models from mammals (mice) or bony fishes (zebra fish) showed that nanomaterials (cadmium oxide NPs in mice and silica NPs in zebra fish) cause injurious effects on the embryonic and reproductive system [208,209]. Likewise, some more experiments with rat models showed the true hazardous effects of nanomaterials on the brain. During an experiment, an exhibition of Cu-NMs (40 and 60 nm diameter) encouraged an increase in brain capillaries endothelial cells when a low concentration of NM was applied (about 1.5 µg/mL) in the rat. Furthermore, higher concentrations (about 50 µg/mL) encouraged the increase of prostaglandin E₂. TNFα and ILβ Extracellular levels were significantly high and the toxicity affected the blood–brain barrier finally [210]. Similarly, another study on rat resulted that an exposition with 24 hours to Ag-NMs (25, 40, and 80 nm diameter) affected the blood–brain barrier, causing a pro-inflammatory reaction that developed later into a brain inflammation joined with neurotoxic effects [211]. In the same direction, a comparable investigation carried out on pigs resulted in a pathogenic effect on the blood–brain barrier in presence of 40 and 60 nm Cu-NMs, 25, 40, and 80 nm Ag-NMs and 3 and 5 nm Au-NMs [212]. While Au-NMs exposed cells in mice showed a heavy chain degeneration of a cytoskeleton protein clatter in 72 h [213].

For the liver organ, Van der Zande et al., treated rats for 28 days orally with 15–20 nm nanosilver. They observed that nanosilver particles reached all examined organs with elevated levels in the liver and spleen [214]. The data collected from numerous rodent models indicate that liver cells play the main role in nanomaterials metabolism [215], and most nanomaterials often accumulate in the liver [216] when taken by the oral path and hold in cells, leading to tissue damage. For the potential disorders in the cardiovas-

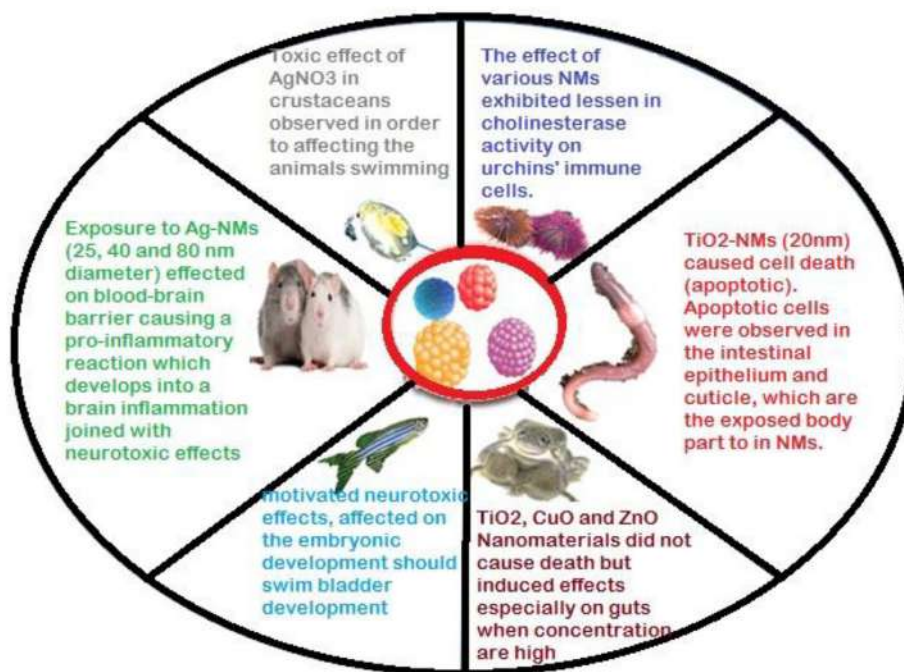


Fig. 3. Adverse impacts of nanomaterials on various animals and the environment.

cular system as a result of exposure to nanomaterials, Du et al., used rats' models to estimate the toxicity of silica nanomaterial. They used the hematologic parameters, oxidative stress, inflammatory reactions, myocardial enzymes in serum, and endothelial dysfunction [217]. Silica nanomaterials were detected passing into systemic circulation through the alveolar-capillary barrier. The results showed that the toxicity of silica nanomaterials in the cardiovascular system was dependent on dosage and particle size, the oxidative stress played a substantial role in endothelial dysfunction and inflammatory reaction. Persistent cardiac toxicity due to exposure to various sizes of gold nanoparticles by the tail vein in rats has been reported by Yang et al., They evaluated the cumulating Au NPs in the rat heart and the effects on cardiac function, structure, inflammation, and fibrosis. The left ventricular mass, the left ventricular end-diastolic inner dimension and body weight, heart weight were increased in rats receiving the smallest-sized gold nanomaterials (10 nm) after only 2-weeks of exposure. It has been concluded that cardiac hypertrophy is caused by gold nanoparticles [218].

Several experiments have been carried out using *Eisenia fetida* (earthworms). It was observed that apoptosis (cell death) increased after exposure to Ag-NMs (20 nm). Apoptotic cells were observed in the intestinal epithelium and cuticle, which are the body parts exposed directly to NMs. They also influenced the nutrient intake and the immune protection presented by chloragogenous tissue [219]. The effects of TiO₂-NMs on earthworms have been investigated by several co-workers. TiO₂-NMs (10 to 20 nm) concentration, higher than 1 g/kg of soil have hazardous effects on *Eisenia fetida* including damage to mitochondria, affecting enzymatic activities, and inducing apoptosis [220]. Fullerene-NM sublethal concentrations decreased HSP gene expression and the worms exposed to these nanomaterials showed cuticle damage, and pathological signs on the epidermis, intestinal barrier, and muscles [221,222]. Recently, an experiment was carried out by Bourdineaud et al., to measure the toxic impact of exposure to gold and silver nanoparticles (Au and Ag NPs) on the earthworm *Eisenia fetida* in soil. The results showed that both Au and Ag NPs caused oxidative stress as clarified by decreasing catalase levels and

increasing glutathione S-transferase and malondialdehyde concentrations [291]. Even at their lowest concentrations both Au and Ag NPs induced DNA modifications and they can suppress gene expression shared in the defense system and stress response. The negative impacts and exposure of nanomaterials on various forms of animals and the environment have been represented in Fig. 3.

Amphibians have destruction-reconstruction phases, but a lot of apoptotic cells were observed in tadpoles in that phase which make it fragile [223]. Transformation is under thyroid and pituitary control. Hence amphibians consider premium models to evaluate the toxic effects of substances such as NMs on the thyroid and pituitary. A study on *Xenopus laevis* tested Cu toxicity under three different forms. Cytotoxic effects depend on the compound formed and the cell cycle stage. Mitotic cells treated with the three forms of substances have a significant increase in the number of cell death and cells stopped division. Treatments after 48 h as well as 6 and 7 days, with 6 nm CuO-NM or Cu⁺⁺, respectively, induced a significant reduction of cell propagation and an increment in apoptosis (cell death) [224]. Another study on amphibian's embryonic development showed a weak fatal effect on embryos. TiO₂, CuO, and ZnO nanomaterials did not cause embryo death but induced teratogenic effects, especially on guts when concentrations are higher than 50 mg/L. ZnO-NMs caused the most damaging effects on the gut barrier which reached the connective tissue. TiO₂-NM showed weak teratogenic and hidden physiological effects [225]. An interesting study was dedicated to the transfer of NMs along the food chains by Unrine et al., when they exposed *Eisenia fetida* (earthworms) to 10–20 nm Au-NM which was later eaten by bullfrogs *Lithobatescates beianus* (Group I). The effect of NM exposure was compared with the bullfrogs, who directly consumed the same NMs (Group II). The presence of Au NM was detected in many organs viz. liver, intestine, spleen, muscle, kidney, and stomach of the frog. About 0.12 % and 0.09 % NM were detected in Group I and respectively. These results demonstrated the possibility of Au-NM transfer through food chains. Spence et al., studied the harmful effects of zinc oxide NPs on amphibian (*Taricha granulosa*) life stages. For the egg stage, the results showed that 10.0 and 100.0 mg of ZnO NPs caused higher mortalities. While larvae

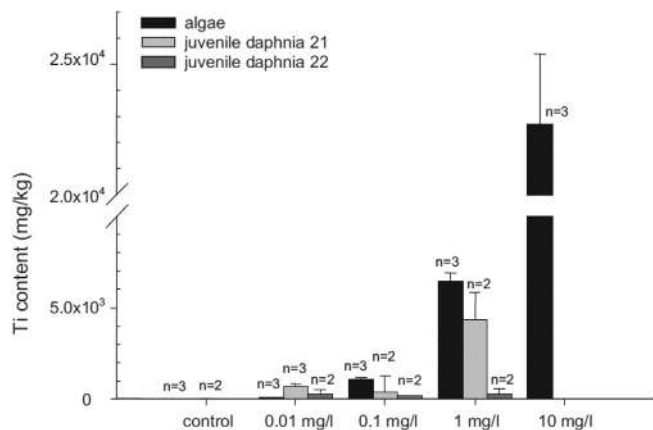


Fig. 4. Ti content measured by μ -XRF in contaminated algae and within individual daphnia juvenile [232].

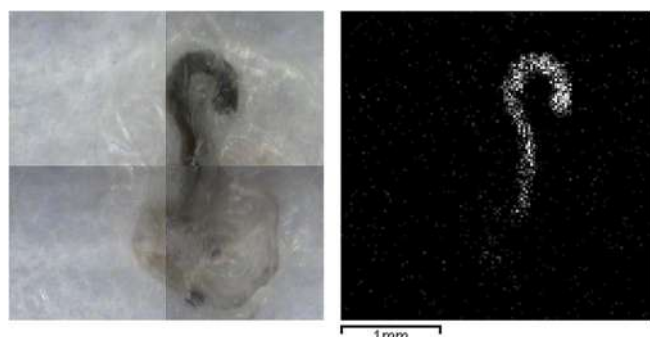


Fig. 5. Ti distribution within dried daphnia fed during 21 d with contaminated algae obtained by μ -XRF [232].

exposed to 10.0 mg concentration for 24 hr hatched earlier within 5 days with decreasing in development, and smaller size than the control. Both concentrations 10.0 and 100.0 mg exhibited larvae to sublethal effects, increased mortality in this stage by up to 75 %, and caused severe gill degradation. They concluded that NPs can have lethal and sublethal effects on all amphibians' life stages.

Considerable amounts of nanomaterials are found in both marine and rivers aquatic environments. Several investigations have been carried out to evaluate the effect of nanomaterials on aquatic living organisms. The novel studies consider nanomaterials as a new type of pollutant and their effects depend on their size. Zebrafish (*Danio rerio*) is considered an ideal model for studying the ecotoxicity effects of nanomaterials on marine life. *In vitro* studies by Myrzakhanova et al., on zebrafish showed that Ag-NMs cause neurotoxicity. Furthermore, Ag-NMs affected the embryonic development of zebrafish and the nervous system of adults leading to malformations and ultimately to mortality [226]. Similarly, Ni-NM was also found responsible for malformations, mortality, and thinning of the intestine. A large particle of Ni-NM (60 nm) clusters is toxic to skeletal muscles and the intestine [227]. The effect of TiO₂-NM consumption by *Danio rerio* embryos and larvae during the growth phase has been studied. In the first experiment, the nanomaterials were added to their commercial food while, in the second experiment, fishes were fed on algae exposed previously to TiO₂-NM. At low concentrations, premature hatching was observed while the impact on young animals was not significant. But, after 14 days of exposure to contaminated food, the digestive physiology was altered [228]. In the different trends of experiments, the zebrafish *in vivo* model was utilized to assess silica nanomaterial effects on the cardiovascular system. The effects

were measured by using toxicological biomarkers, oxidative stress, cytotoxicity, and apoptosis. The results indicated that apoptosis and oxidative stress as prime factors for endothelial cell dysfunction, the exposure to silica nanomaterial is a potential hazard factor for cardiovascular system failure [229]. A recent study on the toxic impacts of exposure to high concentrations of silver nanoparticles was carried out on common carp fish (*Cyprinus carpio*). The findings revealed that silver nanoparticle bioaccumulation resulted in histopathological changes such as damaged gill tissues leading to necrosis and severe alterations in the intestine, which mostly occurred at the highest concentration of silver NPs of 0.09 mg/L [230].

Crustaceans are often used to evaluate the effects of toxic materials in polluted environments. The toxic effects of AgNO₃ and AgNM were investigated in *Daphnia magna*. Swimming apostasy and teratogenic effects were observed according to the Ag form and concentration. NM was aggregated under the carapace of crustaceans, affecting the animal swimming directly [231]. Persistent exposure of *Daphnia magna* to contaminated algae with TiO₂-NM, affect reproduction and growth [232]. X-ray fluorescence spectroscopy was used to study the Ti limit of detection (LOD) and limit of quantification (LOQ). LOD and LOQ were found to be 50 mg/kg for algae. Whereas, LOD and LOQ were 100 and 150 mg/kg respectively for daphnia. Ti concentration increased in algae with nano residue concentrations exposed (Fig. 4). A significant amount of nano-residues was detected through μ -XRF in the gut of juvenile and adult daphnia which were fed with nanoparticle-exposed algae (Fig. 5).

Newly, a study aimed to evaluate the potential toxicological effects of silver nanoparticles (AgNPs) in the aquatic environment was made by utilizing micro-crustacean *Daphnia lumholtzi* as a model. Crustaceans in freshwater were exposed to two Ag NPs concentrations (0.2, 0.5 μ g/l) for 21 days. The reproduction rate of *D. lumholtzi* was significantly lower than the control for both concentrations. This result indicates that a concentration higher than 0.2 of AgNPs can cause a toxic effect on *D. lumholtzi* reproduction rate during the exposure period of 21 days. The results concluded that Ag NPs have toxic effects on *D. lumholtzi* and it can be used as a potential ideal model for assessment of the toxicity of nanomaterials in freshwater [233].

Mollusk is another excellent animal model to evaluate the effects of toxic chemicals, pollutants, and nanomaterials in seas and oceans. The effects of SnO₂, CeO₂, and Fe₃O₄ nanomaterials were experienced on immune cells in the sea urchin *Paracentrotus lividus*. NMs were found in the sea urchins' immune cells. These cells have shown a decrease in cholinesterase activity, disturbances in stress protein regulation, and morphological alterations in ER lysosomes [234]. NP effects on *trans*-Golgi apparatus were studied through WGA-staining. Several strongly stained vesicles were seen in control cells. But, a lesser number of stained vesicles were seen in coelomocytes obtained from NP-fed sea urchins (Fig. 6A-7B). These vesicles were polarised on a single side of the cell, and this localization did not depend on the type of metal oxide nanoparticle (Fig. 6C-7H). In contrast, the DiOC6-stained endoplasmic reticulum showed a flat vesicle network in controls (Fig. 7I). Whereas, strictly packed non-resolvable membranes were seen in sea urchin cells fed with CeO₂ and Fe₃O₄ nanoparticles (Fig. 6L), sea urchin cells fed with SnO₂ (Fig. 6J) showed structures like controls.

7. Impact of nanomaterials on plants

Although using nano-fertilizers and nano-pesticides has many positive benefits for agriculture, it has some negative effects related to use in the long term which affects some physiological

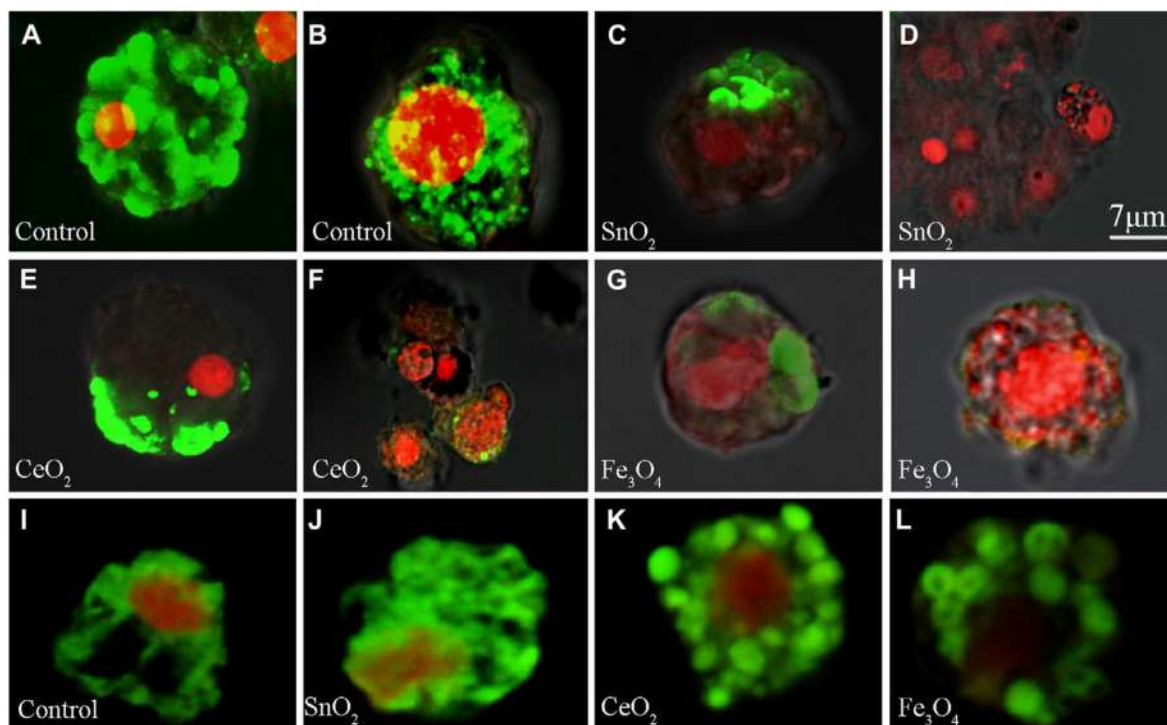


Fig. 6. Impact of different NPs on coelomocyte ER and lysosomes coelomocytes stained with: (A-H)WGA or (I-L) DiOC6 [234].

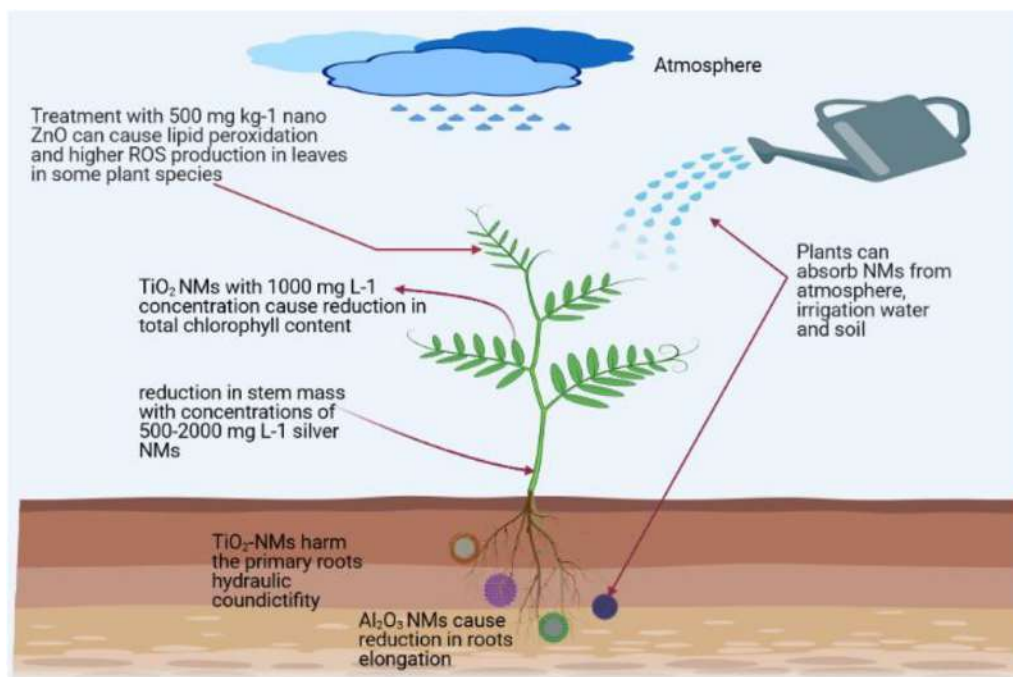


Fig. 7. Impact of nanomaterials toxicity to plants.

processes and causes deformations in plants causing reduced production. Moreover, these nanomaterials can enter plants and thus reach humans and animals through the food chains and food webs, causing hazardous diseases in the future. NMs can be absorbed by plants from water, soil, and the atmosphere. Relying upon the exposure mode and physical/chemical properties of the NMs, the uptake diverges to a wide range [235]. Carbon-based nanomaterials (CNMs) such as fullerene, carbon dots, and graphene utilized in

numerous potential applications have been used for phytotoxic tests increasingly because of their ability to enter through the cell wall and plasma membrane [236]. Furthermore, metal NPs such as silver (Ag), iron (Fe), copper (Cu), aluminum (Al), silica (Si), gold (Au), and zinc (Zn) and their oxides such as titanium dioxide (TiO_2) and zinc oxide (ZnO) have been utilized for numerous applications in environmental remediation, agriculture and food processing research areas [237–242].

Studies on cultures of leaf cells treated with multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) produced in *Oryza sativa* leads to an increase of apoptotic processes (cell death) and reactive oxygen species (ROS) [243]. A decrease in superoxide-dismutase activity (SOD) in *Arabidopsis* related to the decay of chlorophyll production [244] was observed.

Numerous plant species can absorb NMs through roots and translocate them in stems and leaves [235], depending on the growth medium and the types of NMs and plants. Tests on hydroponic maize cultures referred to those slimy suspensions of TiO_2 -NMs (1 g/L) with 30 nm size that harmed the primary roots' hydraulic conductivity by the physical action on the cell wall pores that influenced the perspiration and leaves growth. NMs can induce a cytotoxic effect on roots either after penetrating their organelles and cells or by making chemical changes in the surrounding medium or soil by obstructing the roots' absorbing function [245]. Treating maize seedlings with 1000 mgL^{-1} concentration of silicon dioxide (SiO_2) NPs reduced both shoot fresh weight and shoot length. While treating maize seedlings with titanium dioxide (TiO_2) NPs with the same concentration caused a reduction in pigments content (total chlorophyll content and chlorophyll/carotenoid ratio [246]. In addition, exposure of thale cress plants (*Arabidopsis thaliana*) to TiO_2 -NMs with 100–1000 mgL^{-1} concentrations causes a reduction in Chlorophyll content, plant biomass, and antioxidant enzymes modifications [247]. Plants of *Zea mays*, *Daucus carota*, *Cucumis sativus*, *Glycine max*, and *Brassica oleracea* treated with Al_2O_3 -NM have shown a reduction in root elongation because of the toxic action related to the particle's surface characteristics [248]. Hydroponic cultures of *Lolium perenne* treated with ZnO-NM and Zn^{2+} ions showed that ZnO-NM was able to penetrate the cells and cross root cell walls and reach vascular tissue via the endodermis. The uptake damaged the cortical and epidermal cells and reduced the plant biomass [249].

Active mitotic tissues (root meristem) of different plant species were tested for cytogenetic aberrations induced by NMs. Roots of *Allium cepa*, *Nicotiana tabacum*, and *Glycine max* were vulnerable to Ag, ZnO, CeO_2 , and TiO_2 NMs for cytological analyses [250], measured by random amplified polymorphic DNA (RAPD) and DNA ladder techniques. The root growth suppression in the treated plants was linked to cell division errors and chromosome behavior such as bridges, multiple breaks, micronuclei release, early chromosome separation, and DNA damage. The same results had been observed by De et al., after treating *Allium cepa* plants with Al_2O_3 -NPs with different concentrations ranging from 1.25 to 5 μM and the impact include micronuclei and DNA damage with increased concentrations [251]. Some examples of nanomaterials' toxicity effects on plants have been illustrated in Fig. 7.

In tomatoes, the multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) can penetrate seedling roots and the seed coat through cell wall pores and enhance the ability of the plant to absorb water, with a good positive effect on germination and seedling growth. Concentrations of 50–200 $\mu\text{g/mL}$ improved the reproductive and vegetative growth up to the double rate of flowering and fruiting [252–255]. Lu et al. observed that titanium and silicon dioxide NMs have increased soybean germination, and early growth as well as antioxidant defenses and nitrate reductase [256]. While Lei et al., concluded that titanium dioxide (TiO_2) NMs enhanced growth and photosynthesis rate in spinach through nominate ameliorations in photo-system activity II and electron transfer; likely these ameliorations were a function of reduced oxidative damage as a result of the maximal antioxidant response [257]. Zheng et al. showed that exposure to TiO_2 nanomaterial had increased spinach germination significantly at lower concentrations (250–4000 mg/L) but exposure to higher levels (6000–8000 mg/L) had shown phytotoxicity effects [258]. Although 20 and 200 mgL^{-1} concentrations of alumina NMs did not affect root elongation, when exposed to

2000 mgL^{-1} concentration it decreased the root growth of corn, broccoli, cucumber, and carrot crops by 13 % [248].

Nevertheless, the toxic nature of nanomaterial and bulk copper, silver, silicon, zinc oxide, and MWCNTs on root elongation and germination of zucchini has been investigated by Stampoulis et al., and they concluded that exposure regardless of particle size has no toxicity effect [259]. Similarly, exposure to copper NM in wheat and bean seedlings for 48 h has been studied by Lee et al., They noted that both species had a 40 % reduction in biomass at 200 mgL^{-1} and an 80 % reduction at 1000 mgL^{-1} [260]. While, many other studies have reported no public effects on total plant mass, but noted a reduction in the mass of stem and increase in the root biomass with concentrations of 500 and 2000 mg/L silver NM when exposed [261]. Green peas plants (*Pisum sativum* L.) were treated with bulk and nano-ZnO for 25 days with concentrations (control, 125, 250, and 500 mg kg^{-1}) in the soil. Treatment with 500 mg kg^{-1} nano-ZnO has caused lipid peroxidation and higher ROS production in leaves, while the bulk-ZnO treatment does not affect lipid peroxidation [262]. Hence this result gives evidence of higher toxicity of ZnO NM as compared to the bulk form. Wang et al., cleared that iron oxide NM with 30, 100, and 500 mgL^{-1} concentrations induced greater stress/toxicity in pumpkin and ryegrass when measured by oxidative enzyme activity and compared with its bulk material [263].

8. Environmental fate and behavior of nanomaterials

Release of NMs in the environment may occur during transportation, and production and while disposing of the products at the end of their use. For instance; wastewater sewage, sludge, waste incineration residues, and landfill leachates all probably contain NMs. When these NMs are released into the environment the distribution and behavior are determined by the actual properties as well as the environmental conditions. To understand their environmental fate and behavior, the aquatic phase seems to be the starting or the main point of possible entry and dispersion in the environment, because the aquatic phase creates a link between the other environmental compounds such as sediment, soil, and air [264]. The transformation process occurs after the release of the NMs into the environment. Transformation occurrence depends on the environmental conditions and the nature of the nanomaterials. However, the variability and complexity of both factors predict their behavior as extremely challenging [265]. Transformations can be subdivided into physical, and chemical interactions with other substances and surfaces and biological processes. Physical processes include agglomeration, aggregation, and sedimentation, while chemical processes include dissolution, reduction, photocatalytic degradation, oxidation, and precipitation. Interactions with other substances and surfaces include adsorption and desorption processes, while biologically mediated processes include bio-modification and biodegradation, most probably by microbes [266,267]. These categories in some cases are overlapping because they are highly interlinked and influence each other.

