



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific
Research
جامعة قاصدي مرباح ورقلة
University of KasdiMerbahOuargla
كلية الرياضيات وعلوم المادة
Faculty of Mathematics and Sciences of matter



قسم الكيمياء

Department of chemistry

مذكرة مقدمة لنيل شهادة ماستر اكايمي

في الكيمياء

التخصص: كيمياء تحليلية

من إعداد الطالبتين : حوتي سوسن نجلاء – بن حود رانيا

بعنوان:

دراسة مقارنة لبعض المقالات العلمية حول تطبيقات الإلكتروليتات،
(دراسة الفعالية المضادة للأكسدة والتآكل بالطرق الإلكتروليتية)

نوقشت علنا يوم:.....

امام لجنة المناقشة المكونة من :

رئيسا	استاذ محاضراً- جامعة قاصدي مرباح ورقلة	هادف الدراجي
مناقشا	استاذ محاضراً- جامعة قاصدي مرباح ورقلة	بالفار محمد الأخضر
مؤطرا	استاذ محاضر ب- جامعة قاصدي مرباح ورقلة	بن ساسي شيماء
مساعد مؤطرا	استاذ تعليم عالي- جامعة قاصدي مرباح ورقلة	حجاج محمد

الموسم الجامعي: 2021/ 2022

" وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ "

(يونس 10)

الاهداء

لحظة لا طالما انتظرتها وحلمت بها في حكاية اأكملت فصولها،
أهدي ثمرة عملي وحصاد ما زرعت في سنين طويلة :
إلى التي وضع الجنة تحت قدميها، إلى من حصدا الأشواك عن دربي
ليمهدا لي
طريق العلم أبي و أمي
الى فلذة كبدي وقرّة عيني إبني محمد الهاشمي عسى أن يصل لمثل هذا
اليوم
وأراه ناجحا،
الى اخوتي: حسام الدين، زهرة العلي، شفاء، سيف الدين، اسلام، نوح السلام
الى كل عائلة بن حود، و حودميسة
الى صديقتي في هذا البحث حوتي سوسن نجلاء،
الى صديقتي جميلة بوسطيلة التي لم تكمل المشوار معنا أسأل الله
عزوجل
أن يشفيها
الى رفيقة دربي منال عباس، وكل صديقاتي في المشوار الدراسي
الى كل أحبتي وكل روح شاركتني بدعائها.

بن حود رانيا

الاهداء

" وآخر دعواهم أن حمد الله رب العالمين "

الحمد لله الذي ما تم ولا ختم سعى إلا بفضلته

ها قد وصلت رحلتي الجامعية إلى نهايتها بعد تعب ومشقة وها أنا ذا أختتم
بحث تخرُّجي بكل همّة ونشاط .

إلى من وضعتني على طريق الحياة، وجعلتني رابط الجأش، والتي كان
دعائها سر نجاحي (أمي الغالية)

إلى (أبي الغالي) حفزه الله ورعاه

إلى روح جدتي الطاهرة رحمة الله عليها

إلى إخوتي


إلى كل عائلة غربي و عائلة حوتي

إلى صديقتي في هذا البحث بن حود رانيا،

إلى رفيقات دربي صديقاتي

وإلى كل من ساعدني في انجاز هذا العمل و

كان له فضل في مسيرتي الجامعية .



شكر وعرفان

أول من يشكر ويحمد آناء الليل وأطراف النهار الذي أغرقنا بنعمه التي لا تحصى فعلمنا ما لم نعلم فله جزيل الحمد والثناء العظيم والشكر كله أن وفقنا وألهمنا الصبر لإنجاز هذا العمل.


والشكر موصول الى كل معلم أفادنا بعلمه من أولى المراحل الدراسية حتى هذه اللحظة كما نرفع كلمة شكر الى الأستاذ الدكتور "**حجاج محمد**" ونشكر الدكتورة المشرفة "**بن ساسي شيماء**" التي ساعدتنا على انجاز هذا العمل المتواضع .

وكل الشكر لرئيس قسم الكيمياء الدكتور "**بلفار محمد الأخضر**" على مجهوده في مشوارنا الدراسي، وتحية خالصة للدكتور "**هادف دراجي**"

و كل قسم الكيمياء وكل أساتذة الكيمياء .

تحياتنا لكلية الرياضيات وعلوم المادة

والى كل روح شهداء الوطن.



المخلص

إن الهدف من هذه الدراسة هو مقارنة لبعض المقالات العلمية حول تطبيقات الكهروكيمياء (تقدير الفعالية المضادة للأكسدة للمستخلصات الفينولية لعدة أصناف من التمر (*Phoenix dactylifera* L.)، و الفعالية المضادة للتآكل لبعض المستخلصات النباتية).