Transformation processes, chemical transformation, and photocatalytic degradation are the chemical change induced by the light, which includes photocatalytic NMs irritation (absorption of a photon causing generation of free radicals) and photolysis of the NM or components of the NM (e.g., the coating material degeneration). For NMs the focus is on the relationship between photochemical reactions and their potential phototoxic effects. For instance; some metal oxide of NMs can work as photocatalysts and when irradiated (absorption of photons) produce reactive oxygen species (ROS) causing toxic effects e.g.; TiO_2 NMs were found to be extra toxic (2–4 times higher) to the crustacean *D. magna* and the Japanese fish Medaka under artificial solar radiation compared to expo-

sure under surrounding laboratory light [268]. Oxidation is oxidizing nanoparticle surface molecules or atoms by loss of electrons, while reduction is reducing nanoparticle surface molecules or atoms by the uptake of electrons. Speciation or complexation of NMs (released molecules or ions) can be defined as linking with other molecular or ionic chemical substances dissolved in the environmental matrix (e.g., the NM surface chemisorption to form a surface coating). Oxidation-reduction reactions (redox reactions) have an important role in several natural phenomena ranging from cellular respiration to geological processes through complex or simple reactions including electron transfer between chemical species [269]. For instance, Auffan et al. suggested that the cytotoxicity of metallic (metal oxide or metal) nanomaterials is correlated with their potential to be reduced, dissolved, or oxidized in *in-vitro* biological conditions [270]. The transfer of electrons or ions during redox reactions is considered a major source of toxicity for metallic NMs. When a solid NM dissolves (release of individual molecules or ions) in water, the phenomenon is known as the dissolution process [271].

Nanomaterials are multi-molecule objects consisting of metals in their elemental state (Me^0) or crystal solids. NMs could be soluble to different extents ranging from non-soluble, poorly soluble, completely soluble, or partially soluble. The way they dissolve will affect their environmental behavior, effects, and fate [272], which may be controlled by their particulate shape or the existence of dissolved species. When nanomaterials are dissolved in the aqueous media, molecules or ions may react with media ingredients, e.g., anions such as sulphate, hydrogen carbonate, organic matter, and chloride to form for example; dissolved metal complexes or residues. Precipitation is the process when dissolved species form a solid phase when the metal ions are released from the NM and grouped into a solid material. The specific metal complex formation depends on media components (including the number of cations, anions, and organic matter such as humic and fulvic acids), pH and temperature. Approximately 200 various products containing nano-silver particles have been registered for consumer use [273] although Ag NMs have toxic effects on living organisms [274]. Hence, Ag NMs are under intensive environmental toxicological research with efforts to link observed harmful effects to dissolved Ag ions [275]. When nano-silver is released into the wastewater system, nano-Ag particles turn into silver sulfide (Ag_2S) nanoparticles [276,277]. Blaser et al. estimated that the biocidal use of silver (including ionic forms as well as silver nanoparticles) has reached up to 15 % of the total silver emissions into sewage [277].

When Ag nanoparticles are released into the environment, the reaction of sulphur and silver ions takes place. In a study, Lowry et al. explained that after 18 months of nano-Ag particles, in addition to freshwater, the speciation of Ag in residues was dominated by Ag complex and Ag_2S leading to a reduction of S in organic matter which is another example of speciation change. Nevertheless, Lowry et al., found that although Ag-NPs were transformed into S-containing species, some of the added Ag was taken by plants, insects, and fishes in the mesocosms showing that Ag produced from the NPs was bioavailable in the aquatic environment even after transformation. Physical transformations include agglomeration which is primary particle reversible coagulation from clusters [278]. Aggregation is primary particles' irreversible fusing to form larger particles from the same material. Agglomeration or aggregation can occur at all life-cycle stages of the nanoparticles such as in production, during handling, and storage. If the NMs are not stabilized or coated, these processes will occur inevitably, even whether the nanoparticles are in powder or solution form or hanging in the air [266,278]. Both agglomeration and aggregation in test media depend on the chemical composition, size, and surface charge of the nanoparticle as well as media composition, mixing rates, and the presence of natural organic matter such as humic acid [279].

The effects of different concentrations of the Suwannee River Fulvic Acid (SRFA), ionic strength, and pH on the aggregation of 5 nm TiO_2 bared particles were studied by Domingos et al., Aggregation was observed to increase at the pH values near the zero-point charge. Furthermore, adsorption of the SRFA was observed as a result of less aggregation rate of TiO_2 nanoparticles, perhaps due to steric repulsion increased [280]. Sedimentation is the process when NMs in suspension settle out of the water phase. There is a clear link between sedimentation and agglomeration as a result of the transfer of particle size distribution towards the higher side. During the agglomeration process of scattered particles, agglomerates or larger particles will diffuse more slowly but under gravity, it tends to settle more rapidly. Sedimentation may be affected by gravitational agglomeration. The smaller particles (slower sediment) are captured by larger particles. Quik et al. found that the sedimentation of CeO_2 NMs was sizeable in synthetic algae media (average particle diameter: 417 nm) compared to deionized water (average particle diameter: 301 nm) [281]. The addition of natural organic matter (NOM) is found to reduce agglomeration in algal media while sedimentation with NOM concentration increases. Interactions with other surfaces can take place in two ways (i) NM can act as sorbent: when the other substances are adsorbed onto the NM surface and (ii) NMs as sorbate: when NMs are adsorbed onto other surfaces. Desorption is the detachment of the NM into the water from the other surfaces. The studies showed that the presence of natural organic matter (NOM) as well as changes in pH affects NM adsorption [282–285].

The change in pH affects the colloidal stability as well as the dissolution of NMs. It happens due to the charge changes on the NM surface. A positively charged NM more easily binds to the soil since most soils are negatively charged due to electrostatic forces. The stabilizing effect of NOM on NM by sticking to the surface leads to the formation of a steric coating around the particles. It results in higher mobility of NMs in soil with high NOM content. Adsorption and desorption of NM on various solid surfaces have great importance to understand their fate and transport in the environment. For instance; NMs may get adsorbed at particles of suspended solids in water, soil, and sediments. It affects their transport and mobility. If the organic matter gets adsorbed onto the NM surface in the environment, the NM acts as a sorbent. The solubility and retention of CeO_2 NM in 16 various samples of soils with different chemical and physical characteristics were studied by Cornelis et al., [283]. They carried out an investigation for Ce, ionic Ce, and bulk CeO_2 and CeO_2 NM (20 nm in powder form). After making suspension in the media the particles rapidly agglomerated and size increased from 20 nm to 130 nm at 5 pH. Bigger particles ($\geq 1 \mu\text{m}$) were observed at pH < 4.5 with the addition of phosphate and citrate. They concluded that citrate and phosphate addition and pH changes affected the agglomeration type. Biological transformation is a biologically mediated process when the NM undergoes a transformation due to the presence of living organisms. This includes processes viz. degradation, biological oxidation, and interactions with bio-macromolecules excreted by micro-organisms. Biodegradation is the biological process that includes the decomposition occurring to the organic substance by microorganisms. This process is not related to inorganic NMs, even carbon-based NMs such as CB and CNTs, which tend to have non-organic nature and are generally considered flexible to biotic degradation. In a study about the biological mineralization of ^{14}C labeled MWCNT using a mixed bacterial culture, after 7 days incubation period at 39 °C, 2–7 % mineralization has been observed [286]. Saleemi et al., have discussed the mechanism of antimicrobial activity of CNT-based nanocomposite material including the individual and synergistic effects on the cell [287].

Bio-modification is a biological process-mediated transformation. Bio-modification occurs after uptake by organisms and pro-

cesses that are mediated obliquely by an organism. For instance; by exudates releases that are linked to the NMs changes their properties. A lot of studies investigated the modifications of NMs as a result of plant uptake. Zhang et al. observed that CeO_2 , which is considered stable under normal environmental conditions, could be biotransformed in cucumber plants [288]. The researcher suggested that CeO_2 NMs are adsorbed first onto the surface of the root and then dissolve partly. It is suggested that substances like ascorbic acid, release from the roots take part in this process and the organic acids (e.g., citric acid) enhance CeO_2 dissolution. The transformation of NMs by aquatic animals such as *Daphnia magna* was studied by Roberts et al., They found that *Daphnia magna* was able to ingest and modify lysophosphatidylcholine-coated single-walled (CNTs). The CNTs ingested by normal feeding behavior and the coating of lysophosphatidylcholine are utilized as a food source. This changed the dispersibility of the CNTs which was probably caused by the removal of the lipid coating of the CNT [289].

9. Challenges and future prospects

Several challenges have been observed during the development of nanotechnology and methods based on nonmaterials. Detection and characterization of nanomaterials create many big challenges due to their ultra-small size. It became very difficult to differentiate the manufactured nanomaterials from particular similar natural materials. The lack of proper sensitive and selective techniques required for measuring the size, number, and surface area precisely was another limitation. The diversified form of nanomaterials in nature and their properties makes it more difficult its identification and proper characterization. During its exposure to the natural environment or biological components further, it became more complex to track the nanomaterials in the system and to investigate its effects on different systems of organisms exposed to nanomaterials. Since 2006, the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) has co-ordinated, via its Working Party on Manufactured Nanomaterials (WPMN), an extensive programme (Testing Programme) on the testing of manufactured nanomaterials. One planned outcome of the Testing Programme was information for evaluating the need for OECD Test Guidelines (TGs) addressing additional Physico-chemical endpoints for nanomaterials. This programme included the testing of 11 types of nanomaterials, some covering several nanoforms, for 59 endpoints using OECD TGs and other methods. The OECD TGs are developed for regulatory purposes and are agreed upon under the OECD Mutual Acceptance of Data (OECD, 1981a), which is a legally binding instrument to facilitate the international acceptance of information for the regulatory safety assessment of chemicals. The Testing Programme is aimed to explore the usefulness of OECD TGs and assess the need for updated or new OECD TGs. The materials tested are Au, Ag (both colloidal solutions), TiO_2 , SiO_2 , CeO_2 , ZnO, fullerenes (C_{60}), SWCNTs, MWCNTs, nanoclays (all in powder form) and dendrimers (liquid). It is useful to cover and address Physico-chemical properties, environmental fate, and human and environmental hazard properties [290]. The International Organization for Standardization (ISO) is also undertaking standardization in the field of nanotechnologies that includes understanding and control of matter and processes at the nanoscale. ISO establishes methods for characterizing the morphology of several nonmaterials using transmission electron microscopy, X-ray spectrometry, SEM, EDX, GC MS, photoluminescence spectroscopy, and chemical analysis by energy dispersive X-ray spectrometry.

It is required to carry out detailed investigations on the adverse effect of nanomaterials before launching the nanomaterial-based technology and products commercially. It is also required to find

the hazard, evaluate the risks and formulate the precautions. It is needed to develop safe technology and products. Evaluation of long-term exposure to nanomaterials, complete investigations on toxicological studies, and accurate dose-response database including occupational exposure limits, threshold limit values, and occupational safety and health administration-permissible exposure limits should be carried out while developing new technology. Proper risk assessment and analysis tools could alleviate nanomaterial exposure-related risks and reduce exposure within safe limits.

10. Conclusion

The field of nanotechnology has been growing rapidly for the last two decades tremendously. It has grown business from the very quick obsolescence of present technologies to novel technologies. The applications of nanotechnology have been broadly involved in electronics, medicines, energy, defense, food, agriculture sector, disinfection, wastewater treatment, drug delivery, vaccine development, etc. However, extensive and non-judicious use of nanomaterials leads to some environmental, health, and safety concerns for the public. Therefore, in order to reduce the harmful effects of nanotechnology, researchers, scientists, engineers, and policymakers should work jointly to develop improved and safer nanomaterials for sustainable use.

Data availability

No data was used for the research described in the article.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

- [1] A. Barhoum, M.L.García-Betancourt, J.Jeevanandam, E.A. Hussien, S.A. Mekki, M. Mostafa, M.M. Omran, M.S. Abdall M. Bechelany, Review on Natural, Incidental, Bioinspired, and Engineered Nanomaterials: History, Definitions, Classifications, Synthesis, Properties, Market, Toxicities, Risks, and regulations. *Nanomaterials*, (2022) 12(2) 177. <https://doi.org/10.3390/nano12020177>.
- [2] P. Walter, E. Welcomme, P. Hallégot, N.J. Zaluzec, C. Deeb, J. Castaing P. Veyssière, R. Bréniaux, L.J. Lévêque, G. Tsoucaris, Early use of PbS European nanotechnology for an ancient hair dyeing formula. *Nano letters*, 6(10)9 (2006), pp. 2215–2219. <http://doi.org/10.1021/nl061493u>.
- [3] J. F. Heiligtag and M. Niederberge, The fascinating world of nanoparticle research. *Materials Today*, 16(7–8) (2013) pp. 262–271. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2013.07.004>.
- [4] B. Mubeen, N.A. Ansari, R. Rasool, I. Ullah, S.S. Imam, S. Alshehri, M.M. Ghoneim, I. S. Alzarea, S.M. Nadeem, I. Kazmi, Nanotechnology as a Novel Approach in Combating Microbes Providing an Alternative to Antibiotics. *Antibiotics*, 10 (12) (2021) p.1473. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10121473>.
- [5] D. Johnson-McDaniel, C.A. Barrett, A. Sharafi, T.T. Salguero, 2013, Nanoscience of an ancient pigment, *J. Am. Chem. Soc.*, 135(5) (2013) pp.1677–1679.
- [6] N. Taniguchi, On the basic concept of nano-technology. In: Proceedings of the International conference on production engineering Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering, (1974).
- [7] R. Feynman, There is plenty of room at the bottom: an invitation to enter a new field of physics, *Lecture at American Physical Society Meeting* (1959).
- [8] J. Jortner, C.N.R. Rao. Nanostructured advanced materials. Perspectives and directions. *Pure and Applied Chemistry* 74 (9):1491–1506 (2002) doi.org/10.1351/pac200274091491.
- [9] P.V. Kamat, Photophysical, photochemical and photocatalytic aspects of metal nanoparticles, *The Journal of Physical Chemistry B* 106 (32) (2002) 7729–7744. <https://doi.org/10.1021/jp0209289>.
- [10] X. Cao, C. Tan, X. Zhang, W. Zhao, H. Zhang, Cheminform abstract: solution-processed two-dimensional metal dichalcogenide-based nanomaterials for energy storage and conversion, *Cheminform* 47 6167–96 (2016). <https://doi.org/10.1002/adma.201504833>.

- [11] Z. Gholamvand, D. Mcateer, A. Harvey, C. Backes, J.N. Coleman, Electrochemical applications of two dimensional nanosheets: the effect of nanosheet length and thickness, *Chem. Mater.* 28 2641–51 (2016).
- [12] Y. Pei, L. Huang, J. Wang, L. Han, S. Li, S. Zhang, H. Zhang, Recent progress in the synthesis and applications of 2D metal nanosheets. *Nanotechnology*, 30 (22) (2019) p.222001. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ab0642>.
- [13] D.E.A. Mahmoud, A. Stolle, M. Stelter, Sustainable Synthesis of High-Surface-Area Graphite Oxide via Dry Ball Milling, *ACS Sustain. Chem. Eng.* 6 (5) (2018) 6358–6369, <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b00147>.
- [14] S. Leo, T. Louis, Environmental implications of nanotechnology-An update, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 8 (2011) 470–479, <https://doi.org/10.3390/ijerph8020470>.
- [15] S.K. Waseem, M. Ceylan, R. Asmatulu, Effects of nanotechnology on global warming. ASEE Midwest Section Conference, Roll MO, September (2012) 19–21, 13pp.
- [16] S. Lee, B. Park, J.S. Kim, T.I. Kim, Designs and processes toward high-aspect-ratio nanostructures at the deep nanoscale: unconventional nanolithography and its applications, *Nanotechnology* 27 (47) (2016), <https://doi.org/10.1088/0957-4484/27/47/474001>.
- [17] S. Yip, L. Shen, J.C. Ho, Recent advances in III-Sb nanowires: from synthesis to applications, *Nanotechnology*, 30 (20) (2019) p. 202003. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/aafce>.
- [18] S. Vaca, O. Pilloni, A.R. Gómez, L.N. Serkovic-Loli, N. Qureshi, L. Oropeza-Ramos, Photolithographically-patterned C-MEMS graphene by carbon diffusion through nickel, *Nanotechnology*, 32(26) (2021) p.265302. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/abedee>.
- [19] P.N. Sudha, K. Sangeetha, K. Vijayalakshmi, A. Barhoum, Nanomaterials history, classification, unique properties, production and market. In *Emerging applications of nanoparticles and architecture nanostructures*. (2018) (pp. 341–384). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-51254-1.00012-9>.
- [20] R. Rasouli, A. Barhoum, M. Bechelany, A. Dufresne, Nanofibers for biomedical and healthcare applications", *Macromol. Biosci.* 19 (2) (2019) 1800256, <https://doi.org/10.1002/mabi.201800256>.
- [21] H. Zhu, S. Jiang, H. Chen, M.C. Roco, International perspective on nanotechnology papers, patents, and NSF awards (2000–2016), *J. Nanopart. Res.* 19 (11) (2017) 1–11, <https://doi.org/10.1007/s11051-017-4056-7>.
- [22] A. Barhoum, M.L. García-Betancourt, J. Jeevanandam, A.E. Hussien, S.A. Mekawey, M. Mostafa, M.M. Omran, M.S. Abdalla, M. Bechelany, Review on Natural, Incidental, Bioinspired, and Engineered Nanomaterials: History, Definitions, Classifications, Synthesis, Properties, Market, Toxicities, Risks, and Regulations." *Nanomaterials*, 12(2) (2022) p.177. <https://doi.org/10.3390/nano12020177>.
- [23] F.A. Khan, *Nanobiotechnology*, *Biotechnol. Fundam.* 421444, (2018) <https://doi.org/10.1201/9781315370767>.
- [24] L. DeFrancesco, Little science, big bucks. *Nat. Biotechnol.*, 21 (2003) 1127–1129, 203, <https://doi.org/10.1038/nbt1003-1127>.
- [25] F.H. Tibbals, *Medical Nanotechnology and Nanomedicine*. CRC Press, ISBN 9781439808740 (2010), <https://doi.org/10.1201/b10151>.
- [26] K.S. Subramanian, *Nanotechnology in agriculture*, New India Publishing Agency, New Delhi, India (2015) ISBN: 10 9383305207, ISBN: 13 9789383305209.
- [27] Q. Huang, *Nanotechnology in the food, beverage and nutraceutical industries*, Wood, head Publishing, Oxford, eBook (2012) ISBN: 9780857095657.
- [28] Y. Xie, *The Nanobiotechnology Handbook*. Handbook Boca Raton, Fla.: CRC. eBook, (2012), ISBN: 9780429063695.
- [29] M.R. Willner, P.J. Vikesland, Nanomaterial enabled sensors for environmental contaminants, *J. Nanobiotechnol.* 16 (2018) 95, <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0419-1>.
- [30] T. Mocan, C.T. Matea, T. Pop, O. Mosteanu, A.D. Buzoianu, C. Puia, C. Iancu, L. Mocan, Development of nanoparticle-based optical sensors for pathogenic bacterial detection, *J. Nanobiotechnol.* 15 (2017) 25, <https://doi.org/10.1186/s12951-017-0260-y>.
- [31] S. Soni, P.K. Bajpai, J. Mittal, C. Arora, Utilisation of cobalt doped Iron based MOF for enhanced removal and recovery of methylene blue dye from waste water, *J. Mol. Liq.* 314 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113642>.
- [32] S. Soni, P.K. Bajpai, D. Bharti, J. Mittal, C. Arora, Removal of crystal violet from aqueous solution using iron-based metal-organic framework, *Desalination and Water Treatment*, (In press) (2020) <http://doi.org/10.5004/dwt.2020.26387>.
- [33] C. Arora, S. Soni, S. Sahu, J. Mittal, P. Kumar, P.K. Bajpai, Iron based metal organic framework for efficient removal of methylene blue dye from industrial waste, *J. Mol. Liq.* 284, 343–35 (2019). <http://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.04.012>.
- [34] C. Arora, D. Sahu, D. Bharti, V. Tamrakar, S. Soni, S. Sharma, Adsorption of hazardous dye crystal violet from industrial waste using low-cost adsorbent *Chenopodium album*, *Desalin. Water Treat.* 167 (2019) 324–332, <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24595>.
- [35] C. Arora, P. Kumar, S. Soni, J. Mittal, A. Mittal, B. Singh, Efficient removal of malachite green dye from aqueous solution using *Curcuma caesia* based activated carbon, *Desalin. Water Treat.* 195 (2020) 341–352, <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25897>.
- [36] A. Korkin, P.S. Krstic, J.C. Wells (Eds), *Nanotechnology for electronics, photonics, and renewable energy*, Nanostructure Science and Technology Springer, New York (2010) <http://doi.org/10.1007/978-1-4419-7454-9>.
- [37] M. Khajeh, S. Laurent, K. Dastafkan, Nanoadsorbents: classification, preparation, and applications (with emphasis on aqueous media), *Chem. Rev.* 113 (10) (2013) 7728–7768, <https://doi.org/10.1021/cr400086v>.
- [38] E. Stephen, what nanoparticles are used in ceramics (2020) <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5372>.
- [39] P. Dutta, C. Arora, S. Soni, N. Rai, and J. Mittal, Metal-organic frameworks for detection and adsorptive removal of pesticides, in *Sustainable Materials for Sensing and Remediation of Noxious Pollutants*. Elsevier, 2022, p329–340, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99425-5.00019-0>.
- [40] G. Raju, N. Katiyar, S. Vadukumpully, S.A. Shankarappa, Penetration of gold nanoparticles across the stratum corneum layer of thick-skin, *J. Dermatol. Sci.* 89 (2) (2018) 146–154.
- [41] S.K. Brar, I.I. Pacheco, R.D. Tyagi, and R.Y. Surampalli, Contaminants of emerging environmental concern, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 417–438, 2009.
- [42] C. Ostiguy, B. Soucy, G. Lapointe, C. Woods, L. Menard, M. Trottier, Health effects of nanoparticles, 2nd ed. Montréal, Canada: The Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), (2008).
- [43] U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Nanotechnology fact sheet, (<http://epa.gov/research/priorities/docs/nanotechnology-fact-sheet> 20121204.pdf, (2012).
- [44] C. Buzze, I.I. Pacheco, K. Robbie, Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity, *Biointerphases* 2 (2007) MR17, <https://doi.org/10.1116/1.2815690>.
- [45] R.D. Handy, H.R. Owen, E. Valsami-Jones, The ecotoxicology of nanoparticles and nanomaterials: current status, knowledge gaps, challenges, and future needs, *Ecotoxicology* 17 (5) (2008) 315–325, <https://doi.org/10.1007/s10646-008-0206-0>.
- [46] C.I. Covaliu, G. Paraschiv, O. Stoian, A. Vişan, Nanomaterials applied for heavy metals removal from wastewater, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 572, No. 1, p. 012074). IOP Publishing (2019) doi:10.1088/1757-899X/572/1/012074.
- [47] A. Reddy, Nanotechnology research and regulation: A plan to ensure human and environmental safety, Master's thesis. Albert Nerken School of Engineering, The Cooper Union for The Advancement of Science And Art, USA (2013).
- [48] H. Netra, R. Kumar, K.C. Hwang, I. Banerjee, S. Thangudu, R. Vankayala, Near-infrared light activatable two-dimensional nanomaterials for theranostic applications: A comprehensive review, *ACS Applied Nano Materials* 5 (2) (2022) 1719–1733.
- [49] C. Hanlin, Adam L. Smith, Impact of engineered nanoparticles on the fate of antibiotic resistance genes in wastewater and receiving environments: A comprehensive review, *Environ. Res.* 204 (2022).
- [50] L. Natarajan, M.A. Jenifer, A. Mukherjee, Eco-corona formation on the nanomaterials in the aquatic systems lessens their toxic impact: A comprehensive review, *Environ. Res.* 194 (2021).
- [51] M. Farmand, F. Jahanpeyma, A. Gholaminejad, M. Azimzadeh, F. Malaei, N. Shoaie, Carbon nanostructures: a comprehensive review of potential applications and toxic effects, *3 Biotech* 12, no. 8 :1–48, (2022).
- [52] S. Kishore, S. Malik, M.P. Shah, J. Bora, V. Chaudhary, L. Kumar, R.Z. Sayyed, A. Ranjan, A comprehensive review on removal of pollutants from wastewater through microbial nanobiotechnology-based solutions, *Biotechnol. Genet. Eng. Rev.* (2022) 1–26.
- [53] Y. Thakare, S. Kore, I. Sharma, M. Shah, A comprehensive review on sustainable greener nanoparticles for efficient dye degradation, *Environ. Sci. Pollut. Res.* (2022) 1–22.
- [54] L.V. Colvin, The potential environmental impact of engineered nanomaterials, *Nat. Biotechnol.* 21 (10) (2003) 1166–1170, <https://doi.org/10.1038/nbt875>.
- [55] K. Donaldson, V. Stone, C.L. Tran, W. Kreyling, P.J. Borm, Nanotoxicology, *Occup. Environ. Med.* 61 (9) (2004) 727–728, <https://doi.org/10.1136/oem.2004.013243>.
- [56] W.V. Hoyt, E. Mason, Nanotechnology: Emerging health issues, *Journal of Chemical and Health Safety* 15 (2) (2008) 10–15, <https://doi.org/10.1016/j.jchas.2007.07.015>.
- [57] A. Nel, T. Xia, L. Madler, N. Li, Toxic potential of materials at the nanolevel, *Science* 311 (5761) (2006) 622–627, <https://doi.org/10.1126/science.1114397>.
- [58] B.D. Warheit et al., Comparative pulmonary toxicity assessment of single-wall carbon nanotubes in rats, *Toxicol. Sci.* 77 (1) (2004) 117, <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfg228>.
- [59] J.P. Moos, K. Chung, D. Woessner, M. Honegger, N.S. Cutler, J.M. Veranth, ZnO particulate material requires cell contact for toxicity in human colon cancer cells, *Chem. Res. Toxicol.* 23 (4) (2010) 733–739, <https://doi.org/10.1021/tx900203v>.
- [60] A. Shvedova, V. Castranova, E. Kisin, D. Schwegler-Berry, A. Murray, V. Gandelsman, A. Maynard, P. Baron, Exposure to carbon nanotube material: assessment of nanotube cytotoxicity using human keratinocyte cells, *J. Toxicol. Environ. Health Part A* 66 (20) (2003) 1909–1926, <https://doi.org/10.1080/713853956>.
- [61] R.K. Smith, A.E. Aust, Mobilization of iron from urban particulates leads to generation of reactive oxygen species in vitro and induction of ferritin synthesis in human lung epithelial cells", *Chem. Res. Toxicol.* 10 (7) (1997) 828–834, <https://doi.org/10.1021/tx960164m>.
- [62] V. Maanen J.M., P.J. Borm, A. Knaepen, M. VanHerwijnen, P.A. Schilderman, K. R. Smith, A.E. Aust, M. Tomatis, and B. Fubini, In vitro effects of coal fly ashes: hydroxyl radical generation, iron release, and DNA damage and toxicity in rat

- lung epithelial cells, *Inhalation Toxicol.* (1999) 11(12):1123–41. doi: 10.1080/089583799196628.
- [63] G.C. Daughton, Non-regulated water contaminants: Emerging research, *Environmental Impact Assessment Reviews* 24 (7) (2004) 711–732, <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.06.003>.
- [64] N.M. Moore, D. Noble, Editorial: Computational modelling of cell & tissue processes & function, *J. Mol. Histol.* 35 (2004) 655–658, <https://doi.org/10.1007/s10735-004-2653-0>.
- [65] K.T. Darlington, A.M. Neigh, M.T. Spencer, O.T. Nguyen, S.J. Oldenburg, Nanoparticle characteristics affecting environmental fate and transport through soil, *Environ. Toxicol. Chem./SETAC* 28 (6) (2009) 1191–1199, <https://doi.org/10.1897/08-341.1>.
- [66] P. Sujatha, R. Azhwar, D. Vasanth, P. Lakshmikantham, P. Ekambaram, Acute exposure to titanium dioxide (TiO₂) induces oxidative stress in zebrafish gill tissues, *Toxicol. Environ. Chem.* 96 (6) (2014) 890–905, <https://doi.org/10.1080/027722482014.987511>.
- [67] H.W. De, W.H. Jong, P.J. Borm, Drug delivery and nanoparticles: Applications and hazards, *Int. J. Nanomed.* 3 (2) (2009) 133–149, <https://doi.org/10.2147/ijn.s596>.
- [68] P. Kocbek, K. Teskac, M.E. Kreft, J. Kristl, Toxicological aspects of long-term treatment of keratinocytes with ZnO and TiO₂ nanoparticles, *Small* 6 (17) (2010) 1908–1917, <https://doi.org/10.1002/sml.201000032>.
- [69] R. Lucena, B.M. Simonet, S. Cárdenas, J.M. Valcárcel, Potential of nanoparticles in sample preparation, *J. Chromatogr. A* 1218 (4) (2011) 620–637, <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.10.069>.
- [70] Kumar, C.S.S.R. (Eds), *Nanomaterials for the life sciences.* Nanostructured oxides vol 2. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim (2009) ISBN: 978-3-527-32152-0.
- [71] F.M. Hochella, D.M. Aruguete, B. Kim, A.S. Madden, Naturally occurring inorganic nanoparticles: general assessment and a global budget for one of earth's last unexplored geochemical components, In: Guo H, Barnard A, editors. *Nature's nanostructures* (2012) Victoria (Australia): Pan Stanford Publishing.
- [72] D.A. Garcia-Hernandez, S. Iglesias-Groth, J.A. Acosta-Pulido, A. Manchado, P. Garcia-Lario, L. Stanghellini, The formation of fullerenes: clues from new C60, C70, and (possible) planar C24 detections in magellanic cloud planetary nebulae, *Astrophys. J. Lett.* (2011), <https://doi.org/10.1088/2041-8205/737/2/L30>.
- [73] H. Gleiter, Nanostructured materials: basic concepts and microstructure, *Acta Mater.* 48 (1) (2000) 1–29, [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(99\)00285-2](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(99)00285-2).
- [74] B. Bhushan, *Handbook of Nanotechnology*, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany. ISBN 978-3-540-29838(2004) doi-<https://www.springer.com/gp/book/9783540298380>.
- [75] J.R. Reddy, Preparation, characterization and properties of injection molded graphene nanocomposites, Master's thesis, Mechanical Engineering Department, Wichita State University, KS, USA, (2010).
- [76] R. Asmatulu, R.H. Yoon, Effects of surface forces on dewatering of fine particles, in: C. Young, G.H. Luttrell (Eds.), *Separation Technologies for Minerals, Coal and Earth Resources*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME) pp. 95–102, (2012).
- [77] A.T. Saleh, *Nanomaterials: Classification, properties, and environmental toxicities*, *Environ. Technol. Innov.* (2020), <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101067>.
- [78] E.L. Murr, *Electron and ion microscopy and microanalysis: principles and applications*, 2nd edn. Marcel Dekker, New York. ISSN 13:978-0-8247-8556-7 (hbk), (1991).
- [79] S.A.J. Sandoval, M. Farré, D. Barcelo, Analysis of Nanomaterials by Particle Size Distribution Methods, *Nanomaterials in the Environ.* (2015), <https://doi.org/10.1061/9780784414088.ch05>.
- [80] I.W. Hagens, A.G. Oomen, W.H. de Jong, F.R. Cassee, A.J. Sips, What do we (need to) know about the kinetic properties of nanoparticles in the body?, *Regul. Toxicol. Pharm.* 49 (2007) 217–229, <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2007.07.006>.
- [81] Q. Li, S. Mahendra, D.Y. Lyon, L. Brunet, M.V. Liga, D. Li, P.J. Alvarez, Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: potential applications and implications, *Water Res.* 42 (2008) 4591–4602, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.08.015>.
- [82] J. Ganesh, F. Umesh, A. Sanjay, I. Sopan, Decontamination study of Eriochrome Black-T from waste water by using AlTiPbO Nanoparticles (ATPO-NPs) for Sustainable Clean Environment, *J. Water Environ. Nanotechnol.* 4 (4) (2019) 263–274, <https://doi.org/10.22090/jwent.2019.04.001>.
- [83] S. Sinha, T. Mehrotra, A. Srivastava, A. Srivastava, R. Singh, Nanobioremediation technologies for potential applications in environmental cleanup, In: Gothandam K., Ranjan S., Dasgupta N., Lichtfouse E.(eds), *Environmental Technology Vol 2*. (2020) Environmental Chemistry for a sustainable world, Vol 45, Springer Cham.
- [84] D.M. Rizwan, M. Singh, C.K. Mitra, R.K. Morve, Ecofriendly application of nanomaterials: nanobioremediation, *J. Nanopart.* (2014) 1–7, <https://doi.org/10.1155/2014/431787>.
- [85] P.A. Ingle, A.B. Seabra, N. Duran, M. Rai, Nanoremediation: a new and emerging technology for the removal of toxic contaminant from environment, Chapter 9, in: S. Das (Ed.), *Microbial Biodegradation and Bioremediation*, 1st edn., Elsevier, 2014.
- [86] W. Tungittiplakorn, C. Cohen, L.W. Lion, Engineered polymeric nanoparticles for bioremediation of hydrophobic contaminants, *Environ. Sci. Technol.* 39 (2005) 1354–1358, <https://doi.org/10.1021/es049031>.
- [87] W. Tungittiplakorn, L.W. Lion, C. Cohen, J.Y. Kim, Engineered polymeric nanoparticles for soil remediation, *Environmental Science Technology* 38 (2004) 1605–1610, <https://doi.org/10.1021/es0348997>.
- [88] R.J. Bargar, R. Bernier-Latmani, D.E. Giammar, B.M. Tebo, Biogenic uraninite nanoparticles and their importance for uranium remediation, *Elements* 4 (2008) 407–412, <https://doi.org/10.2113/gselements.4.6.407>.
- [89] A. Sinha, V. N. Singh, B. R. Mehta, S.K. Khare, Synthesis and characterization of monodispersed orthorhombic manganese oxide nanoparticles produced by *Bacillus* sp. cells simultaneous to its bioremediation, *J. Hazard. Mater.* 192:620–627 (2011) <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.05.103>.
- [90] A. Lincy, P. Jegathambal, M. Mkandawire, S. MacQuarrie, Nano-bioremediation of textile dye effluent using magnetite nanoparticles encapsulated alginate beads, *J. Environ. Treat. Techn.* (2020) 8(3): 936–946. ISSN: 2309-1185.
- [91] R. Nithya, R. Ragunathan, Proc. on, decolorization of the dye Congo red by *Aspergillus niger* nanoparticle, National Seminar Anna University, Trichy, 2010.
- [92] Y. Xi, M. Mallavarapu, R. Naidu, Reduction and adsorption of Pb 2 þ in aqueous solution by nano zero-valent iron: A SEM TEM and XPS study, *Mater. Res. Bulletin* 45 (10) (2010) 1361–1367, <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2010.06.046>.
- [93] M. Aghbashlo, M. Tabatabaei, S. Soltanian, H. Ghanavati, A. Dadak, Comprehensive exergo-economic analysis of a municipal solid waste digestion plant equipped with a biogas genset, *Waste Manag.* 87 (2019) 485–498, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.029>.
- [94] X.Y. Huang, J. Guo, C. Zhang, Z. Hu, Hydrogen production from the dissolution of nano zero valent iron and its effect on anaerobic digestion, *Water Res.* 88 (2016) 475–480, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.10.028>.
- [95] S. Alawi, B. Zainuri, T. Meisam, Y. Shahrakbah, A.A. Suraini, H.M. Ali, S. Yoshihito, The effect of higher sludge recycling rate on anaerobic treatment of palm oil mill effluent in a semi-commercial closed digester for renewable energy, *Biotechnology* 5 (2009) 1–6.
- [96] A.M. Ganzoury, N.K. Allam, Impact of nanotechnology on biogas production: a mini-review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 50 (2015) 1392–1404, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.073>.
- [97] A.M. Rajaeifar, S.S. Hemayati, M. Tabatabaei, M. Aghbashlo, S.B. Mahmoudi, A review on beet sugar industry with a focus on implementation of waste-to-energy strategy for power supply, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 103 (2019) 423–442, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.056>.
- [98] E. Valijanian, M. Tabatabaei, M. Aghbashlo, A. Sulaiman, Y. Chisti, Biogas production system, In: Tabatabaei, M., Ghanavati, H. (Eds.), *Biogas. Biofuel and biorefinery technologies*. Springer, Cham 95–116, (2018).
- [99] D. Mona, M. Tabatabaei, A. Mortaza, K. Hamed, P. Shariat, N. Abdul-Sattar, A state-of-the-art review on the application of nanomaterials for enhancing biogas production, *J. Environ. Manage.* 251 (2019), <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109597>.
- [100] Luna, deRisco M., K. Orupold, H.C. Dubourguier., Particle-size effect of CuO and ZnO on biogas and methane production during anaerobic digestion, *J. Hazard. Mater.* 189:603–608 (2011) <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.02.085>.
- [101] F. Gottschalk, T. Sun, B. Nowack, Environmental concentrations of engineered nanomaterials: review of modeling and analytical studies, *Environ. Pollut.* 181 (2013) 287–300, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.06.003>.
- [102] E. Abdelsalam, M. Samer, Y.A. Attia, M. A. Abdel-Hadi, H. E. Hassan, Y. Badr., Comparison of nanoparticles effects on biogas and methane production from anaerobic digestion of cattle dung slurry, *Renewable Energy* 87:592–98, (2016). <http://doi.org/10.1016/j.renene.2015.10.053>.
- [103] T. Wang, D. Zhang, L. Dai, Y. Chen, X. Dai, Effects of metal nanoparticles on methane production from waste-activated sludge and microorganism community shift in anaerobic granular sludge, *Sci. Rep.* 6 (2016) 25857, <https://doi.org/10.1038/srep25857>.
- [104] M. Rana, S. Bhushan, K.S. Prajapati, New insights on improved growth and biogas production potential of *Chlorella pyrenoidosa* through intermittent iron oxide nanoparticle supplementation, *Sci. Rep.* 10 (2020) 14119, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71141-4>.
- [105] F. Tang, L. Li, D. Chen, Mesoporous silica nanoparticles: synthesis, biocompatibility and drug delivery, *Adv. Mater.* 24 (2012) 1504–1534, <https://doi.org/10.1002/adma.201104763>.
- [106] M. Vallet-Regi, A. Rámila, R.P. del Real, and J. Pérez-Pariente, A New Property of MCM-41: Drug Delivery System, *Chemistry of Materials* 13(2):308–311. (201) <http://doi.org/10.1021/cm0011559>.
- [107] J.H. Kim, H. Matsuda, H.S. Zhou, I. Honma, Ultrasound-triggered smart drug release from a poly (dimethylsiloxane)-mesoporous silica composite, *Adv. Mater.* 18 (2006) 3083–3308, <https://doi.org/10.1002/adma.200600387>.
- [108] N.Y. Zhao, B.G. Trewyn, I.I. Slowing, V.S.Y. Lin, Mesoporous silica nanoparticle-based double drug delivery system for glucose-responsive controlled release of insulin and cyclic AMP, *J. Am. Chem. Soc.* 131 (24) (2009) 8398–8400, <https://doi.org/10.1021/ja901831u>.
- [109] J. Lu, M. Liong, Z. Li, J.I. Zink, F. Tamanoi, Biocompatibility, biodistribution, and drug-delivery efficiency of mesoporous silica nanoparticles for cancer therapy in animals, *Small* 6 (2010) 1794–1805, <https://doi.org/10.1002/sml.201000538>.
- [110] B. Moulari, D. Pertuit, Y. Pellequer, A. Lamprecht, The targeting of surface modified silica nanoparticles to inflamed tissue in experimental colitis, *Biomaterials* 29 (34) (2008) 4554–4560, <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.08.009>.

- [111] D. Lozano, M. Manzano, J.C. Doadrio, A.J. Salinas, M. Vallet-Regí, E. Gómez-Barrena, P. Esbrit, Osteostatin-loaded bioceramics stimulate osteoblastic growth and differentiation, *Acta Biomater.* 6 (2010) 797–803, <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2009.08.033>.
- [112] M. Zhu, H. Wang, J. Liu, H. He, X. Hua, He. Qianjun et al., A mesoporous silica nanoparticulate/ β -TCP/BG composite drug delivery system for osteoarticular tuberculosis therapy, *Biomaterials* 32(7) (2011) 1986–1995, <http://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2010.11.025>.
- [113] M. Vallet-Regí, Ordered mesoporous materials in the context of drug delivery systems and bone tissue engineering, *Chem. -A Eur. J.* 12 (5934–43) (2006) 2006, <https://doi.org/10.1002/chem.200600226>.
- [114] A. Suwalski, H. Dabboue, A. Delalande, S.F. Bensamoun, F. Canon, P. Midoux, G. Sallant, D. Klatzmann, J.P. Salvetat, C. Pichon, Accelerated Achillestendon healing by PDGF gene delivery with mesoporous silica nanoparticles, *Biomaterials* 31 (19) (2010) 5237–5245, <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2010.02.077>.
- [115] L. Shengyan, L. Jones., F.X.Gu, Nanomaterials for ocular drug delivery, *Macromol. Biosci.*, 12(5) (2012) 608–620,2012, <http://doi.org/10.1002/mabi.201100419>.
- [116] C.R. Nagarwal, S. Kant, P.N. Singh, P. Maiti, J.K. Pandit, Polymeric nanoparticulate system: A potential approach for ocular drug delivery, *J. Control. Release* 136: 2 (2009), <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2008.12.018>.
- [117] Y. Tong, S. Chang, C. Liu, W.W. Kao, C.H. Huang, J. Liaw, Eye drop delivery of nano-polymeric micelle formulated genes with cornea-specific promoters, *J. Gene Med.* 9 (2007) 956–966, <https://doi.org/10.1002/jgm.1093>.
- [118] S. Wadhwa, R. Paliwal, S. Paliwal, S. Vyas, Nanocarriers in Ocular Drug Delivery: An Update Review, *Curr. Pharm. Des.* 15 (23) (2009) 2724–2750, <https://doi.org/10.2174/138161209788923886>.
- [119] A.M. Zarbin, L.C. Montemagno, J.F. Ritch, Nanomedicine in ophthalmology: the new frontier, *Am. J. Ophthalmol.* 150 (2) (2010) 144–162, <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2010.03.019>.
- [120] R. Gaudana, J. Jwala, S.H.S. Boddur, A.K. Mitra, Recent perspective in ocular drug delivery", *Pharm. Res.* 26 (2009) 1197, <https://doi.org/10.1007/s11095-008-9694-0>.
- [121] A. Ludwig, The use of mucoadhesive polymers in ocular drug delivery, *Adv. Drug Deliv. Rev.* 57 (11) (2005) 1595, <https://doi.org/10.1016/j.addr.2005.07.005>.
- [122] K.R. Gupta, G.R. Siber, Adjuvants for human vaccines-current status, problems and future prospects, *Vaccine* 13 (1995) 1263–1276, [https://doi.org/10.1016/0264-410X\(95\)00011-0](https://doi.org/10.1016/0264-410X(95)00011-0).
- [123] E.S. Leucuta, Nanotechnology for delivery of drugs and biomedical applications, *Curr. Clin. Pharmacol.* 5 (2010) 257–280, <https://doi.org/10.2174/157488410793352003>.
- [124] M. Lundqvist, J. Stigler, G. Elia, L. Lynch, T. Cedervall, K.A. Dawson, Nanoparticle size and surface properties determine the protein corona with possible implications for biological impacts, *Proc. Nat. Acad. Sci., USA* 105(38) (2008) 14265–14270, <http://doi.org/doi.org/10.1073/pnas.0805135105>.
- [125] S. Hallaj-Nezhadi, F. Lotfipour, C. Dass, Nanoparticle-mediated interleukin-12 cancer gene therapy, *J. Pharm. Pharm. Sci.* 13 (3) (2010) 472–485, <https://doi.org/10.18433/j3630V>.
- [126] M.J. Brewer, How do aluminium adjuvants work?, *Immunol Lett.* 102 (2006) 10–15, <https://doi.org/10.1016/j.imlet.2005.08.002>.
- [127] S.D. Matthew, S. Shukla, H. C. Young, B. Veronique, S. K. Chan, A. Oscar, Ortega-Rivera, M.W. David, C. Angela, S. Markus, K. P. Jonathan, F. S. Nicole, COVID-19 vaccine development and a potential nanomaterial path forward, *Nat. Nanotechnol.* 15 (2020) 646–655, <http://doi.org/doi.org/10.1038/s41565-020-0737-y>.
- [128] C.J. Cox, A.R. Coulter, Adjuvants- a classification and review of their modes of action, *Vaccine* 15 (3) (1997) 248–256, [https://doi.org/10.1016/S0264-410X\(96\)00183-1](https://doi.org/10.1016/S0264-410X(96)00183-1).
- [129] V. Bansal, M. Kumar, M. Dalela, H.G. Brahmne, H. Singh, Evaluation of synergistic effect of biodegradable polymeric nanoparticles and aluminum-based adjuvant for improving vaccine efficacy, *Int. J. Pharm.* 471 (2014) 377–384, <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.05.061>.
- [130] C.H. Guo, X.M. Feng, S.Q. Sun, Y.Q. Wei, D.H. Sun, X.T. Liu, Z.X. Liu, J.X. Luo, H. Yin, Immunization of mice by hollow mesoporous silica nanoparticles as carriers of porcine circovirus type 2 ORF2 protein, *Viro. J.* 12 (9) (2012) 108, <https://doi.org/10.1186/1743-422X-9-108>.
- [131] A.F. Oyarzun-Ampuero, F.M. Goycoolea, D. Torres, M.J. Alonso, A new drug nanocarrier consisting of polyarginine and hyaluronic acid, *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 79 (2011) 54–57, <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2011.04.008>.
- [132] G. Gu, P.J. Pal, M.G. Adabala, S.B. Szczepina, B.M. Pinto, Synthesis and immunological characterization of modified hyaluronic acid hexasaccharide conjugates, *J. Org. Chem.* 78 (16) (2013) 8004–8019, <https://doi.org/10.1021/jo4012442>.
- [133] S. Dodi, M. Marco, C. Fabrizio, A. Th. D. Huberta, S. Yulong, A. Roberto, O. Stefan, R. Ger T, L. Martina, P. Johannis, K. Soledad Penadés, S. Harm, 2012, Gold nanoparticles as carriers for a synthetic Streptococcus pneumoniae type 14 conjugate vaccine, *Nanomedicine* 7(5) (2012) 651–662, <http://doi.org/doi.org/10.2217/nnm.11.151>.
- [134] C. Liu, X. Xie, Y. Cui, Antimicrobial nanomaterials for water disinfection, In *Nano-Antimicrobials* (2012) 465–494, doi:<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-24428-5>.
- [135] L. Yue, Z. Xiangkang, H. Xiaoyi, H. Jian, Z. Xiwang, Two-dimensional nanomaterials for photocatalytic water disinfection: recent progress and future challenges, *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 94 (2019) 22–37, <https://doi.org/10.1002/jctb.5779>.
- [136] Y. Sun, S. Gao, F. Lei, Y. Xie, Atomically-thin two-dimensional sheets for understanding active sites in catalysis, *Chem. Soc. Rev.* 44 (2015) 623–636, <https://doi.org/10.1039/C4CS00236A>.
- [137] K. Chamakura, R. Perez-Ballester, Z. Luo, et al., Comparison of bactericidal activities of silver nanoparticles with common chemical disinfectants, *Colloids Surf. B Biointerfaces* 84 (2011) 88–96, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2010.12.020>.
- [138] W. Fan, C. Wu, P. Han, et al., Porous Ca–Si-based nanospheres: a potential intra-canal disinfectant-carrier for infected canal treatment, *Mater. Lett.* 81 (2012) 16–19, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.04.142>.
- [139] C. Arciola, C. R. Campoccia, D. Speziale P et al., Biofilm formation in *Staphylococcus* implant infections. A review of molecular mechanisms and implications for biofilm-resistant materials, *Biomaterials* (2012), <http://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2012.05.031>.
- [140] H. Steenackers, K. Hermans, J. Vanderleyden, S.C.J. De Keersmaecker, *Salmonella* biofilms: an overview on occurrence, structure, regulation and eradication, *Food Res. Int.* 45 (2) (2012) 502–531, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.038>.
- [141] A. Kumar, Y.P. Ting, Effect of sub-inhibitory antibacterial stress on bacterial surface properties and biofilm formation, *Colloids Surf. B Biointerfaces* 111 (2013) 747–754, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2013.07.011>.
- [142] R.D.S. Nithila, B. Anandkumar, S.C. Vanithakumari, et al., Studies to control biofilm formation by coupling ultrasonication of natural waters and anodization of titanium, *Ultrason. Sonochem.* 21 (2014) 189–199, <https://doi.org/10.1016/j.ultrasonch.2013.06.010>.
- [143] X. Zou, L. Zhang, Z. Wang, Y. Luo, Mechanisms of the antimicrobial activities of graphene materials, *J. Am. Chem. Soc.* 138 (7) (2016) 2064–2077, <https://doi.org/10.1021/jacs.5b11411>.
- [144] H. Mahmud, N.M. Ekramul, S.J. Kamal, N. Mohamad, A.K. Sharma, P. Saharan, J.H. Santos, S. Nurul, A. Zakaria, Nanoconducting polymer: an effective adsorbent for dyes, *Chem. Pap.* 75 (10) (2021) 5173–5185.
- [145] A. Yadav, N. Bagotia, A.K. Sharma, S. Kumar, Simultaneous adsorptive removal of conventional and emerging contaminants in multi-component systems for wastewater remediation: a critical review, *Sci. Total Environ.* 799 (2021).
- [146] I. Kaushal, P. Saharan, V. Kumar, A.K. Sharma, A. Umar, Superb sono-adsorption and energy storage potential of multifunctional Ag-Biochar composite, *J. Alloy. Compd.* 785 (2019) 240–249.
- [147] P. Saharan, V. Kumar, J. Mittal, V. Sharma, A.K. Sharma, Efficient ultrasonic assisted adsorption of organic pollutants employing bimetallic-carbon nanocomposites, *Sep. Sci. Technol.* 56 (17) (2021) 2895–2908.
- [148] E.I. Haneen, N. Zouari, S. Saeed, M.A. Al-Ghouti, Recent advances in the treatment of PAHs in the environment: application of nanomaterial-based technologies, *Arab. J. Chem.* 103918 (2022).
- [149] A. Intisar, A. Ramzan, T. Sawaira, A.T. Kareem, N. Hussain, M.I. Din, M. Bilal, H. M.N. Iqbal, Occurrence, toxic effects, and mitigation of pesticides as emerging environmental pollutants using robust nanomaterials—A review, *Chemosphere* 293 (2022).
- [150] C.S. Saha, A.W. Hayes, Toxicity of nanomaterials found in human environment: A literature review, *Toxicol. Res. Appl.* (1) (2017) 1–13, <https://doi.org/10.1177/2397847317726352>.
- [151] R.D. Handy, B.J. Shaw, Toxic effects of nanoparticles and nanomaterials: Implications for public health, risk assessment and the public perception of nanotechnology, *Health Risk Soc.* 9 (2) (2007) 125–144, <https://doi.org/10.1080/13698570701306807>.
- [152] A. Dahl, A. Gharibi, E. Swietlicki, A. Gudmundsson, M. Bohgard, A. Ljungman, G. Blomqvist, M. Gustafsson, Traffic-generated emissions of ultrafine particles from pavement-tire interface, *Atmos. Environ.* 40 (2006) 1314–1323, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.10.029>.
- [153] D. Imhof, E. Weingartner, C. Ordóñez, R. Gehrig, N. Hill, B. Buchmann, U. Baltensperger, Real world emission factors of fine and ultrafine aerosol particles for different traffic situations in Switzerland, *Environ. Sci. Tech.* 39 (2005) 8341–8350, <https://doi.org/10.1021/es048925>.
- [154] B.D. Kittelson, W.F. Watts, J.P. Johnson, Nanoparticle emissions on Minnesota highways, *Atmos. Environ.* 38 (2004) 9–19, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.09.037>.
- [155] L. Forbes, D. Jarvis, J. Potts, P.J. Baxter, Volcanic ash and respiratory symptoms in children on the island of Montserrat British West Indies, *Occupat. Environ. Med.* 60 (2003) 207–211, <https://doi.org/10.1136/oem.60.3.207>.
- [156] S.B. Karnik, S.H. Davies, M.J. Baumann, S.J. Masten, Fabrication of catalytic membranes for the treatment of drinking water using combined ozonation and ultrafiltration, *Environ. Sci. Tech.* 39 (2005) 7656–7661, <https://doi.org/10.1021/es0503938>.
- [157] M.K. Paknikar, V. Nagpal, A.V. Pethkar, J.M. Rajwade, Degradation of lindane from aqueous solutions using iron sulfide nanoparticles stabilized by biopolymers, *Sci. Technol. Adv. Mater.* 6 (2005) 370–374, <https://doi.org/10.1016/j.stam.2005.02.016>.
- [158] P. Jain, T. Pradeep, Potential of silver nanoparticle-coated polyurethane foam as an antibacterial water filter, *Biotechnol. Bioeng.* 90 (2005) 59–63, <https://doi.org/10.1002/bit.20368>.
- [159] H.W. Marlow, Y.S. Cheng, Spontaneously generated, radioactive nanoparticles in the environment, In R. Vajtai, X. Aymerich, L. B. Kish, and A. Rubio (eds.) *Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE)* (Bellingham, USA: SPIE) (2003), <http://doi.org/10.1117/12.498588>.