تمت دراسة النشاط المضاد للأكسدة باستخدام الفولتامترى الحلقي لتحديد القدرة المضادة للأكسدة للمستخلصات على كبح جذر أنيون فوق الأكسيد $O_2^{\cdot-}$ ، حيث أظهرت النتائج أن جميع المستخلصات الميثانولية المدروسة تملك قدرة على كبح الجذر الحر $O_2^{\cdot-}$ ، حيث سجلت الدقلة الحمراء (DR) لدراسة بن طبة قدرة عالية على كبح الجذر الحر $O_2^{\cdot-}$ بقيمة IC_{50} قدرها 0.006 g/l. كما و تمت دراسة الفعالية المضادة للتآكل في وسط الـ HCl بتركيز 1 M و 0.5 M بعدة طرق منها:

منحنيات الاستقطاب و مطيافية الممانعة الكهروكيميائية. و أثبتت النتائج التي تم الحصول عليها تسجيل أعلى نسبة تثبيط في طريقة منحنيات الاستقطاب لدراسة بالاعور ابتسام لمستخلصات نبات *Senecio hoggariensis* Batt. & Trab حيث قدرت بـ 97.40% عند تركيز 12.5 ppm، بينما قدرت أعلى نسبة تثبيط بـ 97% عند تركيز 1400 ppm لمستخلصات نوى التمر في طريقة مطيافية الممانعة لدراسة Naba Jasim Mohammed & Norinsan Kamil. ومن خلال هذه النتائج فإنه أثبت وجود فعالية عالية لمستخلصات التمر تختلف باختلاف الصنف ومنطقة الغرس، وأن لمستخلصات النباتات أيضا قدرة على تثبيط التآكل.

الكلمات المفتاحية : *Phoenix dactylifera* L.، المستخلصات، الكهروكيمياء، الفولط متري الحلقي، الفعالية المضادة للأكسدة، الفعالية المضادة للتآكل.

Summary

The aim of this study is to compare some scientific articles on the applications of electrochemistry (estimate Antioxidant activity of phenolic extracts of dates (*Phoenix dactylifera*.L) cultivares, and the anti-corrosion activity of some plant extracts).

The antioxidant activity was studied using cyclic voltammetry to determine the antioxidant capacity of the extracts on the inhibition of the superoxide anion radical $O_2^{\bullet-}$, where the results showed that the methanolic extracts have the ability to inhibit the free radical $O_2^{\bullet-}$ in all studies, Where Degla Al Hamra (DR) for the study of Ben Tabbah was recorded a high ability to inhibit free radical $O_2^{\bullet-}$, with an IC50 value was 0.006g/l.

The anti-corrosion activity of HCl at a concentration of 1 M and 0.5 M was studied in several ways, including: Polarization curves and electrochemical impedance spectroscopy. The results obtained are proven recording the highest inhibition rate in the polarization curves method for the study of Ibtissam BEL Aouar for plant extracts *Senecio hoggariensis* Batt. & Trab, which was estimated 97.40% at a concentration value was 12.5ppm, while the highest inhibition rate was estimated 97% at 1400 ppm concentration for date seed extracts in the impedance spectroscopy method for the study of Naba Jasim Mohammed & Norinsan Kamil.

Through these results, it was proven that there is a high effectiveness of date extracts that differ according to the cultivar and planting area, and plant extracts also have the ability to inhibit corrosion.

Key words:

Phoenix dactylifera.L, extracts, electrochemistry, cyclic voltammetry, antioxidant activity, anti-corrosion activity.

الفصل الثاني

18	II. عموميات حول الجذور الحرة ومضادات الأكسدة والتآكل
18	II.1. الجذور الحرة
18	II.2.1. مصادر الجذور الحرة
18	II.3.1. دور الجذور الحرة
18	II.4.1. الأمراض الناجمة عن الجذور الحرة
19	II.2. مضادات الأكسدة
19	II.1.2. فوائد مضادات الأكسدة
19	II.2.2. آليات مضادات الأكسدة
19	II.3. التآكل
19	II.3.1. كيف يعرف التآكل
20	II.2.3. أنواع التآكل
20	II.1.2.3. التآكل الكيميائي
20	II.3.2. التآكل الكهروكيميائي
20	II.3.3. مظاهر التآكل
20	II.1.3.3. التآكل الموحد أو العام
20	II.3.3.2. التآكل بالنقر
20	II.3.3.3. التآكل الانتقائي أو الاختياري
20	II.4.3.3. التآكل التصدعي أو الشقي
21	II.5.3.3. التآكل بين الحبيبات
21	II.6.3.3. التآكل الغلفاني