- [160] B. Schrick, B.W. Hydutsky, J.L. Blough, T.E. Mallouk, Delivery vehicles for zerovalent metal nanoparticles in soil and groundwater, *Chem. Mater.* 16 (2004) 2187–2193, <https://doi.org/10.1021/cm0218108>.
- [161] Y. Liu, P. Laks, P. Heiden, Nanoparticles for the controlled release of fungicides in wood: Soil jar studies using G-trabeum and T-versicolor wood decay fungi, *Holzforchung* 57 (2003) 135–139, <https://doi.org/10.1515/HF.2003.021>.
- [162] V.M. Yezhelyev, X. Gao, Y. Xing, A. Al-Hajj, S.M. Nie, R.M. O'Regan, Emerging use of nanoparticles in diagnosis and treatment of breast cancer, *Lancet Oncol.* 7 (2006) 657–667, [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(06\)70793-8](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(06)70793-8).
- [163] L.Z. Shi, K.G. Neoh, E.T. Kang, W. Wang, Antibacterial and mechanical properties of bone cement impregnated with chitosan nanoparticles, *Biomaterials* 27 (2006) 2440–2449, <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.11.036>.
- [164] Y. Wu, A. Loper, E. Landis, L. Hettrick, L. Novak, K. Lynn, C. Chen, K. Thompson, R. Higgins, U. Batra, S. Shelukar, G. Kwei, D. Storey, The role of biopharmaceutics in the development of a clinical nanoparticle formulation of MK-0869: a Beagle dog model predicts improved bioavailability and diminished food effect on absorption in human, *Int. J. Pharm.* 285 (2004) 135–146, <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2004.08.001>.
- [165] J.J. Wang, B.J. Sanderson, H. Wang, Cyto- and genotoxicity of ultrafine TiO₂ particles in cultured human lymphoblastoid cell, *Mutat. Res.* 628 (2) (2007) 99–106, <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2006.12.003>.
- [166] C. Yang, A. Tang, Z. Li, Reversible cardiac hypertrophy induced by PEG-coated gold nanoparticles in mice, *Scientific Report* 6 (2016) 1–12, <https://doi.org/10.1038/srep20203>.
- [167] S. Agnihotri, S. Mukherji, Size-controlled silver nanoparticles synthesized over the range 5–100 nm using the same protocol and their antibacterial efficacy, *Royal Soc. Chem. Adv.* 4 (2014) 3974–3983, <https://doi.org/10.1039/C3RA44507K>.
- [168] G.B. Ershov, E.V. Abkhalimov, R.D. Solovov, et al., Gold nanoparticles in aqueous solutions: influence of size and pH on hydrogen dissociative adsorption and Au (III) ion reduction, *Physical, Chemistry* 18 (2016) 13459–13466, <https://doi.org/10.1039/C6CP01996J>.
- [169] S.A. Karakoti, L.L. Hench, S. Seal, The potential toxicity of nanomaterials: The role of surfaces, surface, modification in bioapplications, *J. Miner., Metals Mater. Soc.* 58 (7) (2006) 77–82, <https://doi.org/10.1007/s11837-006-0147-0>.
- [170] M.H. Hoet, I. Brüske-Hohlfeld, V.O. Salata, Nanoparticles-known and unknown risks, *J. Nanobiotechnol.* 2 (12) (2004) 1–15, <https://doi.org/10.1186/1477-3155-2-12>.
- [171] W.C. Lam et al., Pulmonary toxicity of single-wall carbon nanotubes in mice 7 and 90 days after intratracheal instillation, *Toxicol. Sci.* 77(1) (2004) 126–134, <http://doi.org/10.1093/toxsci/kfg243>.
- [172] B.D. Warheit, Nanoparticles: Health impacts?, *Mater Today* 7 (2) (2004) 32–35, [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(04\)00081-1](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(04)00081-1).
- [173] A. Schinwald, F.A. Murphy, A. Prina-Mello, C.A. Poland, F. Byrne, D. Movia, J. R. Glass, J.C. Dickerson, D.A. Schultz, C.E. Jeffree, W. MacNee, The threshold length for fiber-induced acute pleural inflammation: shedding light on the early events in asbestos-induced mesothelioma, *Toxicol. Sci.*, 128(2), (2012) pp. 461–470, <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfs171>.
- [174] Y. Sakamoto, D. Nakae, N. Fukumori, K. Tayama, A. Maekawa, K. Imai, A. Hirose, T. Nishimura, N. Ohashi, A. Ogata, Induction of mesothelioma by a single intracrotal administration of multi-wall carbon nanotube in intact male Fischer 344 rats, *J. Toxicol. Sci.* 34 (1) (2009) 65–76, <https://doi.org/10.2131/jts.34.65>.
- [175] A. Takagi, A. Hirose, T. Nishimura, N. Fukumori, A. Ogata, N. Ohashi, S. Kitajima, J. Kanno, Induction of mesothelioma in p53+/– mouse by intraperitoneal application of multi-wall carbon nanotube, *J. Toxicol. Sci.*, 33(1) (2008) pp. 105–116, <https://doi.org/10.2131/jts.33.105>.
- [176] A. Takagi, A. Hirose, T. Nishimura, N. Fukumori, A. Ogata, N. Ohashi, S. Kitajima, J. Kanno, Induction of mesothelioma in p53+/– mouse by intraperitoneal application of multi-wall carbon nanotube, *J. Toxicol. Sci.*, 33(1) (2008) pp. 105–116, <https://doi.org/10.2131/jts.33.105>.
- [177] IARC, Trichloroethylene, tetrachloroethylene, and some other chlorinated agents, *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum.* 106:1–514, (2014), Available from: <http://publications.iarc.fr/130>.
- [178] A. Schinwald, F.A. Murphy, A. Prina-Mello, C.A. Poland, F. Byrne, D. Movia, J.R. Glass, J.C. Dickerson, D.A. Schultz, C.E. Jeffree, W. MacNee, The threshold length for fiber-induced acute pleural inflammation: shedding light on the early events in asbestos-induced mesothelioma, *Toxicol. Sci.*, 128(2) (2012) pp. 461–470, <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfs171>.
- [179] Z. Zhang, C. Kleinstreuer, J.F. Donohue, C.S. Kim, Comparison of micro- and nano-size particle depositions in a human upper airway model, *J. Aerosol Sci* 36 (2) (2005) 211–233, <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2004.08.006>.
- [180] R. Foldbjerg, D.A. Dang, H. Autrup, Cytotoxicity and genotoxicity of silver nanoparticles in the human lung cancer cell line A549, *Arch. Toxicol.* 85 (7) (2011) 743–750, <https://doi.org/10.1007/s00204-010-0545-5>.
- [181] R.J. Gurr, Ultrafine titanium dioxide particles in the absence of photoactivation can induce oxidative damage to human bronchial epithelial cells, *Toxicology* 213 (1–2) (2005) 66–73, <https://doi.org/10.1016/j.tox.2005.05.007>.
- [182] J.J. Hostynek, Factors determining percutaneous metal absorption, *Food Chem. Toxicol.* 41 (3) (2003) 327–345, [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(02\)00257-0](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(02)00257-0).
- [183] H.S. Lee, H.R. Lee, Y.R. Kim, M.K. Kim, Toxic response of zinc oxide nanoparticles in human epidermal keratinocyte HaCaT cells, *Toxicol. Environ. Health Sci.*, 4(1), (2012) pp. 14–18, <https://doi.org/10.1007/s13530-012-0112-y>.
- [184] S. Bettini, E. Boutet-Robinet, C. Cartier, C. Coméra, E. Gaultier, J. Dupuy, N. Naud, S. Taché, P. Grysan, S. Reguer, N. Thieriet, Food-grade TiO₂ impairs intestinal and systemic immune homeostasis, initiates preneoplastic lesions and promotes aberrant crypt development in the rat colon, *Sci. Reports*, 7(1) (2017) pp. 1–13, <https://doi.org/10.1038/srep40373>.
- [185] A.M. Dobrovolskaia, D.R. Germolec, J.L. Weaver, Evaluation of nanoparticle immunotoxicity, *Nat. Nanotechnol.* 4 (2009) 411–414, <https://doi.org/10.1038/nnano.2009.175>.
- [186] C. Petrarca, E. Clemente, V. Amato, Engineered metal based nanoparticles and innate immunity, *Clin. Mol. Allergy* 13 (1) (2015) 13–18, <https://doi.org/10.1186/s12948-015-0020-1>.
- [187] M.D. Gioacchino, C. Petrarca, F. Lazzarin, Immunotoxicity of nanoparticles, *International Journal of Immunopathology and Pharmacology* 24(Suppl 1) (2011) 65–71, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21329568>.
- [188] L.J. Elechiguerra, J.L. Burt, J.R. Morones, Interaction of silver nanoparticles with HIV-1, *J. Nanobiotechnol.* 3 (6) (2005) 6, <https://doi.org/10.1186/1477-3155-3-6>.
- [189] M.S. Hussain, K.L. Hess, J.M. Gearhart, In vitro toxicity of nanoparticles in BRL3A rat liver cells, *Toxicol. In Vitro* 19 (2005) 975–983, <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2005.06.034>.
- [190] M.S. Sayes, A.M. Gobin, K.D. Ausman, Nano-C60 cytotoxicity is due to lipid peroxidation, *Biomaterial* 26 (2005) 7587–7595, <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.05.027>.
- [191] A. Manke, L. Wang, Y. Rojanasakul, Mechanisms of nanoparticle-induced oxidative stress and toxicity, *BioMed research international* (2013) <http://doi.org/10.1155/2013/942916>.
- [192] F. Wang, F. Gao, M. Lan, Oxidative stress contributes to silica nanoparticle-induced cytotoxicity in human embryonic kidney cells, *Toxicol. In Vitro* 23 (2009) 808–815, <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2009.04.009>.
- [193] T.S. Stern, P.P. Adiseshiaiah, R.M. Crist, Autophagy and lysosomal dysfunction as emerging mechanisms of nanomaterial toxicity, *Part. Fibre Toxicol.* 9 (1) (2012) 1–17, <https://doi.org/10.1186/1743-8977-9-20>.
- [194] E. White, R.S. DiPaola, The double-edged sword of autophagy modulation in cancer, *Clin. Cancer Res.* 15 (17) (2009) 5308–5316, <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-07-5023>.
- [195] G. Vietti, L. Dominique, van den B. Sybille, Mechanisms of lung fibrosis induced by carbon nanotubes: towards an Adverse Outcome Pathway (AOP), *Particle Fibre Toxicol.*, 13(1): (2016) 11–34, <http://doi.org/10.1186/s12989-016-0123-y>.
- [196] R. Landsiedel, M.D. Kapp, M. Schulz, Genotoxicity investigations on nanomaterials: methods, preparation and characterization of test material, potential artifacts and limitations—many questions, some answers, *Mutat. Res.* 681 (2–3) (2009) 241–258, <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2008.10.002>.
- [197] H. Xie, M.M. Mason, J.P. Wise, Genotoxicity of metal nanoparticles, *Rev. Environ. Health* 26 (4) (2011) 251–268, <https://doi.org/10.1515/REVEH.2011.033>.
- [198] C.R. Gopalan, I.F. Osman, A. Amani, The effect of zinc oxide and titanium dioxide nanoparticles in the Comet assay with UVA photoactivation of human sperm and lymphocytes, *Nanotoxicology* 3 (1) (2009) 33–39, <https://doi.org/10.1080/17435390802596456>.
- [199] J.S. Kang, B.M. Kim, Y.J. Lee, Titanium dioxide nanoparticles trigger p53-mediated damage response in peripheral blood lymphocytes, *Environ. Mol. Mutagenesis* 49(5) (2008) 399–405, <http://doi.org/10.1002/em.20399>.
- [200] K. Gerloff, C. Albrecht, A.W. Boots, Cytotoxicity and oxidative DNA damage by nanoparticles in human intestinal Caco-2 cells, *Nanotoxicology* 3 (4) (2009) 355–364, <https://doi.org/10.3109/17435390903276933>.
- [201] K. Bhattacharya, M. Davoren, J. Boertz, Titanium dioxide nanoparticles induce oxidative stress and DNA-adduct formation but not DNA-breakage in human lung cells, *Part. Fibre Toxicol.* 6 (2009) 17, <https://doi.org/10.1186/1743-8977-6-17>.
- [202] B.D. Warheit, R.A. Hoke, C. Finlay, Development of a base set of toxicity tests using ultrafine TiO₂ particles as a component of nanoparticle risk management, *Toxicol. Lett.* 171 (3) (2007) 99–110, <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2007.04.008>.
- [203] C.S. Sahu, S. Roy, J. Zheng, Contribution of ionic silver in human liver HepG2 and colon Caco2 cells evaluated by the cytokinesis-block micronucleus assay, *J. Appl. Toxicol.* 36 (4) (2016) 532–542, <https://doi.org/10.1002/jat.3279>.
- [204] C.S. Sahu, J. Njoroge, S.M. Bryce, Flow cytometric evaluation of the contribution of ionic silver to genotoxic potential of nanosilver in human liver HepG2 and colon Caco2 cells, *J. Appl. Toxicol.* 36 (4) (2016) 521–531, <https://doi.org/10.1002/jat.3276>.
- [205] S.M. Bakshi, Impact of nanomaterials on ecosystems: Mechanistic aspects in vivo, *Environ. Res.* 182 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109099>.
- [206] H. Zhao, L. Chen, G. Zhong, Y. Huang, X. Zhang, C. Chu, L. Chen, M. Wang, Titanium dioxide nanoparticles induce mitochondrial dynamic imbalance and damage in HT22 cells, *J. Nanomater.* (2019), <https://doi.org/10.1155/2019/4607531>.
- [207] E. Hondroulis, J. Nelson, L. Chen-Zhong, Biomarker analysis for nanotoxicology, *Biomarkers Toxicol.*, (2014) D. Gupta, Ed 689–695, <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-404630-6.00040-3>.
- [208] L.J. Blum, J.Q. Xiong, C. Hoffman, J.T. Zelikoff, Cadmium associated with inhaled cadmium oxide nanoparticles impacts fetal and neonatal

- development and growth, *Toxicol. Sci.* 126 (2) (2012) 478–486, <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfs008>.
- [209] J. Sun, Q. Zhang, Z. Wang, B. Yan, Effects of nanotoxicity on female reproductively and fetal development in animal models, *Int. J. Mol. Sci.* 14 (5) (2013) 9319–9337, <https://doi.org/10.3390/ijms14059319>.
- [210] J.W. Trickler, S.M. Lantz, A.M. Schrand, Effects of copper nanoparticles on rat cerebral microvessel endothelial cells, *Nanomedicine* 7 (6) (2012) 835–846, <https://doi.org/10.2217/nnm.11.154>.
- [211] J.W. Trickler, S.M. Lantz, R.C. Murdock, Silver nanoparticle induced blood-brain barrier inflammation and increased permeability in primary rat brain microvessel endothelial cells, *Toxicol. Sci.* 118 (1) (2010) 160–170, <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfq244>.
- [212] J.W. Trickler, S.M. Lantz-McPeak, B.L. Robinson, Porcine brain microvessel endothelial cells show proinflammatory response to the size and composition of metallic nanoparticles, *Drug Metab. Rev.* 46 (2) (2014) 224–231, <https://doi.org/10.3109/03602532.2013.873450>.
- [213] R. Coradeghini, S. Gioria, C.P. Garcia, Size-dependent toxicity and cell interaction mechanisms of gold nanoparticles on mouse fibroblasts, *Toxicol. Lett.* 217 (3) (2013) 205–216, <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2012.11.022>.
- [214] M.V.D. Zande, R.J. Vandebriel, Van Doren, Distribution, elimination, and toxicity of silver nanoparticles and silver ions in rats after 28-day oral exposure, *Am. Chem. Soc. Nano* 6 (2012) 7427–7442, <https://doi.org/10.1021/nn302649p>.
- [215] W.A. Hayes, C.L. Kruger, (eds). Hayes, Principles and methods of toxicology, 6th ed. Boca Raton, FL: CRC Press (2014) <http://doi.org/10.1201/b17359>.
- [216] A. Kermanizadeh, B.K. Gaiser, H. Johnston, Toxicological effect of engineered nanomaterials on the liver, *Br. J. Pharmacol.* 171 (17) (2014) 3980, <https://doi.org/10.1111/bph.12421>.
- [217] Z. Du, Z., D. Zhao, L. Jing, Cardiovascular toxicity of different sizes amorphous silica nanoparticles in rats after intratracheal instillation, *Cardiovasc. Toxicol.* 13(3) (2013) 194–207, <http://doi.org/10.1007/s12012-013-9198-y>.
- [218] C. Yang, A. Tang, Z. Li, Reversible cardiac hypertrophy induced by PEG-coated gold nanoparticles in mice, *Sci. Report* 6 (2016) 1–12, <https://doi.org/10.1038/srep20203>.
- [219] E. Lapiet, E. Moudilou, J.M. Exbrayat, D.H. Oughton, E.J. Joner, Silver nanoparticle exposure causes apoptotic response in the earthworm *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta), *Nanomedicine* 5 (6) (2010) 975–984, <https://doi.org/10.2217/nnm.10.58>.
- [220] Q. Rahman, M. Lohani, E. Dopp, Evidence that ultrafine titanium dioxide induces micronuclei and apoptosis in Syrian hamster embryo fibroblasts, *Environ. Health Perspect.* 110 (8) (2002) 797–800, <https://doi.org/10.1289/ehp.02110797>.
- [221] L. Canesi, P. Prochazkova, The invertebrate immune system as a model for investigating the environmental impact of nanoparticles, In *Nanoparticles and the Immune System. Safety and Effects* (2014) D. Boraschi and A. Duschl, Eds., chapter 7, pp. 91–112, Academic Press, Oxford, UK, <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-408085-0.00007-8>.
- [222] M.J.C. Van Der Ploeg, R.D. Handy, L.H. Heckmann, A. Van Der Hout, N.W. Van Den Brink, C60 exposure induced tissue damage and gene expression alterations in the earthworm (*Lumbricus rubellus*), *Nanotoxicology* 7 (4) (2012) 432–440.
- [223] M.J. Exbrayat, E.N. Moudilou, L. Abrouk, C. Brun, Apoptosis in amphibian development", *Adv. Biosci. Biotechnol.* 3 (6) (2012) 669–678, <https://doi.org/10.4236/abb.2012.326087>.
- [224] A. Thit, H. Selck, H.F. Bjerregaard, Toxicity of CuO nanoparticles and Cu ions to tight epithelial cells from *Xenopus laevis*(A6): effects on proliferation, cell cycle progression and cell death, *Toxicol. In Vitro* 27 (5) (2013) 1596–1601, <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2012.12.013>.
- [225] R. Bacchetta, N. Santo, U. Fascio, Nano-sized CuO, TiO₂ and ZnO affect *Xenopus laevis* development, *Nanotoxicology* 6 (4) (2012), <https://doi.org/10.3109/17435390.2011.579634>.
- [226] M. Myrzakhanova, C. Gambardella, C. Falug, Effects of nanosilver exposure on cholinesterase activities, CD41, and CDF/LIF-like expression in zebra fish (*Danio rerio*) larvae, *BioMed Research International* (2013) Article ID 205183: 12, <http://doi.org/10.1155/2013/205183>.
- [227] C. Ispas, D. Andreescu, A. Patel, D.V. Goia, S. Andreescu, K.N. Wallace, Toxicity and developmental defects of different sizes and shape nickel nanoparticles in zebrafish, *Environ. Sci. Tech.* 43 (16) (2009) 6349–6356, <https://doi.org/10.1021/es9010543>.
- [228] M. Fouqueray, P. Noury, L. Dherret, Exposure of juvenile *Danio rerio* aged TiO₂ nanomaterial from sunscreen, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20 (5) (2013) 3340–3350, <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1256-7>.
- [229] J. Duan, Y. Yu, Y. Li, Cardiovascular toxicity evaluation of silica nanoparticles in endothelial cells and zebrafish model, *Biomaterials* 34 (23) (2013) 5853–5862, <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2013.04.032>.
- [230] A.M. Kakakheh, F. Wu, W. Sajjad, Q. Zhang, I. Khan, K. Ullah, W. Wang, Long-term exposure to high-concentration silver nanoparticles induced toxicity, fatality, bioaccumulation, and histological alteration in fish (*Cyprinus carpio*), *Environ. Sci. Eur.* 33 (1) (2021) 1–11, <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00453-7>.
- [231] S. Asghari, S. Johari, A. Lee, J.H. Toxicity of various silver nanoparticles compared to silver ions in *Daphnia magna*, *J. Nanobiotechnol.*, 10(14) (2012) 1–11, <https://doi.org/10.1186/1477-3155-10-14>.
- [232] M. Fouqueray, B. Dufils, B. Vollat, Effects of aged TiO₂ nanomaterial from sunscreen on *Daphnia magna* exposed by dietary route, *Environ. Pollut.* 163 (2012) 55–61, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.11.035>.
- [233] T.T. Thai, P.T. Luu, N.X. Quangand, D.T. Son, Chronic Effects of Silver Nanoparticles on Micro-Crustacean *Daphnia lumholtzi*, *VNU Journal of Science: Nat. Sci. Technol.*, 36(2) (2020) <https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.4967>.
- [234] C. Falugi, M.G. Aluigi, M.C. Chiantore, D. Privitera, P. Ramoino, M.A. Gatti, A. Fabrizi, A. Pinsino, V. Matranga, Toxicity of metal oxide nanoparticles in immune cells of the sea urchin, *Mar. Environ. Res.* 76 (2012) 114–121, <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2011.10.003>.
- [235] M.C. Rico, S. Majumdar, M. Duarte-Gardea, J.R. Peralta-Videa, J.L. Gardea-Torresdey, Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain, *J. Agric. Food Chem.* 59 (8) (2011) 3485–3498, <https://doi.org/10.1021/jf104517j>.
- [236] Q. Liu, B. Chen, Q. Wang, X. Shi, Z. Xiao, J. Lin, X. Fang, Carbon nanotubes as molecular transporters for walled plant cells, *Nanotechnol. Lett.* 9 (2009) 1007–1010, <https://doi.org/10.1021/nl803083u>.
- [237] M. Ashfaq, N. Verma, S. Khan, Copper/zinc bimetal nanoparticles-dispersed carbon nanofibers: a novel potential antibiotic material, *Mater. Sci. Eng. C* 59 (2016) 938–947, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.10.079>.
- [238] M. Ashfaq, N. Verma, S. Khan, Highly effective Cu/Zn-carbon micro/nanofiber-polymer nanocomposite-based wound dressing biomaterial against the *P. aeruginosa* multi- and extensively drug-resistant strains, *Mater. Sci. Eng. C*, 77, (2017) pp. 630–641, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.187>.
- [239] D. Chauhan, S. Afreen, S. Mishra, N., Sankararamakrishnan, Synthesis, characterization and application of zinc augmented aminated PAN nanofibers towards decontamination of chemical and biological contaminants, *J. Indus. Eng. Chem.*, 55, (2017) pp. 50–64, .
- [240] A.N. Anjum, N.Singh, M.K.Singh, Z.A.Shah, A.C.Duarte, E.Pereira, I.Ahmad, Single-bilayer graphene oxide sheet tolerance and glutathione redox system significance assessment in faba bean (*Vicia faba* L.), *J. Nanopart. Res.*, 15(7) (2013) pp.1–12, <https://doi.org/10.1007/s11051-013-1770-7>.
- [241] R. Prasad, R. Pandey, I. Barman, Engineering tailored nanoparticles with microbes: quo vadis, *Wiley Interdiscip. Rev. Nanomed. Nanobiotechnol.* 8 (2) (2016) 316–330, <https://doi.org/10.1002/wnan.1363>.
- [242] N. Joshi, N. Jain, A. Pathak, J. Singh, R. Prasad, C.P. Upadhyaya, Biosynthesis of silver nanoparticles using Carissa carandas berries and its potential antibacterial activities, *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 86 (3) (2018) 682–689, <https://doi.org/10.1007/s10971-018-4666-2>.
- [243] M.X. Tan, C. Lin, B. Fugetsu, Studies on toxicity of multi-walled carbon nanotubes on suspension rice cells, *Carbon* 47 (2009) 3479–3487, <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2009.08.018>.
- [244] C. Lin, B. Fugetsu, Y. Su, F. Watari, Studies on toxicity of multi-walled carbon nanotubes on *Arabidopsis* T87 suspension cells, *J. Hazard. Mater.* 170 (2009) 578–583, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.025>.
- [245] S. Asli, P.M. Neumann, Colloidal suspensions of clay or titanium dioxide nanoparticles can inhibit leaf growth and transpiration via physical effects on root water transport, *Plant Cell Environ.* 32 (2009) 577–584, <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01952.x>.
- [246] K. Ghoto, M. Simon, Z.J. Shen, G.F. Gao, P.F. Li, H. Li, H.L. Zheng, Physiological and root exudation response of maize seedlings to TiO₂ and SiO₂ nanoparticles exposure, *BioNanoScience* (2020) 1–13, <https://doi.org/10.1007/s12668-020-00724-2>.
- [247] R. Szymańska, K. Kołodziej, I. Ślesak, P. Zimak-Piekarczyk, A. Orzechowska, M. Gabruk, A. Ządło, I. Habina, W. Knap, K. Burda, J. Kruk, Titanium dioxide nanoparticles (100–1000 mg/l) can affect vitamin E response in *Arabidopsis thaliana*, *Environ. Pollut.* 213 (2016) 957–965, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.03.026>.
- [248] L. Yang, D.J. Watts, Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles, *Toxicol. Lett.* 158 (2005) 122–132, <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2005.03.003>.
- [249] D. Lin, B. Xing, Uptake and phytotoxicity of ZnO nanoparticles, *Environ. Sci. Tech.* 42 (2008) 5580–5585, <https://doi.org/10.1021/es800422x>.
- [250] M. Kumari, A. Mukherjee, N. Chandrasekaran, Genotoxicity of silver nanoparticles in *Allium cepa*, *Sci. Total Environ.* 407 (2009) 5243–5246, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.06.024>.
- [251] A. De, M. Chakrabarti, I. Ghoshand, A. Mukherjee, 2016. Evaluation of genotoxicity and oxidative stress of aluminium oxide nanoparticles and its bulk form in *Allium cepa*, *The Nucleus*, 59(3) (2016) pp. 219–225, <https://doi.org/10.1007/s13237-016-0179-y>.
- [252] V.M. Khodakovskaya, K. de Silva, D.A. Nedosekin, E. Dervishi, A.S. Biris, E.V. Shashkov, E.I. Galanzha, V.P. Zharov, Complex genetic, photothermal, and photoacoustic analysis of nanoparticle-plant interactions, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, (3) (2011) 1028–1033, <http://doi.org/10.1073/pnas.1008856108>.
- [253] V.M. Khodakovskaya, E. Dervishi, M. Mahmood, Y. Xu, Z. Li, F. Watanabe, A.S. Biris, Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth, *Am. Chem. Soc. Nano* 3 (2009) 3221–3227, <https://doi.org/10.1021/nn900887>.
- [254] H. Villagarcia, E. Dervishi, K. de Silva, A.S. Biris, M.V. Khodakovskaya, Surface chemistry of carbon nanotubes impacts the growth and expression of water channel protein in tomato plants, *Small* 8 (2012) 2328–2334, <https://doi.org/10.1002/sml.201102661>.
- [255] V.M. Khodakovskaya, B.S. Kim, J.N. Kim, M. Alimohammadi, E. Dervishi, T. Mustafa, C.E. Cernigla, Carbon nanotubes as plant growth regulators: Effects

- on tomato growth, reproductive system, and soil microbial community, *Small* 12 (2013) 115–123, <https://doi.org/10.1002/sml.201201225>.
- [256] M.C. Lu, C.Y. Zhang, J.Q. Wen, G.R. Wu, M.X. Tao, Research of the effect of nanometer materials on germination and growth enhancement of *Glycine max* and its mechanisms, *Soybean Sci.* 21(2002) 189–217, <http://europepmc.org/article/CBA/371541>.
- [257] Z. Lei, S. Mingyu, L. Chao, C. Liang, H. Hao, W. Xiao, X. Liu, Y. Fan, F. Gao, F. Hong, Effects of nanoanatase TiO₂ on photosynthesis of spinach chloroplasts under different light illumination, *Biol. Trace Elem. Res.* 119 (2007) 68–76, <https://doi.org/10.1007/s12011-007-00473>.
- [258] L. Zheng, F. Hong, S. Lu, C. Liu, Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of spinach, *Biol. Trace Elem. Res.* 104 (2005) 83–919.
- [259] D. Stampoulis, S.K. Sinha, J.C. White, Assay dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants, *Environ. Sci. Technol.* 43 (2009) 9473–9479, <https://doi.org/10.1021/es901695c>.
- [260] M.W. Lee, Y.J. An, H. Yoon, H.S. Kweon, Toxicity and bioavailability of copper nanoparticles to the terrestrial plants mung bean (*Phaseolus radiatus*) and wheat (*Triticum aestivum*): plant agar test for water-insoluble nanoparticles, *Environ. Toxicol. Chem.* 27 (2008) 1915–1921, <https://doi.org/10.1897/07-481.1>.
- [261] R. De La Torre-Roche, J. Hawthorne, C. Musante, B. Xing, L. Newman, X. Ma, J. C. White, Impact of Ag nanoparticle exposure on p, p-DDE bioaccumulation by *Cucurbitapepo* (Zucchini) and *Glycine max* (Soybean), *Environ. Sci. Technol.* 47 (2) (2013) 718–725, <https://doi.org/10.1021/es3041829>.
- [262] A. Mukherjee, J. R. Peralta-Videa, S. Bandyopadhyay, C. M. Rico, L. Zhao, J. L. Gardea-Torresdey, Physiological effects of nanoparticulate ZnO in green peas (*Pisum sativum* L.) cultivated in soil, *Metallomics* 6: (2013) 132–138, <http://doi.org/10.1039/C3MT00064H>.
- [263] H. Wang, X. Kou, Z. Pei, J.Q. Xiao, X. Shan, B. Xing, Physiological effects of magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and pumpkin (*Cucurbita mixta*) plants, *Nanotoxicology* 5(2011) 30–42, <http://doi.org/10.3109/17435390.2010.489206>.
- [264] B.N. Hartmann, I.M. Buendia, J. Bak, A. Baun, Degradability of aged aquatic suspensions of C-60 nanoparticles, *Environ. Pollut.* 159 (2011) 3134–3137, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.05.022>.
- [265] L.R. Jamie, E.B. Graeme, J.J. Pedro, C. Marie-Noëlle, D.H. Richard, M. Michael, D. J. Jonathan, S. Kristin, Nanomaterials in the environment: Behavior, fate, bioavailability, and effects—An updated review, *Environ. Toxicol. Chem.* 37 (8) (2018) 2029–2063, <https://doi.org/10.1002/etc.4147>.
- [266] V. Stone, B. Nowack, A. Baun, N. Van Den Brink, F. Von Der Kammer, M. Dusinska, R. Handy, S. Hankin, M. Hasselov, E. Joner, T.F. Fernandes, Nanomaterials for environmental studies: Classification, reference material issues, and strategies for physico-chemical characterization, *Sci. Total Environ.* 408 (2010) 1745–1754, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.035>.
- [267] B. Nowack, J.F. Ranville, S. Diamond, J.A. Gallego-Urrea, C. Metcalfe, J. Rose, N. Horne, A.A. Koelmans, S.J. Klaine, Potential scenarios for nanomaterial release and subsequent alteration in the environment, *Environ. Toxicol. Chem.* 31 (2012) 50–59, <https://doi.org/10.1002/etc.726>.
- [268] H. Ma, A. Brennan, S.A. Diamond, Phototoxicity of TiO₂ nanoparticles under solar radiation to two aquatic species: *Daphnia magna* and *Japanese medaka*, *Environ. Toxicol. Chem.* 31 (7) (2012) 1621–1629, <https://doi.org/10.1002/etc.1858>.
- [269] R. Tantra, A. Cackett, R. Peck, D. Gohil, J. Snowden, Measurement of redox potential in nano-ecotoxicological investigations, *J. Toxicol.*, (2012) 270651–270651, 2012, <http://doi.org/10.1155/2012/270651>.
- [270] M. Auffan, J. Rose, M.R. Wiesner, J. Bottero, Chemical stability of metallic nanoparticles: A parameter controlling their potential cellular toxicity in vitro, *Environ. Pollut.* 157 (2009) 1127–1133, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.10.002>.
- [271] W.D. Connell, Basic Concepts of Environmental Chemistry, 1st ed. CRC Press / Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, United States (1997) (ISBN: 978-0873719988).17–44, <http://www.worldcat.org/oclc/833238727>.
- [272] K.S. Misra, A. Dybowska, D. Berhanu, S.N. Luoma, E. Valsami-Jones, The complexity of nanoparticle dissolution and its importance in nanotoxicological studies, *Sci. Total Environ.* 438 (2012) 225–232, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.066>.
- [273] Nanodatabasen (2013). "The Nanodatabase. Available from: <http://nanodb.dk/>.
- [274] E.S. Hansen, A. Baun A. 2012, When enough is enough, *Nat. Nanotechnol.*, 7 (2012) 409–411, <http://doi.org/10.1038/nnano.2012.115>.
- [275] B. Nowack, Nanosilver revisited downstream, *Science* 330 (2010) 1054–1055, <https://doi.org/10.1126/science.1198074>.
- [276] B. Kim, C. Park, M. Murayama, M.F. Hochella, Discovery and characterization of silver sulfide nanoparticles in final sewage sludge products, *Environ. Sci. Technol.* 44 (2010) 7509–7514, <https://doi.org/10.1021/es101565>.
- [277] A.S. Blaser, M. Scheringer, M. MacLeod, K. Hungerbuehler, Estimation of cumulative aquatic exposure and risk due to silver: Contribution of nano-functionalized plastics and textiles, *Sci. Total Environ.* 390 (2008) 396–409, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.10.010>.
- [278] V.G. Lowry, B.P. Espinasse, A.R. Badireddy, C.J. Richardson, B.C. Reinsch, L.D. Bryant, A.J. Bone, A. Deonarine, S. Chae, M. Therezien, B.P. Colman, H. Hsu-Kim, E.S. Bernhardt, C.W. Matson, M.R. Wiesner, Long-term transformation and fate of manufactured Ag nanoparticles in a simulated large scale freshwater emergent wetland, *Environ. Sci. Tech.* 46 (2012) 7027–7703, <https://doi.org/10.1021/es204608d>.
- [279] V.G. Lowry, K.B. Gregory, S.C. Apte, J.R. Lead, Transformations of nanomaterials in the environment, *Environ. Sci. Tech.* 46 (2012) 6893–6899, <https://doi.org/10.1021/es300839e>.
- [280] F.R. Domingos, N. Tufenkji, K.J. Wilkinson, Aggregation of Titanium Dioxide Nanoparticles: Role of a Fulvic Acid, *Environ. Sci. Tech.* 43 (2009) 1282–1286, <https://doi.org/10.1021/es8023594>.
- [281] K.T.J. Quik, I. Lynch, K. Van Hoecke, C.J.H. Miermans, K.A.C. De Schamphelaere, C.R. Janssen, K.A. Dawson, M.A.C. Stuart, D. Van de Meent, Effect of natural organic matter on cerium dioxide nanoparticles settling in model fresh water, *Chemosphere* 81 (2010) 711–715.
- [282] M. Baalousha, Aggregation and disaggregation of iron oxide nanoparticles: influence of particle concentration, pH and natural organic matter, *Sci. Total Environ.* 407 (2009) 2093–2101, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.11.022>.
- [283] G. Cornelis, B. Ryan, M.J. McLaughlin, J.K. Kirby, D. Beak, D. Chittleborough, Solubility and batch retention of CeO₂ nanoparticles in soils, *Environ. Sci. Tech.* 45 (2011) 2777–2782, <https://doi.org/10.1021/es103769>.
- [284] J. Fang, M.J. Xu, D.J. Wang, B. Wen, J.Y. Han, Modeling the transport of TiO₂ nanoparticle aggregates in saturated and unsaturated granular media: Effects of ionic strength and Ph, *Water Res.* 47 (3) (2013) 1399–1408, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.12.005>.
- [285] G. Chen, X. Liu, C. Su, Distinct effects of Humic acid on transport and retention of TiO₂ rutile nanoparticles in saturated sand columns, *Environ. Sci. Technol.* 46 (7) (2012) 142–150, <https://doi.org/10.1021/es204010>.
- [286] L. Zhang, E.L. Petersen, Y. Habteselassie, L. Mao, Q. Hang, Degradation of multiwall carbon nanotubes by bacteria, *Environ. Pollut.* Vol-181 (2013), <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.058>.
- [287] M.A. Saleemi, Y.L. Kong, P. Voon, C. Yong, E.H. Wong, An Overview of Antimicrobial Properties of Carbon Nanotubes-Based Nanocomposites, *Adv. Pharm. Bull.* 12 (3) (2022) 449–465, <https://doi.org/10.34172/apb.2022.049>.
- [288] P. Zhang, Y. Ma, Z. Zhang, X. He, J. Zhang, Z. Guo, Z. Chai, Biotransformation of ceria nanoparticles in cucumber plants, *Am. Chem. Soc. Nano* 6 (11) (2012) 9943–9950, <https://doi.org/10.1021/nn303543n>.
- [289] P.A. Roberts, A.S. Mount, B. Seda, J. Souther, R. Qiao, S. Lin, P.C. Ke, A.M. Rao, S. J. Klaine, In vivo biomodification of lipid-coated carbon nanotubes by *Daphnia magna*, *Environ. Sci. Tech.* 41 (2007) 3025–3029.
- [290] K. Rasmussen, H. Rauscher, A. Mech, J. R. Sintes, D. Gilliland, M. González, P. Kearns, P., K. Moss, M. Visser, M. Groenewold, Physico-chemical properties of manufactured nanomaterials—characterisation and relevant methods. An outlook based on the OECD testing programme, *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 92 (2018) 8–12.
- [291] J.P. Bourdineaud, A. Štambuk, M., Šrut, S., RadićBrkanac, D., Ivanković, D., Lisjak, R., SauerbornKlobučar, Z., Dragun, N., Bačić and G.L., Klobučar, Gold and silver nanoparticles effects to the earthworm *Eisenia fetida*—the importance of tissue over soil concentrations, *Drug Chem. Toxicol.*, 44(1), (2021)12–29. <https://doi.org/10.1080/01480545.2019.1567757>.

पंथी गीतों में सतनामी समाज की संस्कृति

डॉ. (श्रीमती) गायत्री साहू
जिला—दुर्ग

प्रत्येक मानव—समाज की अपनी विशेषता होती है, उसकी अपनी अलग—अलग प्रथाएँ, परम्पराएँ, आदर्श एवं संस्कृति होती है। प्रत्येक देश, प्रत्येक प्रदेश के अलग—अलग धर्म और समुदाय हैं, जिनमें उनका संपूर्ण सामाजिक जीवन गूथा हुआ है। मध्यप्रदेश के छत्तीसगढ़ में विभिन्न धर्म अनुयायी रहते हैं। अन्य सम्प्रदायों की तुलना में सतनामी सम्प्रदाय के लोगों की संख्या यहाँ ज्यादा है। सतनामी पंथ के अध्ययन से पता चलता है कि यह सम्प्रदाय हिन्दू धर्म की बुराइयों के प्रति विद्रोह के फलस्वरूप उत्पन्न हुआ है। आज यह सम्प्रदाय छत्तीसगढ़ में प्रचारित है १।

संस्कृति वास्तव में सामूहिक जीवन ढंग है, जो सामूहिक जीवन के साझे अनुभवों के फलस्वरूप विकसित होती है। संस्कृति में प्रधान रूप से तीन प्रकार के तत्व सन्निहित होते हैं। प्रथम तत्व है— मनुष्य का चित्त प्रक्रिया से उद्भूत विचार। मानव चिंतन बहुत कुछ उसके सामूहिक जीवन के अनुभव का परिणाम होता है। दूसरा तत्व मानव की क्रिया से संबंधित है, जिसमें समाज द्वारा स्वीकृत कार्य—विधियाँ और नियम आते हैं। तीसरे प्रकार तत्व मनुष्य के चित्त और क्रिया से व्युत्पन्न भौतिक उपलब्धियाँ हैं, जिनसे वह अपनी भौतिक आवश्यकताओं की पूर्ति करता है। २

संस्कृति शब्द को अंग्रेजी भाषा में 'कल्चर' कहा जाता है। अंग्रेजी भाषा का यह शब्द लैटिन भाषा के 'कल्ट' शब्द से बना है, जिसका अर्थ होता है, समस्त ज्ञान—विज्ञान, आचार—व्यवहार, रहन—सहन

तथा वेषभूषा और उससे संबंधित बातें। संस्कृति शब्द संस्कृत भाषा का है, जिसका अर्थ—उत्तम कृति। अर्थात् देह इन्द्रिय, प्राण, मन, बुद्धि आदि की उत्तम चेष्टाएँ एवं गतिविधियाँ। इसमें लौकिक, परलौकिक, धार्मिक, आध्यात्मिक आर्थिक, राजनैतिक सभी प्रकार की उन्नति के प्रयास आ जाते हैं। ३. संस्कृति शब्द 'संस्कृत' धातु के 'तिन' प्रत्यय की संश्लिष्ट से उद्भूत है, जिसका अर्थ है। 'सुधरी हुई जाति'। ४

संस्कृति का तर्कगत अर्थ है सम्यक कृति अर्थात् व्यक्तिशः सम्यक कृति से संलग्न न रहकर संघशः समूल कृति में संलग्न रहे इसी आधार पर सम्यक कृतियों और परम्परा से प्राप्त संस्कारों की समिष्टि को संस्कृति निर्दिष्ट किया गया है। ५।

संस्कृति दो शब्दों से मिलकर बना है — 'सम और कृति'। समय उपसर्ग का अर्थ है अच्छा तथा कृति शब्द का अर्थ है, करना। ६।

डॉ. हजारि प्रसाद द्विवेदी के अनुसार मनुष्य की श्रेष्ठ साधनाएँ ही संस्कृति हैं। साधनाओं से यहाँ तात्पर्य उन संस्कारों से है, जिनसे व्यक्ति अपने सामूहिक या सामाजिक आदर्शों का निर्माण करता है, अर्थात् व्यवहार, आचरण, मूल्य मान्यताएँ, परम्पराएँ आदि। 'संस्कृति की पारिभाषाएँ— वीर स्टीड के अनुसार— संस्कृति उन वस्तुओं का गूट संग्रह है, जो समाज के सदस्यों के रूप में हम सोचते, करते और रखते हैं। ७।

टायलर के मत में — संस्कृति वह संश्लिष्ट अभियोजना है, जिसमें समाज गत ज्ञान, विश्वास कला, नैतिकता, कानून परम्पराएँ, रस्म रिवाज तथा लोगों की सभी प्रकार की क्षमताएँ तथा आदतें रहती हैं, वस्तुतः संस्कृति सीखे हुए व्यवहारों एवं व्यवहार—परिणामों की वह व्याख्या है, जिसके निर्माणकारी तत्व किसी विशिष्ट समाज के सदस्यों द्वारा प्रयुक्त एवं संचालित होते हैं। संस्कृति हमारे दैनिक व्यवहार में कला, साहित्य, धर्म, मनोरंजन और आनंद में पाये जाने वाले रहन—सहन और विचार के तरीकों के हमारी प्रकृति की अभिव्यक्ति है। संस्कृति वह है, जो मानव जाति के पास है, और अन्य जीवों के पास नहीं है। ८. संस्कृति का आधार पर ही मानव सडन्नत है। देश—कल के आधार पर यह सीमित तथा नगर और ग्राम्य के

आंतरराष्ट्रीय बहुभाषिक शोध पत्रिका

प्रिंटिंग एरिया

Printing Area International Interdisciplinary Research
Journal in Marathi, Hindi & English Languages

October 2021, Issue-81, Vol-02

Editor

Dr. Bapu g. Gholap

(M.A.Mar.& Pol.Sci., B.Ed.Ph.D.NET.)



"Printed by: Harshwardhan Publication Pvt.Ltd. Published by Ghodke Archana Rajendra & Printed & published at Harshwardhan Publication Pvt.Ltd., At.Post. Limbaganesh Dist, Beed -431122 (Maharashtra) and Editor Dr. Gholap Bapu Ganpat."



Harshwardhan Publication Pvt.Ltd.

At. Post. Limbaganesh, Tq. Dist. Beed

Pin-431126 (Maharashtra) Cell: 07588057695, 09850203295

harshwardhanpubli@gmail.com, vidyawarta@gmail.com

Reg.No.U74120 MH2013 PTC 251205

All Types Educational & Reference Book Publisher & Distributors

www.vidyawarta.com

INDEX

- 01) A Study on The Level of English Vocabulary of Male and Female Teachers in ...
SURENDAR BHUKYA, Hyderabad ||10
- 02) AN ANALYTICAL STUDY OF SAVING AND SPENDING HABITS OF COLLEGE STUDENTS
Dr. Vijay Narayan Gaikwad, Pune ||13
- 03) Continuing Education: Lifelong Education
Dr. Yatendra Pal Gaur, Aligarh ||17
- 04) Economic Crisis of folk Performing Art in times of Global Pandemic
Dr. Bikash Kumar Ghosh, Kharagpur, west Bengal ||20
- 05) ROLE OF SHG'S IN WOMEN EMPOWERMENT THROUGH MICRO-ENTERPRISES - ...
Kavita Rana & Dr. Roy C. Mathew, Kottayam, Kerala ||25
- 06) DIFFERENT WOMEN, DIFFERENT WORLDS, SAME DILEMMA: ATTIAHOSAIN AND ...
Dr. Shazia Siddiqui Khan, Lucknow ||31
- 07) Contextual Key Factor in Language Learning
DR. DEEPAK MORE, Dist. Latur ||35
- 08) A BRIEF INTRODUCTION TO ARABIC ESSAY AS A LITERARY GENRE
Dr. Md. Nasir Uddin Mondal ||37
- 09) SOCIO-CULTURAL INFLUENCE ON REMEMBERING
Nazish Bano, Deoria, Uttar Pradesh, INDIA ||42
- 10) Rich Like US – Attitude as Narrative Strategy
Dr. Balasaheb Gangadhar Pawar, Dist. Nandurbar ||47
- 11) CHALLENGES OF MODERNISM AND POSTMODERNISM: PREMISES, PROBLEMS ...
Dr. Pratibha Sharma, Delhi ||51
- 12) Socioeconomic status of Rural Families in UP: An empirical study of ...
Dr. Harnam Singh ||59
- 13) Toward a Political Sociology Dispossession: Explaining Opposition to ...
Dr. Navin Kumar Singh, District-Darbhanga (Bihar) ||65

- 27) शिक्षा आयोग एवं नीतियों में शिक्षक का स्थान
अमिता कुशवाहा, जिला बरेली(उ०प्र०) ||125
- 28) रामधारी सिंह 'दिनकर' के काव्य में राष्ट्रीय चेतना : एक अनुशीलन
प्रा.खिंडीवाले हणमंतराव मृणाजी & प्र-प्राचार्य डॉ.कैप्टन अनिता शिंदे ||130
- 29) गजानन माधव मुक्तिबोध की काव्य-चेतना
डॉ० तीर्थनाथ मिश्र, दरभंगा ||134
- 30) हिन्दू और इस्लामी संस्कृतियों का सम्मिश्रण एवं उसका प्रभाव
डॉ० दर्शन मेहता & डॉ० जानकी मठपाल, नैनीताल ||138
- 31) वैश्विक महामारी (कोविड-१९) और आत्मनिर्भर भारत अभियान
डॉ. सुनील कुमार मौर्य, (यू.एस, नगर), उत्तराखण्ड ||141
- 32) आतंकवाद के मुख्य मानदण्ड एवं इसका एक विश्लेषणात्मक अध्ययन
डॉ० नीरज कुमार & डॉ० अनिल कुमार, मेरठ (उत्तर प्रदेश) ||145
- 33) सुरक्षित और पर्याप्त पेयजल
देवेन्द्र कुमार पाठक, महाराजगंज, उ० प्र० ||149
- 34) गाँधीवादी दर्शन और अनुप्रयोग(Gandhian Philosophy and Practice)
चन्द्र मोहन पोद्दार, दरभंगा ||151
- 35) सतनाम सम्प्रदाय का उद्भव विकास
डॉ.(श्रीमती) गायत्री साहू ||153
- 36) भारती के काव्य में भाषिक सौंदर्य
डॉ. ओम प्रकाश सैनी, कैथल, हरियाणा ||156
- 37) आजादी का जश्न पीड़ा की एवज में('मार्फत दिल्ली' के विशेष संदर्भ में)
पूजा शर्मा, Jammu ||161
- 38) स्वतंत्रता-समानता और न्याय भारत के संविधान की उद्देशिका के दृष्टिकोण से ...
डॉ राम आशीष श्रीवास्तव, बलौदाबाजार (छ.ग.) ||164
- 39) जूनियर हाईस्कूल कक्षाओं में अध्ययनरत मूक बाधिर एवं सामान्य विद्यार्थियों के ...
रेनु सिंह & डॉ० सत्यवीर सिंह चौधरी, हापुड़ (उ०प्र०) ||171

आज जो भी आचार या विचार प्रचलित है उनमें से
प्रत्येक पर कहीं न कहीं गांधीजी की छाप है।

35

संदर्भ :

१. hi.m.wikipedia.org/wiki/दर्शनशास्त्र
२. हरिजन, २८ अप्रैल १९४६
३. हरिजन, २ जून १९४६
४. यंग इंडिया, २१ जनवरी १९२६
५. यंग इंडिया, २१ जुलाई १९४६
६. राय, डॉ. सत्या एम. (संपादक), २००९,
भारत में उपनिवेशवाद और राष्ट्रवाद, नई दिल्ली,
हिन्दी माध्यम कार्यान्वय निदेशालय, दिल्ली
विश्वविद्यालय, पृ.—३१६—३१८
७. कोठारी, रजनी, २०१३, भारत में राजनीति,
नई दिल्ली, ओरियंट ब्लैक्सवान, पृ.—६०—६१

□□□

सतनाम सम्प्रदाय का उद्भव विकास

डॉ.(श्रीमती) गायत्री साहू

सतनामी सम्प्रदाय के प्रवर्तक कौन थे और इसका जन्म कैसे हुआ, यह तथ्य अपने आप में जटिल है। सम्भवतः १६०० ईसवी के लगभग उसका उदय हुआ होगा। 'सतनामी' 'सतनाम' का अपभ्रंश है। सतनाम अर्थात् सत्य का स्मरण करने वाले सतनामी का विपुल रूप सत्यमान है। जो छत्तीसगढ़ी में बिगड़ कर सतनामी हो गया है।

सतनामी सम्प्रदाय के प्रवर्तक के संबंध में अनेक विचारधाराएँ सामने आई हैं—

१. सतनाम पंथ उद्भव में भक्त रैदास से जोड़ा जाता है। इस विचार धारा के अनुसार भक्त रैदास ने सतनामी धर्म का प्रचार संपूर्ण भारत में किया, जिसे छत्तीसगढ़ के सतनामियों ने अपना लिया।

२. सतनामी पंथ के प्रवर्तक का श्रेय उत्तर भारत के बाराबंकी जिले के निवासी भक्त जगजीवनदास को दिया जाता है।

३. सतनामी पंथ के प्रवर्तक गुरु घासीदास को मानते हैं।

४. विद्वान सत्य सम्प्रदाय के वीर भान तथा उभोदास को इस सम्प्रदाय का मूल प्रवर्तक मानते हैं। कुछ लोग इस सम्प्रदाय के प्रचारक के रूप में लोगीदास को स्वीकार करते हैं।

यदि इन चारों दृष्टिकोणों को तर्कपूर्ण अध्ययन किया जाय तो स्पष्ट है कि भक्त रैदास को स्वामी रामानंद के समकालीन का माना जाता है, जिन्होंने चौदहवीं शताब्दी के आस-पास अपना धर्म प्रचार किया था किन्तु सत्रहवीं शताब्दी के पूर्व सतनाम पंथ को भक्त रैदास से जोड़ना ठीक नहीं है। सतनाम

ISSN: 2394 5303

Impact
Factor
7.891(11111)

Printing Area®
Peer-Reviewed International Journal

November 2021
Issue-82, Vol-03

01

आंतरराष्ट्रीय बहुभाषिक शोध पत्रिका

प्रिंटिंग एरिया

Printing Area International Interdisciplinary Research
Journal in Marathi, Hindi & English Languages

November 2021, Issue-82, Vol-03

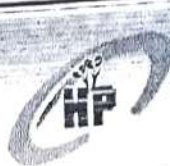
Editor

Dr. Bapu g. Gholap

(M.A.Mar.& Pol.Sci.,B.Ed.Ph.D.NET.)

“Printed by: Harshwardhan Publication Pvt.Ltd. Published by Ghodke Archana Rajendra & Printed & published at Harshwardhan Publication Pvt.Ltd.,At.Post. Limbaganesh Dist,Beed -431122 (Maharashtra) and Editor Dr. Gholap Bapu Ganpat.”

Reg.No.U74120 MH2013 PTC 251205



Harshwardhan Publication Pvt.Ltd.

At.Post.Limbaganesh,Tq.Dist.Beed
Pin-431126 (Maharashtra) Cell:07588057695,09850203295
harshwardhanpubli@gmail.com, vidyawarta@gmail.com

All Types Educational & Reference Book Publisher & Distributors www.vldyawarta.com

INDEX

- 01) The making of Jharkhand: substantial blessing for the indigenous people?
Archana Kumari singh, Bokaro, Jharkhand, India ||10
- 02) DIFFERENT DANCE CULTURE : A STUDY
Deepak Kumar Chhotray, Bhubaneswar, Odisha ||15
- 03) A Study towards the Academic Achievement of Secondary level Science ...
Dr. Urvashi Gupta, Delhi ||21
- 04) India-China challenging relation and prospect
Dr. Usha Vaidya & MOHD SHAFI ||27
- 05) The Role of Foreign Direct Investment in India
Dr. P. K. Patil, Bhusawal ||31
- 06) HRM practices enhancing research performance
Priya Kumari, Chapra (Bihar) ||35
- 07) An Overview of Indian FMCG Product Sector
Rakesh Kumar, Chapra (Bihar) ||40
- 08) SEZs and economic transformation: towards a developmental approach
Roma, Chapra (Bihar) ||44
- 09) A Study of Non-Performing Assets of Commercial Banks in India
Sana Anjum, Chapra (Bihar) ||49
- 10) STUDY ON PREPARATION OF GUAVA FRUIT CANDY
Sagar Pachbole, Dr. Ashish Sarda, Vanashri Hulke,
Dr. Kevin Gawali & Amol Nagmote, Saikheda, Madhya Pradesh ||53
- 11) Out of the Box Contemporary Marketing Strategies: A descriptive study
Dr. Shruti Anand, Prayagraj, U.P. ||60
- 12) Mask: The Pandemic Control in Jainism
Dr. Ekta Dhariwal ||65
- 13) अव्यक्त दर्शनाची ज्ञानमीमांसा
प्रा.डॉ. भुसारे गोदावरी नारायणराव, परभणी ||69

- 40) रामायण में पारिवारिक संगठन
मंजीत कुमारी, दिल्ली ||171
- 41) रविन्द्रनाथ टैगोर का शैक्षिक चिन्तन एवं वर्तमान शैक्षिक परिप्रेक्ष्य में प्रासंगिकता
डॉ. आदित्य कुमार चौबे, पैकौली, हाटा, कुशीनगर ||174
- 42) सतनामी संघर्षी धर्म की सांस्कृतिक दार्शनिक चेतना
डॉ. (श्रीमती) गायत्री साहू, राजनांदगाँव ||178
- 43) बच्चों में अच्छी आदतों का विकास एवं निर्देशन
अजय कुमार यादव, जौनपुर (उ.प्र.) ||181
- 44) बिहार के आर्थिक सुधार एवं परिवर्तन : प्रतिनिधिमंडल और विकेंद्रीकरण
विकास रंजन, बोधगया ||184
- 45) ज्ञानपीठ पुरस्कार से सम्मानित हिंदी साहित्यकार : नरेश मेहता के....
शेख हुसैन मैनोद्दीन, लातूर ||188
- 46) अस्थिरता के दौर में वित्तीय क्षेत्र का सुधार एवं नीति प्रयोजन
रोजी, छपरा ||193
- 47) छोटानागपुर की शिक्षा की प्रगति में ईसाई मिशनरियों की भूमिका
वासिफ शाह, धनबाद ||197
- 48) Thematic study of Dilip chitre's poetry
Shubhangi Gangadhar Wadkar, Latur. ||201
- 49) CHILDHOOD OBESITY
Dr. Sushama N. Gour, Gondia ||202
- 50) सौरपुराण के परिप्रेक्ष्य में अष्टांग योग
डॉ. देवराज, कमलेश कुमारी शिमला ||205

सतनामी संघर्षी धर्म की सांस्कृतिक दार्शनिक चेतना

डॉ. (श्रीमती) गायत्री साहू

सहायक प्राध्यापक

(अतिथि व्याख्याता) हिन्दी विभाग

शा. दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय
राजनांदगाँव

गुरु घासीदास जी जन्म उस समय हुआ जब चारों ओर अनाचार अंधकार छाया हुआ था, सतनामी संघर्षमय जिन्दगी जी रहे थे। गुरु घासदास जी नेतृत्वकालीन आध्यात्मिक कमी को दूर करने के लिए सतत संघर्ष किया। उनका नया संदेश 'सतनाम' एक विशेषकारी तथ्य पेश करना है। रामनाथ कोसामंतवादी वर्गव्यवस्था का आधार बना दिया था, उस समय वर्णभेदन, जिह्मछेदन से लेकर शूद्र तपस्वी को हत्या तक काकलंक मढ़ दिया गया था। अतः इस नाम का संशोधन कर गुरु घासदास ने सतनाम का प्रचार किया और उसके आधार से ही मनुष्य के आपसी भेदभाव को खत्म कर दिया।

सतनामियों ने अध्यात्म के आधार पर संघर्ष किया। सर्वप्रथम वं अपने जीवन और आचरण की ओर आकृष्ट हुए। सतनाम को गंगा से अपने तन और अंतर्मन को धोया, इसके लिए गुरु घासीदास द्वारा निर्दिष्ट पंथ 'सतनाम पंथ' और उसके साहित्य पंथी गीत की परम्परा प्रवाहित हुई। इस पंथ और पंथी गीतने अध्यात्म के आधार पर सांस्कृतिक और दार्शनिक चेतना का प्रसार किया। इनका संघर्ष बाह्य और आंतरिक दोनों का प्रसार किया। इनका संघर्ष बाह्य और आंतरिक दोनों का प्रसार किया। इनका संघर्ष बाह्य और आंतरिक दोनों का प्रसार किया।

पंथी गीतों में गुरु दार्शनिक अभिव्यक्तियाँ मिलती हैं, जिसके प्रतीक और तकनीक शब्द लोकगायकों की बुद्धि पटुता और सतनाम को प्रचारित करने की गहन-गंभीर ज्ञान-साधना के प्रतिफल प्रतीत होते हैं।

ये निरगुनियाँ लोक भजन यद्यपि चौका-गीतों से साम्य रखते हैं, तथापि लोक गायकों द्वारा इसे निर्दिष्टकता है कि नीरव गगन के मध्य ब्रह्मके ज्ञान का पृनीत पवन प्रकाश अंतर्मन को आलोकित कर अंधविश्वास के अज्ञानांधकार को दूर करेगा। यही तो सत्यनाम का आवास-निवास है। इस हृदय के गृह में आत्मा करुण आरूढ़ है। यह हृदय उस नरेश का प्रिय-पर्यंक है ठहरा। दया और धर्म दोनों चँवर डुलाकर इसकी सेवा करते हैं। इसके मन-मोहक-आकर्षक रूप के ये दीवाने हैं, पानी, पवन, प्रकाश से रहित ब्रह्मलोक अत्यंत अलौकिक है। योग-साधना के मार्ग पर प्रस्थित साधक एवं सतनाम पंथ-आराधक इस लोक में पहुँच कर अनहद नाद के वैविध्य से आनंदित होते हैं। दस इंद्रियों द्वारा पर तैनात चपरासी है, रक्षक है। अभी तक जो इंद्रियाँ मनुज का वशीभूत करके नचाती थी, अब स्वतः नर्तन करने लगी हैं। यही तो अलौकिक और विस्मयकारी आत्मा है। अज्ञानी जीवात्मा के घट में ही ज्ञान की गंगा अवस्थित है, लेकिन उससे वह उस तरह अपरिचित है, जैसे मृग कस्तूरी से—सून्य गगन बीच बासा हो निरमल ग्यान के प्रकाश,

निवासा हो सत्यनाम के निवास

आतम है घर के राज हिरदे पलंग बिछाये हो दया-धर्म दोऊ चँवर डोलाये मोहिनी सुभाये हो ये दे हो वो लोक जहाँ न पानी पवन प्रकाश हो अनहद गग छनीसों बाजे रखे द्वार चपरासी हो छनन-छनन इन्दी परी नाचे अचरज उदकौवासी हो ग्यान के गंगा घट भीतर म काहे भये पियासा हो।

संत घासीदास जी दर्शन शास्त्र के अध्येता तो थे नहीं उनका दर्शन जीवन एवं कर्म से सज्ज है, परिस्थितियों के आकलन एवं सामंजस्य में फैला है। संत घासीदास जी के इन्हीं विचारों का पल्लव पंथी गीतों में हुआ है। साथ ही इसमें जुड़ गये हैं। इनमें सत्य नाम के इष्ट रूप की व्याख्या, महत्व स्थापना से लेकर जीवन के विविध आयामों का उद्घाटन हुआ है। साथ ही इनमें दार्शनिक विचारों का उच्च आकाश भीष्टिगोचर होता है। पंथी गीतों में जिन दार्शनिक विचारों का समावेश हुआ है वह कुछ निम्न रूप से उपस्थित हो सकता है—

मध्य भारती
मानविकी एवं समाजशास्त्र की विषय की शोध-वर्धन



MADHYA BHARTI
(UGC CARE Group-I, Multi disciplinary)

215

CERTIFICATE OF PUBLICATION

This is to certify that the article entitled

इन्टरनेट बनाम साइबर क्राइम – एक वैश्विक समस्या तथा इसका समाज पर प्रभाव – एक अध्ययन

Authored By

डॉ. अनिल कुमार मंडावी,

सहायक प्राध्यापक समाजशास्त्र शासकीय दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

Published in

Madhya Bharti (मध्य भारती) : ISSN 0974-0066 with IF=6.28

Vol. 82, No. 02, July - December : 2022

UGC Care Approved, Group I, Peer Reviewed, Bilingual, Biannual,

Multi-disciplinary Referred Journal



मानव-संसाधन विभाग
UGC
University Grants Commission

Chief Editor
प्रो. अश्विनी शर्मा

मध्य भारती



MADHYA BHARTI

(UGC CARE Group-I, Multi-disciplinary)

CERTIFICATE OF PUBLICATION

This is to certify that,

This is to certify that the article entitled

साइबर अपराध कारण चुनौतिया एवं समाधान

Authored By

श्रीमती ललिता साहू

सहायक प्राध्यापक, समाजशास्त्र शासकीय विश्वविद्यालय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगांव (छ.ग.)

Published in

Madhya-Bharti (मध्य भारती) : ISSN 0974-0066 with IF=6.28

Vol. 82, No. 11, January - June : 2022

UGC-Care Approved, Group I, Peer Reviewed, Bilingual, Biannual,

Multi-disciplinary Referred Journal



महाविद्यालय
UGC
University Grants Commission



Chief Editor

प्रो. अश्विनी शर्मा

Open Or Transparent Peer Reviewed & Refereed Journal

ISSUE-29

VOLUME-5

IMPACT FACTOR- IJIF-7.312

ISSN-2454-6283

July-September-2022

AN INTERNATIONAL MULTI-DISCIPLINARY RESEARCH JOURNAL

शोध-ऋतु

5

सम्पादक

डॉ. सुनील जाधव

तकनीकी सम्पादक

अनिल जाधव

पत्राचार हेतु कार्यालयीन पता -

डॉ. सुनील जाधव,

महाराणा प्रताप हाउसिंग सोसाइटी,

हनुमान गढ़ कमान के सामने,

नांदेड-431604, महाराष्ट्र

web:- www.shodhritu.com

Email - shodhrityu78@yahoo.com

WhatsApp 9405384672

- ¹ कल्पना एन. डॉ.बलविंदर कौर.....	93
36.रंगविमर्श : अविरत रंगयात्रा का मूल्यगर्भ चिंतन	95
-मंगेश बनसोड.....	95
37.नई सदी की हिंदी प्रेम कहानियों में स्त्री यौनिकता की अभिव्यक्ति	97
-अनुराग कुमार	97
38.लोककलेतील मुस्लिम कलावंतांचे योगदान	100
-डॉ.श्यामल गरुड (बनसोड).....	100
39. "1925 ईस्वी के नीमूचाणा कृषक आन्दोलन के घटनाक्रम का विवरण"	104
-डॉ.राहुल कुमार मीना	104
40.समकालीन हिंदी के मुस्लिम कहानीकारों की कहानियों में आर्थिक समस्याएँ	107
-अमजद पाशा मुहम्मद.....	107
41.प्रशासनिक अधिकारी की लेखन दृष्टि और हिन्दी साहित्य में उसका महत्त्व.....	109
-डॉ.सुधीर सैनी	109
42.सोशल मीडिया के उपयोग के बाद युवाओं की पुस्तकों से बढ़ती दूरी का अध्ययन.....	111
-डॉ.अनिल कुमार मंडावी	111



“Studies on the Biodiversity of Weeds & Flowering Plants from Government Digvijay College Campus And Adjoining Areas In Chhattisgarh, India.”

Anita Mahishwar* & Shama Afroze Baig**

Affiliation of authors: 1. **Shama Afroze Baig, HOD Microbiology,
Swami Shri Swaroopanand Saraswati Mahavidyalaya,
Hudco, Bhilai, C.G. INDIA.

2. *Anita Mahishwar Professor & Head, Department of Botany,
Govt. Digvijay Autonomous College,
Rajnandgaon, C.G.

Affiliation: Hemchand Yadav University

ABSTRACT: Weeds are considered as undesirable plants which grows at any place, but they are harmful and interfere in human activities when found growing in crop fields, cultivations, parks, lawns, kitchen gardens etc.. They grow aggressively and reproduce very fast so as to spread far and capture all land competing with useful plants. Weeds are known to occur in all natural habitats, degraded barren lands and on roadsides too. Weeds though notorious, harmful they are also useful in several respects, i.e. used in traditional medicine system, applications in ethno-medicine and veterinary medicines. They are also exploited by modern research in drugs as sources of novel phyto-compounds.

Flowering plants (Angiosperms) are very dominant and diverse and Chhattisgarh is rich in plant diversity. Flowering plants play an important role in human civilization and development of natural resources. Therefore a study was done at Govt, Digvijay college vicinity and surroundings to know the richness of flowering plant diversity and biodiversity of weeds. Twelve locations were selected and quadrant method was used for data collection. Each plant is studied with respect to their common name, botanical name, flowering and fruiting time along with their characteristics.

KEY WORDS: Weeds, flowering plants, diversity, medicinal values.

INTRODUCTION

Weeds are unwanted, undesirable plants that interfere with usage of land, water, space and nutrients, and thus negatively affect crop yields of human interest. They are usually referred as plants growing in the wrong places. Weeds are known to occur practically everywhere. They are found on degrade, fallow lands, waste lands, along road sides, along railway tracks, at industrial locations, alongside ponds, lakes and various water bodies. The harmful effects of weeds are greatest felt in agriculture where the unwanted weeds compete with crops for space, soil, water, nutrients, light and inputs; block irrigation channels with their prolific growth and ultimately reduce the yields of crops and their quality (ICAR, 2000).

Weeds are notorious because they increase the expenditure by involving the cumbersome process of weeding which has been described as one of the most laborious operations in agriculture (Puttoo, 2008). Weeds are also known to harbor insects, pests and harmful microorganisms, release poisonous toxins and growth inhibitory substances in the soil, thereby affecting surrounding cultivated plants (CSIR, 1992), live stock and human beings. They are known to hamper harvesting operations. The losses caused by weeds in agriculture far exceed losses from all other categories taken together (Subramanian *et al.*, 1995). Besides bringing about reduction in crop yield, weeds reduce land value, affect the quality of produce, affect human efficiency, and block water bodies resulting in impediments and death of fish. The intense crop-weed competition is a science in itself. One of the significant developments in agricultural technology in recent times has been the usage of chemical means viz. herbicides for weed control and this is a cost effective and less laborious option (Shinde *et al.*, 2013); while some prefer integrated weed management

ANTIOXIDANT PROPERTIES OF BAUHINIA PURPUREA L.

A.K. Shrivastava

Govt. D.T. P.G. College, Utai, Durg (C.G.), India (aksbotany@gmail.com)

A. Mahishwar, Bhabita Mandavi, Rakesh Kumar and Hina Sahu

Govt. Digvijay P. G. Autonomous College, Rajnandgaon (C.G.), India

Leguminosae, also known as legume, pulses, pea and bean family, is considered as a large economically important family due to its proteinaceous value. Although nitrogen is the most abundant gas in the atmosphere, it is not directly taken by ordinary plants and animal. But root nodules of legumes have symbiotic bacteria which are capable of converting atmospheric nitrogen into assimilable form by breaking their triazide bond, which is later converted into amino acids and proteins. Biological Nitrogen fixation is a very important characteristic feature of this family due to this forming the building block for protein. About 83 plant species of this family are growing luxuriantly in Durg district of Chhattisgarh (India). Thus a wise farmer repeats growing plants of this family in their field for biological nitrogen fixation. Primary and secondary metabolites are components of members of legume family due to inter-conversion of various metabolites through metabolic activities within the plant. Hence besides carbohydrates, proteins, fats and primary metabolites, they also consist of secondary metabolites like phenols, alkaloids, flavonoids, terpenes, terpenoids, glycosides, tannins, saponins, steroids etc. Antioxidants are compounds that inhibit oxidation, a chemical reaction that can produce free radicals and chain reactions, that may damage cells of organisms. The consumption of these plant products may protect organisms, directly or indirectly, from oxidative stress. Thus the present topic has been taken into consideration to find antioxidant properties of *Bauhinia purpurea* L. with the help of DPPH(1, 1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl) scavenging activity.

Keywords: Antioxidants, Secondary metabolite, Medicine, Bauhinia, Leguminosae, Durg

1. INTRODUCTION

Chhattisgarh is present in the heart of India and has a rich cultural heritage and numerous ethno-botanical medicinal plants. *Bauhinia purpurea*, locally known as "Sonpatti", is linked to the legend of Lord Rama (a deity in Hinduism) and is traditionally gifted to senior members of the family as a sign of love and Victory of Lord Rama over Ravana. The leguminosae family has many useful plants, ornamental plants, vegetables, crops, and is also important for its medicinal properties in local and tribal communities (Sutjaritjai et al., 2019, Kumar et al., 2021). *Bauhinia purpurea* L. is a flowering plant species belonging to the family of leguminosae. Their different parts have been used in medicine for treatment of pain, fever, stomach pain, diarrhea, etc. (Annegowda et al., 2011). Due to the Phenol content, it has excellent antioxidant property. Antioxidant compounds have the ability to slow the process of oxidation by terminating the oxidation chain reactions (Kushwaha and Narayan, 2018). Oxidation means transfer of electrons of a molecule to an oxidizing agent. Oxidation reaction is caused due to free radicals that start chain reactions immediately which result in damage to the living cells (Shrivastava et al., 2014). Antioxidants such as thiol or ascorbic acid (vit.C) may act to inhibit this chain reaction to balance oxidative stress in plants and animals. Vitamin A, C, & E are only dietary oxidants. Although certain level of antioxidants vitamins in the diet is required for good health, there is still considerable debate on whether antioxidants rich food has anti microbial or anti-disease activity (Maret et al., 2011).

BIODIVERSITY & SECONDARY METABOLITES OF FEW IMPORTANT ETHNO- BOTANICAL PLANTS USED IN SKIN DISEASES BY LOCAL INHABITANTS OF DURG (C.G.)

A.K. Shrivastava

Govt. D.T. P.G. College, Utai, Durg (C.G.), India (aksbotany@gmail.com)

A. Mahishwar

Govt. Digvijay Autonomous P.G. College, Rajnandgaon (C.G.), India (anita.mahiswar@gmail.com)

Bhabita Mandavi

Govt. Digvijay Autonomous P.G. College, Rajnandgaon (C.G.), India (bhabitam10@gmail.com)

Rakesh Kumar

Govt. Digvijay Autonomous P.G. College, Rajnandgaon (C.G.), India (rakeshsahurs442@gmail.com)

Hina Sahu

Govt. Digvijay Autonomous P.G. College, Rajnandgaon (C.G.), India (hinasahu291196@gmail.com)

Plant species used in cure of skin disorder among the indigenous communities of Durg district of Chhattisgarh state was conducted. Skin is considered as largest visible organ of human so directly comes in exposure to different diseases, thus people of all ages suffered mostly by ordinarily infections on skin. Most of the plant species described in the present paper are used in the treatment of Cuts, Burns, Wounds, Itching, Chicken-Pox, Ring Worm, Pimples, Scabies, Eczema, Leprosy, Abscess, Psoriasis, Inflammation, Rashes etc. Survey and documentation was done on the ethno-medicinal plants used by the tribal and local inhabitants of Durg district of Chhattisgarh, before such valuable indigenous knowledge fade away. A total of 35 plant species were documented by the help of local health healer for the treatment of skin disorder which belonging to 23 families of monocots and dicots.

Keywords: Indigenous Knowledge, Folk Medicine, Skin Disorder, Chhattisgarh

1. INTRODUCTION

India has century's old legacy of medicinal plants and herbal medicines for curing human sickness (Tiwari, 2015). Approximately 80% of the people in developing countries dependent on traditional medicines for their primary healthcare estimate by World Health Organization (WHO) (Kingston, 2009, Verma, 2016). There are estimated to be many effective plant-based formulation, used in folk medicine and known to tribal and local communities in Chhattisgarh. Medicinal plants are only easily available health care substitute for the most of the population in rural and tribal areas. In Chhattisgarh the knowledge accrued by the tribals through generation's shows the in-depth understanding of the forest resources and since medicinal plants are used in pharmacological research and drug development (Tiwari, 2015). In the present paper an attempt to document on medicinal plant species used to cure skin disorder by tribal and local communities.

Secondary metabolites were also reported in these medicinal plants. The medicinal plants are rich of secondary metabolites which provides a type of defense to plants that's why they are very important properties of a plant. Secondary metabolites are plant derived organic molecules which have less nutritional value. However, they affect the various physiological processes in body and play role in defense mechanism to protect the body against diseases (Costa et al., 2012). Terpenoids, alkaloids, glycosides, tannins, steroids, saponins, phenolic compounds, flavonoids etc. are important secondary metabolites produced in plants.

REVIEW ARTICLE

Neurodegenerative disorders management: state-of-art and prospects of nano-biotechnology

Raj Kumar^a, Keshaw Ram Aadil^b, Kunal Mondal^c, Yogendra Kumar Mishra^d , David Oupicky^a,
Seeram Ramakrishna^e  and Ajeet Kaushik^f

^aDepartment of Pharmaceutical Sciences, Center for Drug Delivery and Nanomedicine, University of Nebraska Medical Center, Omaha, NE, USA; ^bCenter for Basic Sciences, Pt. Ravishankar Shukla University, Raipur, India; ^cMaterials Science and Engineering Department, Idaho National Laboratory, Idaho Falls, ID, USA; ^dMads Clausen Institute, NanoSYD, University of Southern Denmark, Sønderborg, Denmark; ^eCenter for Nanotechnology and Sustainability, National University of Singapore, Singapore, Singapore; ^fNanoBioTech Laboratory, Division of Sciences, Art, & Mathematics, Department of Natural Sciences, Florida Polytechnic University, Lakeland, FL, USA

ABSTRACT

Neurodegenerative disorders (NDs) are highly prevalent among the aging population. It affects primarily the central nervous system (CNS) but the effects are also observed in the peripheral nervous system. Neural degeneration is a progressive loss of structure and function of neurons, which may ultimately involve cell death. Such patients suffer from debilitating memory loss and altered motor coordination which bring up non-affordable and unavoidable socio-economic burdens. Due to the unavailability of specific therapeutics and diagnostics, the necessity to control or manage NDs raised the demand to investigate and develop efficient alternative approaches. Keeping trends and advancements in view, this report describes both state-of-the-art and challenges in nano-biotechnology-based approaches to manage NDs, toward personalized healthcare management. Sincere efforts are being made to customize nano-theragnostics to control: therapeutic cargo packaging, delivery to the brain, nanomedicine of higher efficacy, deep brain stimulation, implanted stimulation, and managing brain cell functioning. These advancements are useful to design future therapy based on the severity of the patient's neurodegenerative disease. However, we observe a lack of knowledge shared among scientists of a variety of expertise to explore this multi-disciplinary research field for NDs management. Consequently, this review will provide a guideline platform that will be useful in developing novel smart nano-therapies by considering the aspects and advantages of nano-biotechnology to manage NDs in a personalized manner. Nano-biotechnology-based approaches have been proposed as effective and affordable alternatives at the clinical level due to recent advancements in nanotechnology-assisted theragnostics, targeted delivery, higher efficacy, and minimal side effects.

ARTICLE HISTORY

Received 26 February 2021
Revised 27 May 2021
Accepted 15 June 2021

KEYWORDS

Neurodegenerative disorders; brain stimulation; nano drug delivery system; nanomedicine; nano-therapies; personalized health wellness

Introduction: urgency of neurological disorder management

Health agencies have declared neurological disorders (NDs, comprise 600 conditions) as serious problems related to central nervous systems (CNS). Reports of: the Global Burden of Disease (GBD), injuries, and risks factors 2016 study-based assessments via Disability-Adjusted Life Years (DALY) confirmed the seriousness of NDs progression (19 NDs in 195 countries) [1]. According to the 2016 report, neurological disorders are leading DALYs (276 million) and the second leading cause of death (9.0 million) [2]. The Global Burden of Disease indexed the 369 neurological diseases of 204

countries from 1990 to 2019 [3]. The global health burden of neurological disorders is around 8%. According to the Medicine in Development for Neurological Disorders 2018 report, 100 million Americans are affected by around 1000 different neurological diseases. The annual cost of neurological disorders in the US is \$800 billion (Figure 1) [4]. It was estimated that in Europe, the economic cost of neurological disorders was ~139 billion euros [5]. However, the worldwide data is unclear due to a lack of data management from middle- and low-income countries. We believe these statistics will provide the state-of-the-art situation and future possibilities. The socio-economic burden of ND

CONTACT Ajeet Kaushik  akaushik@floridapoly.edu  NanoBioTech Laboratory, Division of Sciences, Art, & Mathematics, Department of Natural Sciences, Florida Polytechnic University, Lakeland, FL 33805, USA; Raj Kumar  rk7410@gmail.com  Department of Pharmaceutical Sciences, Center for Drug Delivery and Nanomedicine, University of Nebraska Medical Center, Omaha, NE 68198, USA

Synthesis and characterization of lignin-poly lactic acid film as active food packaging material

Ankita Chaubey^a, Keshaw R. Aadil^b and Harit Jha^a

^aDepartment of Biotechnology, Guru Ghasidas Vishwavidyalaya, Bilaspur, India; ^bCenter for Basic Sciences, Pt. Ravishankar Shukla University, Raipur, India

ABSTRACT

The present work describes the synthesis, characterisation and antimicrobial activity of lignin-poly(lactic acid) (PLA) blended film. Film was prepared using co-polymerisation reaction of lignin and lactic acid in the presence of stannous chloride as a catalyst and poly(vinyl alcohol) to get the uniform film. The properties of the film was studied by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), differential scanning calorimetry (DSC) and thermo-gravimetric analysis (TGA), respectively. The lignin-PLA film demonstrated a significant decrease in swelling ratio and tensile strength in contrast to PLA film. SEM analysis revealed proper blending of lignin into PLA matrix with slightly rough surface. Film was thermostable and amorphous in nature as confirmed from the thermal study and XRD analysis, respectively. Further, significant improvement was observed in antimicrobial activity and biodegradability of PLA film after addition of lignin, which suggest the putative application of lignin-PLA film as the food packaging and mulch film materials.

ARTICLE HISTORY

Received 7 February 2020
Accepted 30 May 2020

KEYWORDS

Lignin; poly lactic acid (PLA);
biodegradability;
antimicrobial activity

Introduction

Dependence on the petrochemical-based non-renewable polymers has become a serious threat to the environment. The use of non-degradable polymers from the non-renewable resource is one of the major reasons of environmental pollution. Hence, such problems have driven the efforts to replace the petroleum origin polymers with renewable and nature-derived biopolymers [1–3]. Natural resource fillers are abundant, inexpensive, renewable and fully biodegradable raw materials [4]. Consequently, the biocomposites with natural resource fillers have become a major part of the biodegradable plastic industry. Poly-lactic acid (PLA) is a linear aliphatic thermoplastic polyester which can be obtained from lactic acid derived from the fermentation of renewable agricultural-based feedstocks [5,6]. The global production growth of PLA is envisaged to approximately quadruple between 2013 and 2020 [7]. Furthermore, PLA is biodegradable and have some promising properties such as recyclable and compostable with good stiffness and strength, though the applicability of PLA is limited due to high brittleness, low softening temperature and weak water vapour and gas barrier properties, inferior moisture sensitivity, early physical ageing and poor impact resistance [2,8, 7]. Therefore, the best way to improve its properties and to extend its application field is to prepare

blends, copolymers and to reinforce it with various inorganic and organic fillers.

Lignin, the most abundant polyphenolic compound found in biomass, can be used as a renewable organic filler. It is the main component of the plant cell wall and binds to the cellulose and hemicellulose to provide mechanical support [1,9–11]. Lignin is widely acceptable for application in the synthesis of value-added products such as resins, films, foams, stabilising agent for nanoparticles and nanofibers, it has various functional groups (hydroxyls, methoxyl, carbonyl, and carboxyl) in its structure [1,3,12,13]. The successful use of lignin in blends with different biopolymers, such as starch [14], alginate [1], gelatin [15] and synthetic polymers like poly(vinyl alcohol), poly(ethylene), poly(lactic acid) and poly(vinyl chloride) have also been reported in the literature [7,12,16,17]. Moreover, antibacterial and antioxidant activities of lignin have been reported, which might be helpful to augment the applicability of PLA in the food and pharmaceutical industries [18].

The objective of the current work was to synthesise the lignin-PLA blend for its plausible application in food packaging. The synthesised film was characterised by physicochemically, morphologically and structurally to evaluate the effect of lignin on the PLA matrix. At the end, antimicrobial and biodegradability properties of the film were investigated.

Addition of *Butea monosperma* var. *Lutea* (Fabaceae) in the flora of district Rajnandgaon, Chhattisgarh, India

Shriram Kunjam¹, Shweta Singh Chauhan², Ravishankar Chauhan³, Pramod Kumar Mahish^{2*}, Shailesh Kumar Jadhav⁴

¹Department of Botany, Govt. V.Y.T. Autonomous P.G. College, Durg, Chhattisgarh, India

²Department of Biotechnology, Govt. Digvijay Autonomous P.G. College, Rajnandgaon, Chhattisgarh, India

³National Centre for Natural Resources (NCNR), Pt. Ravishankar Shukla University, Raipur, Chhattisgarh, India

⁴School of Studies in Biotechnology, Pt. Ravishankar Shukla University, Raipur, Chhattisgarh, India

Abstract

Golden yellow flowering *Butea monosperma* was recorded for the first time in district Rajnandgaon near Ambagarh Chowki. The plant is identified as *Butea monosperma* (Lam) Taub. Syn *B. Frondosa* Koenig Ex. Roxb.var. *lutea* (Witt) Maheshwari. The location of the plant is 20° 49' 19.1"N; 80° 44' 45.8"E. On-site observation and morphological characteristics were examined. Counseling with local peoples was done to gather its socio-economic importance.

Keywords: Chhattisgarh, golden yellow, new species, palash, taxonomy

Introduction

Butea monosperma has a place with the family Fabaceae and is commonly known as the Flame of forest. It has various local names like palas, palash, chichra, dhak, bastard teak, bijasneha, bengal kino, khakara, mutthuga (Firdaus and Mazumder, 2012) [1]. *B. monosperma* is a very slow developing deciduous tree distinguished by the trifoliate pinnate leaves. It is naturally grown in the tropical and subtropical climate of India, Sri Lanka, Thailand, Laos, Bangladesh, Nepal, Myanmar, and Cambodia (Kandasamy & al., 2013) [2].

The different parts of plant and extract have been utilizing in Unani, homeopathy, and traditional system medicine since a long year ago. It is useful in hepatic disorder, diarrhea, ulcer, diabetes, improving memory, and abnormal menstruation. Antihelminthic, antibacterial, anti-inflammatory activities, free radical scavenging activities are likewise such properties of *B. monosperma* (Yadav & al., 2020) [3].

Flavonoids are very important naturally occurring polyphenol and are active biomolecules with medicinal values. The flower and bark of *B. monosperma* contain flavonoids such as butin, butrin, isobutrin, and butein (Chauhan and Mahish, 2020) [4].

The finding of new plant species is always excited and uncovers the magnificence of nature. Likewise gives additional way to track down its morphological, anatomical characteristics, bioactive compound, pharmacological

properties, and genetic relationship among species, and so on. *Butea monosperma* var. *lutea* was reported from places around Pune, Aurangabad in Maharashtra, Jillella block of Sirsilla forests of Karimnagar, Peddagutta of Nizamabad and Kummarigudem and Mallakpally of Warangal district of Andhra Pradesh and Gujarat (Naqvi, 2001 [5]; Reddy *et al.* 2001 [6]; Patil and Mahajan, 2018 [7]). Therefore, by the present study, golden butea, *Butea monosperma* (Lam) Taub. Syn *B. Frondosa* Koenig Ex. Roxb.var. *Lutea* (Witt) Maheshwari is added in the flora of district Rajnandgaon, Chhattisgarh, India. It is very rare, declared as globally endangered medicinal plant by Conservation Assessment Management Planning Workshop for Medicinal Plants of Andhra Pradesh (Jadhav *et al.* 2001) [8].

Materials and Methods

Study area: Bandha bazaar is a small village located in the block of Ambagarh Chowki, district Rajnandgaon, Chhattisgarh state.

It is 08 km from Ambagarh Chowki and 48 km from the district headquarter.

Bandha bazaar is located 315 meters above sea level. During sampling, the temperature was 38.5°C, humidity 5%, wind 5.50 m/sec towards NW.

The study area belongs to the tropical wet and dry climate. The major population is tribal with the dominance of Gond. The residence can communicate in Hindi and Chhattisgarhi. The location of the study area is presented in Fig. 1.

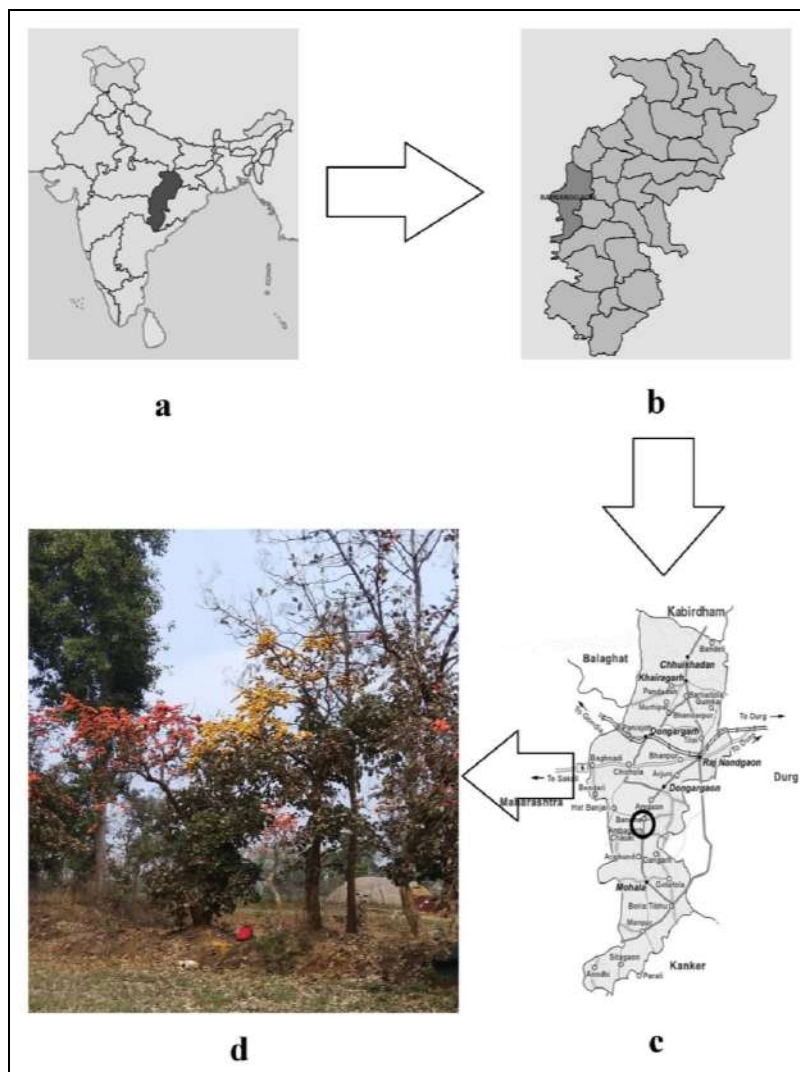


Fig 1: Location of Plant: a. Position of Chhattisgarh state in India; b. Position of district Rajnandgaon in Chhattisgarh state; c. Location of the study area in the circle; d. The Golden yellow *Butea monosperma* (Lam) Taub. Syn *B. Frondosa* Koenig Ex. Roxb.var. *lutea* (Witt) Maheshwari at 20° 49' 19.1" N; 80° 44' 45.8" E

Sample collection and identification: Plant related information was gathered from the local residents. Tree height, leave status, bark, and flower were examined at the spot. Leaves and dropped fresh yellow flowers were collected and placed in the sterile polythene bag and transported to the laboratory within 02 hours. After transport flower components were separated and its measurement was taken.

Results

A rare golden yellow *Butea monosperma* (Lam) Taub. Syn *B. Frondosa* Koenig Ex. Roxb.var. *lutea* (Witt) Maheshwari was recorded from Bandha Bazar, Block Ambagarh Chowki district Rajnandgaon, Chhattisgarh. The geographical location of the plant is 20° 49' 19.1"N; 80° 44' 45.8" E. The plant is not incorporated in the literature of flora found in Rajnandgaon district and Chhattisgarh state (Verma *et al.*, 1985 [9]; Verma *et al.* 1993 [10]; Mudgal *et al.* 1997 [11]; Khanna *et al.* 2001 [12]; Khanna & al., 2005 [13]). Therefore, the present collection is a new distribution and record for the flora of Rajnandgaon district, Chhattisgarh.

Taxonomic treatment

Butea monosperma (Lam) Taub. Syn *B. Frondosa* Koenig Ex. Roxb.var. *lutea* (Witt) Maheshwari. Descrip. List, N. et Ber. For. Circ. C. P. 75, 1916. *Butea lutea* Sagreiya, Indian

for. 65: 560, 1939, Maheshwari, Bul. Bot. Surv. India 3(1): 91-94, 1961^[14]. Figs. 2,3.

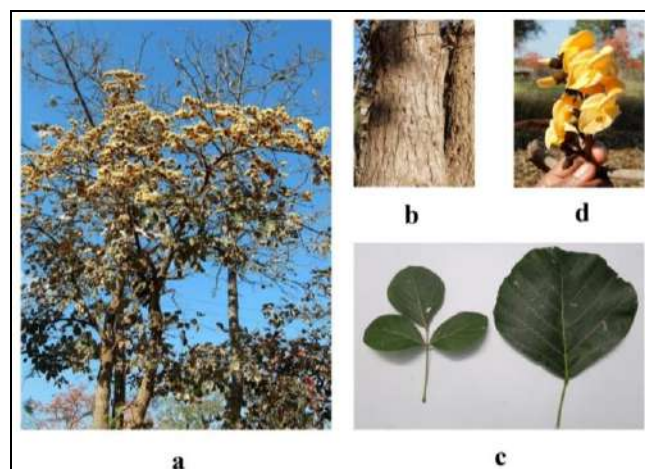


Fig 2: Plant description: a. The plant *Butea monosperma* (Lam.) var. *lutea* (Witt) Maheshwari; b. Bark of the plant; c. Leaflet; d. Inflorescence

The plant is a deciduous, erect medium-sized tree of about 24 feet long naturally grown. Stem: Usually crooked and

sometimes twisted with irregular branches and rough grey bark, rough, thick, fibrous, wound with gum, reddish exudates. Leaves: The leaves are pinnately compound with the long petiole (10-14 cm) with stipules, pulvinus leaf base; tripinnate unequal leaflets, each leaflet 15-20cm long; broadly ovate to rhomboid, glabrous; coriaceous leaflet, texture smooth in young and rough in mature; leafless while flowering; arrangement – alternate, base – cuneate; shape – rhomboid or ovate, margin – entire. Inflorescences: racemes, big and rigid 12-15 cm. Flowers: Golden yellow, bisexual, terminal or axillary; bracts small, pedicels 3cm long. Calyx: Black velvety cup shaped 1.5-1.8 cm long. Corolla: Standard ovate 5.3-6.4 x 2.6-3.2 cm glabrous, acute apex, entire margin; wing petals lanceolate, 6.4-7 x 1.4-1.6 cm pubescent, base oblique, apex acute; keel petals elliptical 6.3-7.3x 1.10-2.6 cm, base oblique, apex acute, margin entire, vexillary aestivation. Stamens: Diadelphous (9+1), filaments 5.8-7.0 cm long; anther elliptical to oblong. Ovary: Stalked oblong densely tomentose; style 5.8-6.2 cm long sparsely pubescent, curved. Pod: single seeded inside a pod; pod thin stalked and oblong, green in color; silky tomentose, size 15-18 cm in length, and 3 to 4.8 cm broad. Fruit: ellipsoid, flattened, 2.5 to 3.0 cm long.

Flowering: March - April.

Fruiting: April - June.

Flowering fruiting Period: The flowering, fruiting time of *B. monosperma* (Lam.) var. *lutea* (Witt) Maheshwari is presented in Fig. 4.

Distribution: In India: Pune, Aurangabad in Maharashtra; Karimnagar, Peddagutta of Nizamabad and Kummargudem and Mallakpally in Andhra Pradesh; Gujarat and Chhattisgarh.

Vernacular: Parsa (Chhattisgarhi), Palas, Palash, Chichra, dhak, Bastard Teak, Bijasneha, Bengal Kino, Khakara, Mutthuga.

Specimens examined: India, Chhattisgarh, Bandha Bazar, district of Rajnandgaon, 20° 49' 19.1 "N; 80° 44' 45.8" E.

Field note: Noted single plant from the area.

Key to the species of *Butea*

1. Trees, lowest flower 4-6 cm long orange red, calyx-tooth much shorter than the side ones.....*B. monosperma*
2. Flowers golden yellow; pod oblong, brownish, 1 seeded....*B. monosperma* var. *lutea*
3. Woody climbers; lowest calyx-tooth equal to the side one, flowers orange scarlet.....*B. superba*

Socio-economic use of Plant

According to the conversation with local peoples, the plant is socio-economically important. It acts as a host for lac insects and produces shellac. The plant is a source of earning for local peoples. Leaves are utilized for making plates, cups, native umbrellas (Khumri), and wrapping mud houses. Roots are used as small ropes for bundling of Tendu Patta (*Diospyros melanoxylon* leaves).



Fig 3 Flower description: a. Whole flower; b.&d. V.S. of flower; c. Calyx; e. Stamens; f. Pistil

Discussion

Leaf shape, leaf arrangement, flower color, seed shapes are some common variations found in plant species. New additions of *B. monosperma* in the flora of different locations have been previously done worldwide. These additions are based on the flower color, foliolate of the leaves, and flowering or nonflowering of the plant. Patel and Patel (2015) ^[15] reported a golden *B. monosperma* (Lam.) var. *lutea* from the Sabarkantha District of Gujarat State, India. A unifoliolate *B. monosperma* was observed by Rana and Nagar (2019) ^[16]. This plant has some other properties like it do not produce flower and fruit but gives small bracts and bracteoles only. The plant is located on agricultural land at Meghpar village, Jamnagar district, Gujarat State India. Patil and Mahajan (2018) ^[7] also reported golden yellow *B. monosperma* (Lam.) var. *lutea* from Bombay Pune highway at Pune. Based on the flower color, marker-related genetic diversity was studied by Vashishtha *et al.* (2013) ^[17]. The study notice similarity in the RAPD, SRAP markers but differences were observed in ISSR. ISSR was also used by Kandasamy *et al.* (2013) ^[2] for the molecular diversity among Golden yellow, Yellow, Mustard, Chrome yellow, White and Scarlet Flowering *B. monosperma* and found these plants are moderately similar.

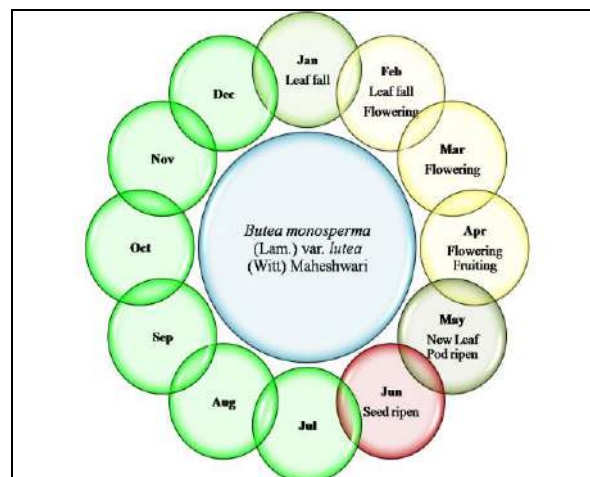


Fig 4: Cyclicity of *Butea monosperma* (Lam.) var. *lutea* (Witt) Maheshwari

Conclusion

Butea monosperma is a very essential medicinal and socio-economic important plant of local living. Variation in the same species of the plant allows contemplating it and comparing its morphological, physiological, chemical, and genetic characteristics. The plant identified in the present study is showing the variation in flower color. A similar plant was also recorded from the Gujarat and Maharashtra state of India yet not recorded in the district Rajnandgaon, Chhattisgarh.

Acknowledgements

The authors from Govt. Digvijay Autonomous P.G. College Rajnandgaon are thankful to the Autonomous cell of the college for providing research fund. The all the authors are grateful to the local people for giving necessary information about the plant.

References

1. Firdaus R, Mazumder A. Review on *Butea monosperma*. International Journal of Research in Pharmacy and Chemistry, 2012;2(4):1035-1039.
2. Kandasamy T, Kumari K, Kaprakkaden A, Lohot V, Ghosh J. Molecular diversity analysis of flower colour variants of *Butea monosperma* (Lam.) Taub. Using inter simple sequence repeats. The Bioscan, 2013;8(3):969-974.
3. Yadav SR, Sharma S, Pasi AK, Patel S. *Butea monosperma* (PALASH): Plant Review with Their Phytoconstituents and Pharmacological applications. IOSR J Pharm Biol Sci (IOSR-JPBS), 2020;15(1):18-23.
4. Chauhan SS, Mahish PK. Flavonoids of the flame of forest- *Butea monosperma*. Research Journal of Pharmaceutical and Technology, 2020;13(11):5647-5653.
5. Naqvi AH. Flora of Karimnagar District, Andhra Pradesh, India. Ph.D. thesis. Kakatiya University, Warangal, India.
6. Reddy CS, Reddy KN & Jadhav SN. Threatened Medicinal Plants of Andhra Pradesh. Medicinal Plant Conservation Center, EPTRI, Hyderabad, 2001, 39.
7. Patil R, Mahajan M. Documentation of *Butea monosperma* (Lam) Taub. syn B. Frondosa Koenig ex. Roxb. var. lutea (Witt) Maheshw. golden butea at Pune. International Journal of Researches in Biosciences, Agriculture and Technology, 2018;2(6):48-50.
8. Jadhav SN, Ved DK, Ghate U, Reddy KN, Reddy CS. Proceedings of the workshop on Conservation Assessment and Management Planning for Medicinal Plants of Andhra Pradesh. FRLHT, Bangalore, 2001.
9. Verma DM, Pant PC & Hafi MI. Flora of Raipur, Durg and Rajnandgaon. Botanical Survey of India. Calcutta, 1985, 663.
10. Verma DM, Balakrishnan NP & Dixit RD. Flora of Madhya Pradesh Volume I. Botanical Survey of India. Calcutta, 1993, 524.
11. Mudal V, Khanna RK, Hajra PK. Flora of Madhya Pradesh Vol. II. Botanical Survey of India. Culcutta, 1997.
12. Khanna RK, Kumar A, Dixit RD, Singh NP. Supplement to the flora of Madhya Pradesh, Bot Surv India. Culcutta, 2001, 181.
13. Khanna KK, Kumar A, Jha AK. Floristic diversity of Chhattisgarh (Angiosperms). Bisen Singh Mahendra Pal Sing, Dehradun, 2005, 660.
14. Maheshwari JK. On the Identity and Nomenclature of Some Indian Plants. Bul. Bot. Surv. INDIA, 1961;3(1):91-94.
15. Patel HR, Patel RS. *Butea monosperma* (Lam.) var. *lutea* (Witt) (Fabaceae): A new species record from Gujarat state, India. Int J Curr Microbiol App Sci, 2015;4(6):867-869.
16. Rana KG, Nagar PS. Unifoliolate *Butea monosperma* conserved by local people. Annals of Plant Science, 2019;8(5):3549-3550.
17. Vashishtha A, Jehan T, Lakhanpaul S. Genetic diversity and population structure of *Butea monosperma* (Lam.) Taub- a potential medicinal legume tree. Physiol. Mol. Biol. Plants, 2013;19(3):389-397.



International Journal of Scientific Research in Science and Technology

Print ISSN: 2395-6011 Online ISSN : 2395-602X

Volume 9, Issue 3, May-June-2022

**International Peer Reviewed, Open Access Journal
Bimonthly Publication**

Published By

Technoscience Academy

114	Sanket Vhanmore, Sonal Veer, Aditya Burande, Swapnil Pujari Health Monitoring System with Ventilator Using Arduino	784-790
	Pravin S Yele, Kaustubh B Ahire, Rakesh R Nagpure, Chetan P Chaudhary, Prof. Yogesh P Chaudhari	
115	Phishing Website Detection	791-795
	Mr. Tahir Naquash H B, Sarang Rijul Prakash, Mohammed Arshad Usman, Mohammed Fahad, Mansoor Khan	
116	लक्षित सार्वजनिक वितरण प्रणाली तथा खाद्य सुरक्षा की ओर बढ़ता छत्तीसगढ़ Sharda Verma, Omkar Verma Dr. R. N. Singh	796-803
117	कुटीर उद्योग में संलग्न महिलाओं की आर्थिक व सामाजिक स्थिति का अध्ययन (छत्तीसगढ़ के दुर्ग जिले के दुर्ग व धमधा विकासखण्ड का तुलनात्मक अध्ययन) Smt. Vandana Dhruve, Dr. Chandrika Nathwani, Shas. Digvijay	804-810
118	Synthesis and Photoluminescence characterization of $\text{ZnAl}_{12}\text{O}_{19}$: Sm^{3+} Phosphor for W-LED R. M. Yerojwar, N. S. Kokode, C. M. Nandanwar	811-815
119	Curvature Tensors in A Kaehler Manifold with Semi-Symmetric Metric Connection P. K. Dwivedi, Ankit Maurya	816-821

कुटीर उद्योग में संलग्न महिलाओं की आर्थिक व सामाजिक स्थिति का अध्ययन

(छत्तीसगढ़ के दुर्ग जिले के दुर्ग व धमधा विकासखण्ड का तुलनात्मक अध्ययन)

श्रीमती वंदना धुर्वे, शोधार्थी (अर्थशास्त्र) हेमचन्द्र विश्वविद्यालय, दुर्ग (छत्तीसगढ़)

डॉ. चन्द्रिका नाथवानी, शोध-निर्देशक (सेवानिवृत्त प्राध्यापक, अर्थशास्त्र विभाग)

शास. दिग्विजय स्वशासी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, राजनांदगाँव (छ.ग.)

Email ID : vandanadhurve112@gmail.com

Article Info

Volume 9, Issue 3

Page Number : 804-810

Publication Issue

May-June-2022

Article History

Accepted : 10 June 2022

Published : 30 June 2022

Abstract :

प्रस्तुत शोध पत्र छत्तीसगढ़ राज्य के दुर्ग जिले के अन्तर्गत दो प्रमुख विकासखण्ड दुर्ग एवं धमधा का चयन किया गया है। इस शोध पत्र में कुटीर उद्योग में संलग्न महिलाओं की आर्थिक व सामाजिक स्थिति, महिला सशक्तिकरण, आत्म निर्भरता आदि को ज्ञात करने के प्रयास किया गया है। इसमें कुल 400 उत्तरदाताओं (शहरी-ग्रामीण 200-200) को चयनित किया गया है। सभी चयनित उत्तरदाताओं की आयु 18 से 50 वर्ष मध्य है। प्राथमिक आँकड़ों के संकलन हेतु साक्षात्कार अनुसूची एवं अवलोकन पद्धति का प्रयोग किया गया है। प्राप्त आँकड़ों एवं तथ्यों के आधार पर प्रमुखतः निष्कर्ष के रूप में अधिकतर उत्तरदाता शिक्षित हैं, किन्तु व्यावसायिक जानकारी नगण्य है; साथ ही शासन की विभिन्न लाभप्रद योजनाओं की जानकारी निम्न स्तर है, इसके बावजूद महिलाओं द्वारा अपने क्षमता अनुरूप कार्य किये जा रहे हैं, जिससे आत्म निर्भरता एवं महिला सशक्तिकरण में वृद्धि हो रही है।

की-वर्ड्स : महिला उद्यमी, कुटीर उद्योग, हस्तशिल्प, सशक्तिकरण, आर्थिक-सामाजिक विकास।

प्रस्तावना -

भारत में कुटीर उद्योग राष्ट्रीय स्तर में आर्थिक व सामाजिक विकास में विशेष स्थान रखते हैं। इस उद्योग को भारत की औद्योगीकरण नीति में शामिल करने पर, MSME में शामिल करने पर बल दिया जा रहा है। इस प्रकार कुटीर उद्योग को आगे करने से राज्य एवं देश की अर्थव्यवस्था में सकारात्मकता आएगी। स्वतंत्रता पूर्व भारत में कुटीर उद्योग ही आय का एक महत्वपूर्ण स्रोत था, उस समय सभी गावों में कोई न कोई कुटीर उद्योग अवश्य होते थे। जैसे- तेल पेरने का कोल्हू, आचार, पापड़, झाड़ू, टोकरीयाँ, हस्तशिल्प, मिट्टी के कर्ई उत्पाद, हथकरघा, हैंडलूम, खादी इत्यादि; किन्तु स्वतंत्रता पश्चात् शासन ने इस ओर विशेष ध्यान नहीं दिया। विज्ञान और प्रौद्योगिकी के विकास कुटीर उद्योग के लिए सुखद घटना रही, क्योंकि इससे उत्पादन क्षमता में बेतहाशा वृद्धि हुई।

INDIA
MSNO
RD | editor@ijnrd.org

WWW.IJNRD.ORG

INTERNATIONAL JOURNAL OF NOVEL RESEARCH AND DEVELOPMENT

International Peer Reviewed & Refereed Journals, Open
Access Journal | ISSN: 2456-4184

Scholarly Open access journals, Peer-reviewed, and Refereed
Journals, Impact factor 8.76 (Calculate by google scholar and
Semantic Scholar | AI-Powered Research Tool),
Multidisciplinary, Monthly, Indexing in all major database &
Metadata, Citation Generator, Digital Object Identifier(DOI),
Monthly, Multidisciplinary and Multilanguage (Regional
language supported)

Publisher and Managed by: IJPUBLICATION

Impact factor: 8.76 | ESTD Year: 2016



Website: www.ijnrd.org | Email: editor@ijnrd.org



Scanned with OKEN Scanner

35768

A Statistical Analysis of Mental Health in India
Authors: Dolly Kumari Singh, Dr. Prabhat Kumar Singh
Registration ID: 182780 | Published Paper ID: IJNRD2209026
Year : September-2022 | Volume: 7 | Issue: 9
Approved ISSN : 2456-4184 | Country : -, -, -
DOI Member: 10.6084/m9.doione.IJNRD2209026
Page No : 217-223 | No of times Downloads: 00109938
Published Paper URL : <https://www.ijnrd.org/viewpaperforall?paper=IJNRD2209026>
Published Paper PDF : <https://www.ijnrd.org/papers/IJNRD2209026>

Rajnandgaon Jile me Krishi Aadharit Udhyog
Authors: Neelu Gupta, Dr. Chandrika Nathwanl
Registration ID: 182675 | Published Paper ID: IJNRD2209025
Year : September-2022 | Volume: 7 | Issue: 9
Approved ISSN : 2456-4184 | Country : -, -, India .
DOI Member: 10.6084/m9.doione.IJNRD2209025
Page No : 210-216 | No of times Downloads: 00109938
Published Paper URL : <https://www.ijnrd.org/viewpaperforall?paper=IJNRD2209025>
Published Paper PDF : <https://www.ijnrd.org/papers/IJNRD2209025>

The Multidisciplinary Learning: A Policy Initiative of NEP-2020-Challenges & Opportunities- A Case Study for Sustainable Education in India.
Authors: Prof.(Dr.) Shree Raman Dubey
Registration ID: 182777 | Published Paper ID: IJNRD2209024
Year : September-2022 | Volume: 7 | Issue: 9
Approved ISSN : 2456-4184 | Country : -, -, India .
DOI Member: 10.6084/m9.doione.IJNRD2209024
Page No : 201-209 | No of times Downloads: 00109938
Published Paper URL : <https://www.ijnrd.org/viewpaperforall?paper=IJNRD2209024>
Published Paper PDF : <https://www.ijnrd.org/papers/IJNRD2209024>

VARIOUS LOOPHOLES OF EDUCATION SYSTEM IN ASSAM
Authors: SÜHRID SINHA
Registration ID: 182773 | Published Paper ID: IJNRD2209023
Year : September-2022 | Volume: 7 | Issue: 9
Approved ISSN : 2456-4184 | Country : karimganj, assam, India .
DOI Member: 10.6084/m9.doione.IJNRD2209023
Page No : 190-200 | No of times Downloads: 00109938
Published Paper URL : <https://www.ijnrd.org/viewpaperforall?paper=IJNRD2209023>
Published Paper PDF : <https://www.ijnrd.org/papers/IJNRD2209023>

A STUDY OF GEOTOURISM IN HARYANA
Authors: Vickey, Parvesh
Registration ID: 182679 | Published Paper ID: IJNRD2209022
Year : September-2022 | Volume: 7 | Issue: 9
Approved ISSN : 2456-4184 | Country : Rohtak, Haryana, India .
DOI Member: 10.6084/m9.doione.IJNRD2209022
Page No : 186-189 | No of times Downloads: 00109938
Published Paper URL : <https://www.ijnrd.org/viewpaperforall?paper=IJNRD2209022>
Published Paper PDF : <https://www.ijnrd.org/papers/IJNRD2209022>

Vyaktitva Vikas Hetu Chitta Prasadani Ki Upyogita
Authors: Ashish Dobhal, Dr. Surendra Prasad Rayal
Registration ID: 182799 | Published Paper ID: IJNRD2209021
Year : September-2022 | Volume: 7 | Issue: 9
Approved ISSN : 2456-4184 | Country : Dehradun, Uttarakhand, India .
DOI Member: 10.6084/m9.doione.IJNRD2209021
Page No : 179-185 | No of times Downloads: 00109938
Published Paper URL : <https://www.ijnrd.org/viewpaperforall?paper=IJNRD2209021>
Published Paper PDF : <https://www.ijnrd.org/papers/IJNRD2209021>





शीर्षक – राजनांदगाँव जिले में कृषि आधारित उद्योग

शोधार्थी—नीलू गुप्ता (अर्थशास्त्र) शासकीय दिग्विजय स्नातकोत्तर महाविद्यालय राजनांदगाँव छत्तीसगढ़, शोध
निर्देशक—डॉ. चन्द्रिका नाथवानी सेवा निवृत्त विभागाध्यक्ष (अर्थशास्त्र) शासकीय दिग्विजय स्नातकोत्तर महाविद्यालय
राजनांदगाँव, छत्तीसगढ़

सारांश

प्रस्तुत शोध पत्र छत्तीसगढ़ राज्य के राजनांदगाँव जिले से सम्बन्धित है। यहाँ की आधे से ज्यादा जनसंख्या कृषि कार्य करती है। कृषि क्षेत्र से प्राप्त उत्पादों का प्रयोग करते हुए यहाँ औद्योगिक विकास की अपार सम्भावनाएँ विद्यमान हैं। शोध पत्र में कृषि आधारित उद्योगों के विकास की सम्भावनाएँ, आवश्यकता एवं महत्व पर ध्यान केन्द्रित किया गया है। शोध अध्ययन की अवधि 2010-11 से 2019-20 है लेकिन वैश्विक महामारी के प्रभावों को भी सामिल किया गया है। अध्ययन अवधि में जिले में पंजीकृत कृषि आधारित उद्योगों की इकाईयों, विनियोजित पूँजी तथा रोजगार का अध्ययन किया गया है। साथ ही उद्योगों के विकास हेतु किये गये सरकारी क्रियाकलापों से भी अवगत कराया गया है। राजनांदगाँव जिले में कृषि आधारित उद्योगों की स्थापना एवं विकास में आने वाली समस्याओं का अध्ययन कर उचित उपाय सुझाये गये हैं जो जिले के कृषि आधारित उद्योगों के विकास में सहायक हो सकेगा।

की-वर्ड

औद्योगिक नीति, विपणन, पंजीकृत, जीएसडीपी, कोरोना, वैश्विक महामारी

प्रस्तावना

भारत एक कृषि प्रधान देश है जिसमें श्रम एवं समय दोनों अधिक लगता है लेकिन उत्पादन की मात्रा तथा मूल्य कम होता है जिससे कृषकों की आय भी कम होती है। मात्र कृषि क्षेत्र के विकास से देश या राज्य का विकास संभव नहीं है। इसके लिए कृषि आधारित उद्योगों का भी विकास करना होगा। इसके लिए आवश्यक कच्चे माल की पूर्ति स्थानीय कृषि क्षेत्रों से ही सरलता से हो सकेगी। जिससे कृषक कृषि क्षेत्र के वाणिज्यीकरण हेतु आधुनिक तकनीकों का प्रयोग कर उत्पादन में वृद्धि करने को प्रोत्साहित होंगे तथा कृषि कार्य में संलग्न लोगों को सालभर रोजगार भी उपलब्ध होगा अर्थात् कृषि आधारित उद्योगों के विकास से न सिर्फ कृषि क्षेत्र का विस्तार होगा बल्कि स्थानीय लोगों की आवश्यकताओं की पूर्ति तथा प्रत्यक्ष एवं परोक्ष दोनों तरीकों से रोजगार का भी सृजन होता है।⁽¹⁾ किसी भी क्षेत्र की अर्थव्यवस्था कृषि, उद्योग एवं सेवा क्षेत्र के विकास पर निर्भर होती है। यहाँ की जलवायु, जनसंख्या की अधिकता तथा कार्यकुशलता को देखते हुए उनके उचित प्रयोग का एक तरीका कृषि आधारित उद्योग

Understanding Values and Ethics in Shrinking World

Editors

Mamta Rani | Neha Seth

B L O O M S B U R Y

NEW DELHI • LONDON • OXFORD • NEW YORK • SYDNEY



BLOOMSBURY INDIA
Bloomsbury Publishing India Pvt. Ltd
Second Floor, LSC Building No. 4, DDA Complex,
Pocket C – 6 & 7, Vasant Kunj,
New Delhi 110070

BLOOMSBURY, BLOOMSBURY PRIME and the Diana logo are
trademarks of Bloomsbury Publishing Plc

First published in India 2022
This edition published 2022

Copyright © Central University of Rajasthan, Ajmer, 2022

Mamta Rani and Neha Seth have asserted their right under the Indian Copyright Act
to be identified as the lead Editors of this work

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or
transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical,
including photocopying, recording or any information storage or
retrieval system, without the prior permission in
writing from the publishers

The book is solely the responsibility of the author and the
publisher has had no role in creation of the content and does not have
responsibility for anything defamatory or libellous or objectionable.

Bloomsbury Publishing Plc does not have any control over, or
responsibility for, any third-party websites referred to or in this book.
All internet addresses given in this book were correct at the time of going
to press. The author and publisher regret any inconvenience caused if
addresses have changed or sites have ceased to exist, but can accept
no responsibility for any such changes

ISBN: 978-93-54358-94-4
2 4 6 8 10 9 7 5 3 1

Typeset by Fortune Graphics, Naraina, New Delhi
Printed and bound in India by Replika Press Pvt. Ltd

To find out more about our authors and books, visit
www.bloomsbury.com and sign up for our newsletters

Contents

<i>Message from Editors</i>	vii
1. Some <i>Ślokās</i> of <i>Kātyāyana Śulbsūtra</i> and its Relevance in Present Time – <i>Nidhi Handa, Omkar Lal Shrivastava and Kalpana Sagar</i>	1
2. Magic Squares in Indian Mathematics: Constructions and Properties – <i>Vinod Mishra and Narbda Rani</i>	12
3. Storytelling: A Traditional Indian Method for Teaching Ethics and Values in the Shrinking World – <i>Guneet Inder Jit Kaur and Neeraj Gupta</i>	22
4. Prime Numbers in Ancient Indian Treatise <i>Tiloyasāra</i> – <i>Omkar Lal Shrivastava and Sumita Shrivastava</i>	36
5. Business Ethics or Ethics in Business? Panacea in the Shrinking World – <i>Khwaja Naveed, Salim Khan, Riaz ul Haq and Dost Muhammad</i>	44
6. Significance of Value Education in Present Scenario – <i>Vinoliya Jabarani W. and P. Senthamizh Pavai</i>	51
7. Contribution of Fermat in Mathematics – <i>Anita Tomar, Meena Joshi and Dhananjay Kumar</i>	60
8. Vedism: The Management Practices in Sanatana Way and Relevance in Contemporary World – <i>Tulsee Giri Goswami, Mansi and Prakash Giri</i>	73
9. Algorithmic Complexity Analysis of <i>Kapatasandhi</i> Method of Multiplication – <i>Rashi Agarwal and Mamta Rani</i>	86
10. Exploring the Role of Ethics in Water Governance – <i>Sonika and Pragati Jain</i>	93
11. Teaching Profession and Ethics in Shrinking World – <i>Vaishali Agrawal and Mitali Gupta</i>	105
12. Losing the Light of Humanity – <i>Shweta Gupta and Monty Kanodia</i>	112
13. Understanding Ethics in Shrinking World – <i>Tajinder Kaur</i>	120

Prime Numbers in Ancient Indian Treatise Tiloyasāra

OMKAR LAL SHRIVASTAVA* AND SUMITA SHRIVASTAVA#

Introduction

A prime number is a natural number greater than one which has exactly two positive divisors, one and itself only. The study of prime numbers was important in ancient times and now it has become more significant in modern times due to its application in solving the real world problems.

Indians were well acquainted with numbers and mathematical operations of numbers since Vedic times centuries before Christian era. We find many references about prime numbers in *Vedas*, *Brāhmaṇa*, *Āraṇyaka* and *Upniṣadas*. In Vedic literature we find that the numbers 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, etc., are treated as sacred numbers, which are prime numbers from 1 to 20. The Greek mathematician Euclid (325–265 BCE), in his famous book *The Elements*, has discussed prime numbers exclusively for the first time in western world. Another Greek Eratosthenes (276–194 BCE) developed an algorithm for finding all possible primes. Nicomachus (c.100 CE) has given prime and composite numbers in his *Introduction of Arithmetic*. Fifteen centuries later Pierre de Fermat (1601–1665 CE) has discussed prime numbers extensively and has given Fermat numbers like $F_n = 2^{2^n} + 1$ and Fermat's Little Theorem.

Marin Mersenne (1588–1648) has given particular numbers of the form $M_p = 2^p - 1$. Mersenne claimed M_p is prime for $p = 2, 3, 5, 7, 13, 17, 19, 31, 67, 127$, and 257 and composite for all other numbers $p < 257$. It is established that Mersenne's list is not accurate because he has excluded $p = 61, 89$ and 107 and included incorrectly 67 and 257.

* Government Kamladevi Rathi Girls P.G. College, Rajnandgaon, C.G., India.
E-mail: omkarlal@gmail.com

Government Digvijay P.G. College, Rajnandgaon, C.G., India.
E-mail: sumitashrivastava9@gmail.com



"Studies on the Biodiversity of Weeds & Flowering Plants from Government Digvijay College Campus And Adjoining Areas In Chhattisgarh, India."

Anita Mahishwar* & Shama Afroze Baig**

Affiliation of authors: 1. **Shama Afroze Baig, HOD Microbiology,
Swami Shri Swaroopanand Saraswati Mahavidyalaya,
Hudco, Bhilai, C.G. INDIA.

2. *Anita Mahishwar, Professor & Head, Department of Botany,
Govt. Digvijay Autonomous College,
Rajnandgaon, C.G.

Affiliation: Hemchand Yadav University

ABSTRACT: Weeds are considered as undesirable plants which grows at any place, but they are harmful and interfere in human activities when found growing in crop fields, cultivations, parks, lawns, kitchen gardens etc.. They grow aggressively and reproduce very fast so as to spread far and capture all land competing with useful plants. Weeds are known to occur in all natural habitats, degraded barren lands and on roadsides too. Weeds though notorious, harmful they are also useful in several respects, i.e. used in traditional medicine system, applications in ethno-medicine and veterinary medicines. They are also exploited by modern research in drugs as sources of novel phyto-compounds.

Flowering plants (Angiosperms) are very dominant and diverse and Chhattisgarh is rich in plant diversity. Flowering plants play an important role in human civilization and development of natural resources. Therefore a study was done at Govt, Digvijay college vicinity and surroundings to know the richness of flowering plant diversity and biodiversity of weeds. Twelve locations were selected and quadrant method was used for data collection. Each plant is studied with respect to their common name, botanical name, flowering and fruiting time along with their characteristics.

KEY WORDS: Weeds, flowering plants, diversity, medicinal values.

INTRODUCTION

Weeds are unwanted, undesirable plants that interfere with usage of land, water, space and nutrients, and thus negatively affect crop yields of human interest. They are usually referred as plants growing in the wrong places. Weeds are known to occur practically everywhere. They are found on degrade, fallow lands, waste lands, along road sides, along railway tracks, at industrial locations, alongside ponds, lakes and various water bodies. The harmful effects of weeds are greatest felt in agriculture where the unwanted weeds compete with crops for space, soil, water, nutrients, light and inputs; block irrigation channels with their prolific growth and ultimately reduce the yields of crops and their quality (ICAR, 2000).

Weeds are notorious because they increase the expenditure by involving the cumbersome process of weeding which has been described as one of the most laborious operations in agriculture (Puttoo, 2008). Weeds are also known to harbor insects, pests and harmful microorganisms, release poisonous toxins and growth inhibitory substances in the soil, thereby affecting surrounding cultivated plants (CSIR, 1992), live stock and human beings. They are known to hamper harvesting operations. The losses caused by weeds in agriculture far exceed losses from all other categories taken together (Subramanian *et al.*, 1995). Besides bringing about reduction in crop yield, weeds reduce land value, affect the quality of produce, affect human efficiency, and block water bodies resulting in impediments and death of fish. The intense crop-weed competition is a science in itself. One of the significant developments in agricultural technology in recent times has been the usage of chemical means viz. herbicides for weed control and this is a cost effective and less laborious option (Shinde *et al.*, 2013); while some prefer integrated weed management

ANTIOXIDANT PROPERTIES OF BAUHINIA PURPUREA L.

A.K. Shrivastava

Govt. D.T. P.G. College, Utai, Durg (C.G.), India (aksbotany@gmail.com)

A. Mahishwar, Bhabita Mandavi, Rakesh Kumar and Hina Sahu

Govt. Digvijay P. G. Autonomous College, Rajnandgaon (C.G.), India

Leguminosae, also known as legume, pulses, pea and bean family, is considered as a large economically important family due to its proteinaceous value. Although nitrogen is the most abundant gas in the atmosphere, it is not directly taken by ordinary plants and animal. But root nodules of legumes have symbiotic bacteria which are capable of converting atmospheric nitrogen into assimilable form by breaking their triazide bond, which is later converted into amino acids and proteins. Biological Nitrogen fixation is a very important characteristic feature of this family due to this forming the building block for protein. About 83 plant species of this family are growing luxuriantly in Durg district of Chhattisgarh (India). Thus a wise farmer repeats growing plants of this family in their field for biological nitrogen fixation. Primary and secondary metabolites are components of members of legume family due to inter-conversion of various metabolites through metabolic activities within the plant. Hence besides carbohydrates, proteins, fats and primary metabolites, they also consist of secondary metabolites like phenols, alkaloids, flavonoids, terpenes, terpenoids, glycosides, tannins, saponins, steroids etc. Antioxidants are compounds that inhibit oxidation, a chemical reaction that can produce free radicals and chain reactions, that may damage cells of organisms. The consumption of these plant products may protect organisms, directly or indirectly, from oxidative stress. Thus the present topic has been taken into consideration to find antioxidant properties of *Bauhinia purpurea* L. with the help of DPPH(1, 1-Diphenyl-2 -picrylhydrazyl) scavenging activity.

Keywords: Antioxidants, Secondary metabolite, Medicine, Bauhinia, Leguminosae, Durg

1. INTRODUCTION

Chhattisgarh is present in the heart of India and has a rich cultural heritage and numerous ethno-botanical medicinal plants. *Bauhinia purpurea*, locally known as "Sonpatti", is linked to the legend of Lord Rama (a deity in Hinduism) and is traditionally gifted to senior members of the family as a sign of love and Victory of Lord Rama over Ravana. The leguminosae family has many useful plants, ornamental plants, vegetables, crops, and is also important for its medicinal properties in local and tribal communities (Sutjaritjai et al., 2019, Kumar et al., 2021). *Bauhinia purpurea* L. is a flowering plant species belonging to the family of leguminosae. Their different parts have been used in medicine for treatment of pain, fever, stomach pain, diarrhea, etc. (Annegowda et al., 2011). Due to the Phenol content, it has excellent antioxidant property. Antioxidant compounds have the ability to slow the process of oxidation by terminating the oxidation chain reactions (Kushwaha and Narayan, 2018). Oxidation means transfer of electrons of a molecule to an oxidizing agent. Oxidation reaction is caused due to free radicals that start chain reactions immediately which result in damage to the living cells (Shrivastava et al., 2014). Antioxidants such as thiol or ascorbic acid (vit.C) may act to inhibit this chain reaction to balance oxidative stress in plants and animals. Vitamin A, C, & E are only dietary oxidants. Although certain level of antioxidants vitamins in the diet is required for good health, there is still considerable debate on whether antioxidants rich food has anti microbial or anti-disease activity (Maret et al., 2011).

BIODIVERSITY & SECONDARY METABOLITES OF FEW IMPORTANT ETHNO- BOTANICAL PLANTS USED IN SKIN DISEASES BY LOCAL INHABITANTS OF DURG (C.G.)

A.K. Shrivastava

Govt. D.T. P.G. College, Utai, Durg (C.G.), India (aksbotany@gmail.com)

A. Mahishwar

Govt. Digvijay Autonomous P.G. College, Rajnandgaon (C.G.), India (anita.mahishwar@gmail.com)

Bhabita Mandavi

Govt. Digvijay Autonomous P.G. College, Rajnandgaon (C.G.), India (bhabitam10@gmail.com)

Rakesh Kumar

Govt. Digvijay Autonomous P.G. College, Rajnandgaon (C.G.), India (rakeshsahurs442@gmail.com)

Hina Sahu

Govt. Digvijay Autonomous P.G. College, Rajnandgaon (C.G.), India (hinasahu291196@gmail.com)

Plant species used in cure of skin disorder among the indigenous communities of Durg district of Chhattisgarh state was conducted. Skin is considered as largest visible organ of human so directly comes in exposure to different diseases, thus people of all ages suffered mostly by ordinarily infections on skin. Most of the plant species described in the present paper are used in the treatment of Cuts, Burns, Wounds, Itching, Chicken-Pox, Ring Worm, Pimples, Scabies, Eczema, Leprosy, Abscess, Psoriasis, Inflammation, Rashes etc. Survey and documentation was done on the ethno-medicinal plants used by the tribal and local inhabitants of Durg district of Chhattisgarh, before such valuable indigenous knowledge fade away. A total of 35 plant species were documented by the help of local health healer for the treatment of skin disorder which belonging to 23 families of monocots and dicots.

Keywords: Indigenous Knowledge, Folk Medicine, Skin Disorder, Chhattisgarh

1. INTRODUCTION

India has century's old legacy of medicinal plants and herbal medicines for curing human sickness (Tiwari, 2015). Approximately 80% of the people in developing countries dependent on traditional medicines for their primary healthcare estimate by World Health Organization (WHO) (Kingston, 2009, Verma, 2016). There are estimated to be many effective plant-based formulation, used in folk medicine and known to tribal and local communities in Chhattisgarh. Medicinal plants are only easily available health care substitute for the most of the population in rural and tribal areas. In Chhattisgarh the knowledge accrued by the tribals through generation's shows the in-depth understanding of the forest resources and since medicinal plants are used in pharmacological research and drug development (Tiwari, 2015). In the present paper an attempt to document on medicinal plant species used to cure skin disorder by tribal and local communities.

Secondary metabolites were also reported in these medicinal plants. The medicinal plants are rich of secondary metabolites which provides a type of defense to plants that's why they are very important properties of a plant. Secondary metabolites are plant derived organic molecules which have less nutritional value. However, they affect the various physiological processes in body and play role in defense mechanism to protect the body against diseases (Costa et al., 2012). Terpenoids, alkaloids, glycosides, tannins, steroids, saponins, phenolic compounds, flavonoids etc. are important secondary metabolites produced in plants.

REVIEW ARTICLE



Neurodegenerative disorders management: state-of-art and prospects of nano-biotechnology

Raj Kumar^a, Keshaw Ram Aadil^b, Kunal Mondal^c, Yogendra Kumar Mishra^d , David Oupicky^a, Seeram Ramakrishna^e  and Ajeet Kaushik^f

^aDepartment of Pharmaceutical Sciences, Center for Drug Delivery and Nanomedicine, University of Nebraska Medical Center, Omaha, NE, USA; ^bCenter for Basic Sciences, Pt. Ravishankar Shukla University, Raipur, India; ^cMaterials Science and Engineering Department, Idaho National Laboratory, Idaho Falls, ID, USA; ^dMads Clausen Institute, NanoSYD, University of Southern Denmark, Sønderborg, Denmark; ^eCenter for Nanotechnology and Sustainability, National University of Singapore, Singapore, Singapore; ^fNanoBioTech Laboratory, Division of Sciences, Art, & Mathematics, Department of Natural Sciences, Florida Polytechnic University, Lakeland, FL, USA

ABSTRACT

Neurodegenerative disorders (NDs) are highly prevalent among the aging population. It affects primarily the central nervous system (CNS) but the effects are also observed in the peripheral nervous system. Neural degeneration is a progressive loss of structure and function of neurons, which may ultimately involve cell death. Such patients suffer from debilitating memory loss and altered motor coordination which bring up non-affordable and unavoidable socio-economic burdens. Due to the unavailability of specific therapeutics and diagnostics, the necessity to control or manage NDs raised the demand to investigate and develop efficient alternative approaches. Keeping trends and advancements in view, this report describes both state-of-the-art and challenges in nano-biotechnology-based approaches to manage NDs, toward personalized healthcare management. Sincere efforts are being made to customize nano-theragnostics to control: therapeutic cargo packaging, delivery to the brain, nanomedicine of higher efficacy, deep brain stimulation, implanted stimulation, and managing brain cell functioning. These advancements are useful to design future therapy based on the severity of the patient's neurodegenerative disease. However, we observe a lack of knowledge shared among scientists of a variety of expertise to explore this multi-disciplinary research field for NDs management. Consequently, this review will provide a guideline platform that will be useful in developing novel smart nano-therapies by considering the aspects and advantages of nano-biotechnology to manage NDs in a personalized manner. Nano-biotechnology-based approaches have been proposed as effective and affordable alternatives at the clinical level due to recent advancements in nanotechnology-assisted theragnostics, targeted delivery, higher efficacy, and minimal side effects.

ARTICLE HISTORY

Received 26 February 2021

Revised 27 May 2021

Accepted 15 June 2021

KEYWORDS

Neurodegenerative disorders; brain stimulation; nano drug delivery system; nanomedicine; nano-therapies; personalized health wellness

Introduction: urgency of neurological disorder management

Health agencies have declared neurological disorders (NDs, comprise 600 conditions) as serious problems related to central nervous systems (CNS). Reports of: the Global Burden of Disease (GBD), injuries, and risks factors 2016 study-based assessments *via* Disability-Adjusted Life Years (DALY) confirmed the seriousness of NDs progression (19 NDs in 195 countries) [1]. According to the 2016 report, neurological disorders are leading DALYs (276 million) and the second leading cause of death (9.0 million) [2]. The Global Burden of Disease indexed the 369 neurological diseases of 204

countries from 1990 to 2019 [3]. The global health burden of neurological disorders is around 8%. According to the Medicine in Development for Neurological Disorders 2018 report, 100 million Americans are affected by around 1000 different neurological diseases. The annual cost of neurological disorders in the US is \$800 billion (Figure 1) [4]. It was estimated that in Europe, the economic cost of neurological disorders was ~139 billion euros [5]. However, the worldwide data is unclear due to a lack of data management from middle- and low-income countries. We believe these statistics will provide the state-of-the-art situation and future possibilities. The socio-economic burden of ND

CONTACT Ajeet Kaushik  akaushik@floridapoly.edu  NanoBioTech Laboratory, Division of Sciences, Art, & Mathematics, Department of Natural Sciences, Florida Polytechnic University, Lakeland, FL 33805, USA; Raj Kumar  rk7410@gmail.com  Department of Pharmaceutical Sciences, Center for Drug Delivery and Nanomedicine, University of Nebraska Medical Center, Omaha, NE 68198, USA

© 2021 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

Synthesis and characterization of lignin-poly lactic acid film as active food packaging material

Ankita Chaubey^a, Keshaw R. Aadil^b and Harit Jha^a

^aDepartment of Biotechnology, Guru Ghasidas Vishwavidyalaya, Bilaspur, India; ^bCenter for Basic Sciences, Pt. Ravishankar Shukla University, Raipur, India

ABSTRACT

The present work describes the synthesis, characterisation and antimicrobial activity of lignin-poly(lactic acid) (PLA) blended film. Film was prepared using co-polymerisation reaction of lignin and lactic acid in the presence of stannous chloride as a catalyst and poly(vinyl alcohol) to get the uniform film. The properties of the film was studied by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), differential scanning calorimetry (DSC) and thermo-gravimetric analysis (TGA), respectively. The lignin-PLA film demonstrated a significant decrease in swelling ratio and tensile strength in contrast to PLA film. SEM analysis revealed proper blending of lignin into PLA matrix with slightly rough surface. Film was thermostable and amorphous in nature as confirmed from the thermal study and XRD analysis, respectively. Further, significant improvement was observed in antimicrobial activity and biodegradability of PLA film after addition of lignin, which suggest the putative application of lignin-PLA film as the food packaging and mulch film materials.

ARTICLE HISTORY

Received 7 February 2020

Accepted 30 May 2020

KEYWORDS

Lignin; poly lactic acid (PLA); biodegradability; antimicrobial activity

Introduction

Dependence on the petrochemical-based non-renewable polymers has become a serious threat to the environment. The use of non-degradable polymers from the non-renewable resource is one of the major reasons of environmental pollution. Hence, such problems have driven the efforts to replace the petroleum origin polymers with renewable and nature-derived biopolymers [1–3]. Natural resource fillers are abundant, inexpensive, renewable and fully biodegradable raw materials [4]. Consequently, the biocomposites with natural resource fillers have become a major part of the biodegradable plastic industry. Poly-lactic acid (PLA) is a linear aliphatic thermoplastic polyester which can be obtained from lactic acid derived from the fermentation of renewable agricultural-based feedstocks [5,6]. The global production growth of PLA is envisaged to approximately quadruple between 2013 and 2020 [7]. Furthermore, PLA is biodegradable and have some promising properties such as recyclable and compostable with good stiffness and strength, though the applicability of PLA is limited due to high brittleness, low softening temperature and weak water vapour and gas barrier properties, inferior moisture sensitivity, early physical ageing and poor impact resistance [2,8, 7]. Therefore, the best way to improve its properties and to extend its application field is to prepare

blends, copolymers and to reinforce it with various inorganic and organic fillers.

Lignin, the most abundant polyphenolic compound found in biomass, can be used as a renewable organic filler. It is the main component of the plant cell wall and binds to the cellulose and hemicellulose to provide mechanical support [1,9–11]. Lignin is widely acceptable for application in the synthesis of value-added products such as resins, films, foams, stabilising agent for nanoparticles and nanofibers, it has various functional groups (hydroxyls, methoxyl, carbonyl, and carboxyl) in its structure [1,3,12,13]. The successful use of lignin in blends with different biopolymers, such as starch [14], alginate [1], gelatin [15] and synthetic polymers like poly(vinyl alcohol), poly(ethylene), poly(lactic acid) and poly(vinyl chloride) have also been reported in the literature [7,12,16,17]. Moreover, antibacterial and antioxidant activities of lignin have been reported, which might be helpful to augment the applicability of PLA in the food and pharmaceutical industries [18].

The objective of the current work was to synthesise the lignin-PLA blend for its plausible application in food packaging. The synthesised film was characterised by physicochemically, morphologically and structurally to evaluate the effect of lignin on the PLA matrix. At the end, antimicrobial and biodegradability properties of the film were investigated.

Open Or Transparent Peer Reviewed & Refereed Journal

ISSUE-29

VOLUME-5

IMPACT FACTOR-IJIF-7.512

ISSN-2454-6283

July-September 2022

AN INTERNATIONAL MULTI-DISCIPLINARY RESEARCH JOURNAL

शोध-ऋतु

5

सम्पादक

डॉ. सुनील जाधव

तकनीकी सम्पादक

अनिल जाधव

पत्राचार हेतु कार्यालयीन पता -

डॉ. सुनील जाधव,

महाराणा प्रताप हाउसिंग सोसाइटी,

हनुमान गढ़ कमान के सामने,

नांदेड-४३१६०५, महाराष्ट्र

web:- www.shodhritu.com

Email - shodhritu78@yahoo.com

WhatsApp 9405384672



Scanned with OKEN Scanner

—'कल्पना एन. डॉ.बलविंदर कौर.....	93
36. 'रंगविमर्श' : अविरत रंगयात्रा का मूल्यगर्भ चिंतन	95
—मंगेश बनसोड.....	95
37. नई सदी की हिंदी प्रेम कहानियों में स्त्री यौनिकता की अभिव्यक्ति	97
—अनुराग कुमार	97
38. लोककलेतील मुस्लिम कलावंतांचे योगदान	100
—डॉ.श्यामल गरुड (बनसोड).....	100
39. "1925 ईस्वी के नीमूचाणा कृषक आन्दोलन के घटनाक्रम का विवरण".....	104
—डॉ.राहुल कुमार मीना	104
40. समकालीन हिंदी के मुस्लिम कहानीकारों की कहानियों में आर्थिक समस्याएँ	107
—अमजद पाशा मुहम्मद.....	107
41. प्रशासनिक अधिकारी की लेखन दृष्टि और हिन्दी साहित्य में उसका महत्त्व.....	109
—डॉ.सुधीर सैनी	109
42. सोशल मीडिया के उपयोग के बाद युवाओं की पुस्तकों से बढ़ती दूरी का अध्ययन.....	111
—डॉ.अनिल कुमार मंडावी.....	111