الفصل الثالث

23	III.1. دراسة ببليوغرافية لنبات <i>Phoenix dactylifera</i> L.
23	III.1.1. تاريخ واصل النخيل
24	III.2.1. التصنيف النباتي لنخيل التمر <i>Phoenix dactylifera</i> L.
24	III.3.1. الوصف المورفولوجي لنخيل التمر
25	III.4.1. القيمة الغذائية للتمر
25	III.5.1. فوائد التمر الطبية
25	III.1.5. الأنشطة البيولوجية
26	III.1.2.5. تحسين وظائف الدماغ
26	III.1.3.5. علاج اضطرابات المعدة
26	III.1.4.5. الوقاية من السموم
26	III.2. تعريف النباتات الطبية
26	III.1.2. العائلة الرصاصية (Plumbaginaceae)
26	III.3.2. الوصف المورفولوجي لنباتة <i>Limoniastrum guyonainum</i> (Dur.)
27	III.4.2. الاسم المتداول
27	III.5.2. المسح البيولوجي لنبات الزيتة

27	III. 3. عموميات حول الجنس <i>Senecio</i>
27	III. 1.3. الاستعمالات العلاجية للجنس <i>Senecio</i>
27	III. 2. 3. الوصف المورفولوجي لنبات <i>Senecio hoggariensis</i>
27	III. 3.3. التوزيع الجغرافي لنبات <i>S. hoggariensis</i>
الفصل الرابع	
الطرق والمواد المستخدمة في الدراسات	
30	IV. 1. دراسة الفعالية المضادة للأكسدة لمستخلصات التمر بالطريقة الكهروكيميائية الفولط متري الحلقية): مقارنة بين أربع دراسات
30	IV. 1. 1. الطرق والمواد المستخدمة
30	IV. 1. 1. 1. المواد و منطقة الجني
31	IV. 2. 1. الطرق المستخدمة
31	IV. 2. 1. 1. تحضير الإلكتروليت المساعد
31	IV. 2. 1. 2. السلوك الكهروكيميائي للنظام (O_2/O_2^-) في وسط عضوي
31	IV. 2. 1. 3. تقييم قدرة مضادات الأكسدة بواسطة الطريقة الكهروكيميائية
32	IV. 2. 1. 4. طريقة حساب إجمالي القدرة المضادة للأكسدة %I انطلاقا من المنحنيات الفولط مترية الحلقية
32	IV. 2. 1. 5. تقدير الفعالية المضادة للأكسدة اعتمادا على IC_{50}
33	IV. 2. تحديد الخصائص المثبطة للتآكل للمستخلصات النباتية باستخدام منحنيات الاستقطاب ومطيافية الممانعة الكهروكيميائية (دراسة مقارنة لبعض المستخلصات النباتية)
33	IV. 1. 2. الطرق و المواد المستخدمة
33	IV. 1. 1. 2. المواد و منطقة الجني
33	IV. 2. 2. الطرق المستخدمة
33	IV. 1. 2. 2. القياسات الكهروكيميائية
النتائج والمقارنة	
35	IV. 3. دراسة الفعالية المضادة للأكسدة لمستخلصات التمر بالطريقة الكهروكيميائية (الفولط متري الحلقية): مقارنة بين أربع دراسات
35	IV. 1. 3. تقييم قدرة مضادات الأكسدة بواسطة التقنيات الكهروكيميائية
40	IV. 4. تحديد الخصائص المثبطة للتآكل للمستخلصات النباتية باستخدام منحنيات الاستقطاب ومطيافية الممانعة الكهروكيميائية
40	IV. 1. 4. اختبار الكهروكيميائية
40	IV. 1. 1. 4. الاستقطاب الديناميكي (PDP)
41	IV. 2. 1. 4. مطيافية الممانعة الكهروكيميائية (EIS)
46	الخلاصة
48	المراجع
56	الملاحق

قائمة الأشكال

الفصل الأول:

الصفحة	العنوان	الرقم
7	الخلايا الغلفانية	(1- I)
8	خلايا التحليل الكهربائي (الخلايا الإلكتروليتية)	(2- I)
11	منحنى الأستقطاب $i = f(E)$	(3- I)
12	منحنى تحديد تيار التآكل i_{cor} اعتمادا على مستقيمات Tafel	(4- I)
13	منحنى الاستجابة في الفولطامتريّة البسيطة	(5- I)
13	منحنى الإثارة في الفولطامتريّة البسيطة	(6- I)
13	منحنى الاستجابة في الفولطامتريّة الحلقية	(7- I)
13	منحنى الإثارة في الفولطامتريّة الحلقية	(8- I)
14	الإثارة الجيبيّة لكمون المسرى	(9- I)
15	منحنى Nyquist لدارة بسيطة مكافئة لخلية كتروكيميائية	(10-I)
الفصل الثالث:		
24	رسم تخطيطي لشجرة نخلة التمر	(1- III)
الفصل الرابع:		
35	منحنى الفولطامتري للنظام ($O_2 / O_2^{\cdot -}$) بوجود تراكيز مختلفة من مستخلصات DPF للأصناف الأربعة	(1- IV)
36	منحنيات بيانية توضح نسب تثبيط جذر $O_2^{\cdot -}$ إلى مختلف تراكيز مستخلصات أصناف التمر.	(2- IV)
37	قيم IC50 لمقايسة DPPH لنشاط إزالة الجذر الحرة من المستخلصات	(3- IV)
40	منحنى الأستقطاب للفولاذ الكربوني في 0.5 M من HCL مع تركيز عديدة من DES	(4- IV)
42	منحنى Nyquist المقاومة الكهروكيميائية للفولاذ الكربوني بتراكيز مختلفة من DES	(5- IV)
42	تطبيق معاملات الدارة المكافئة على بيانات التجريبية الملائمة	(6 - IV)

قائمة الجداول		
الفصل الثالث:		
الصفحة	العنوان	الرقم
24	التصنيف النباتي لنخيل التمر <i>phoenix dactylifera</i>	(1- III)
25	مقارنة القيمة الطاقوية لبعض الفواكه الأخرى مع التمر	(2- III)
الفصل الرابع:		
30	المواد ومناطق الجني	(1- IV)
33	المواد ومناطق الجني	(2- IV)
36	النشاط المضاد للأكسدة في عينات مختلفة من DPFs	(3- IV)
38	جدول مقارنة بين اربع دراسات حول الفعالية المضادة للأكسدة لمستخلصات التمر	(4- IV)
41	معلومات الاستقطاب للفولاذ الكربوني في 0.5 M HCL مع تراكيز الحديد من DES	(5 - IV)
43	نتائج مقارنة وقيم % IE من ثلاث تقنيات (EIS ، PDP)	(6- IV)
44	جدول مقارنة بين اربع دراسات حول تحديد الخصائص المثبطة للتآكل للمستخلصات النباتية باستخدام منحنيات الاستقطاب ومطيافية الممانعة الكهروكيميائية	(7- IV)

بالأجنبية	بالعربية	الرمز
-	الاستقطاب الاومي	η
-	كثافة التيار	I
-	فرق الكمون	E
-	التركيز الكلي في الخلية	C_T
-	الحجم الكلي في الخلية	V_T
-	تركيز العينة المضافة	C_1
-	حجم العينة المضافة	V_1
-	ميل المنحى الخاص بالمستخلصات	K
-	تيار الذروة الأنودية للأكسدة - O_2 في وجود DPF	I_{pa}^0
-	تيار الذروة الأنودية للأكسدة - O_2 بدون DPF	I_{pa}^s
-	السعة الكمونية المتغيرة	$ \Delta E $
-	كمون الإلكترود بوجود تيار	E_i
-	كمون الانحلال	E_d
-	ثابت Faraday	F
-	ثابت الغازات المثالية	R
-	درجة الحرارة المطلقة	T
-	مقاومة المحلول	$R\Omega$
-		N
-	سعة الطبقة المضاعفة في غياب المثبط	Cdl
-	مقاومة الإنتقال	R_t
-	كثافة تيار تآكل في وجود DES	I_{corr}
	كثافة تيار تآكل في غياب DES	I_{corr_0}
-	مستخلص بذور نخيل التمر	DES
-	مقاومة نقل الشحنة في وجود DSE	R_{ct}
-	مقاومة نقل الشحنة في غياب DSE	$R^{\circ}ct$
Acetic acid	حمض الخليك	A.Ac
Tetrabutylammonium hexafluorophosphate	رباعي بيوتيل الامونيوم سداسي فلورو فوسفات	NBu4PF6
Solution resistance	مقاومة المحلول	R_s
Impedance	الممانعة	Z
The real part of the impedance	الجزء الحقيقي للممانعة	Z_{re}
The imaginary part of the impedance	الجزء التخيلي للممانعة	Z_{im}
Ghars	غرس	Gh

Chtaya	شنتاية	Cht
Degla Beida	دقلة بيضاء	DB
Tinissine	تنسين	Tns
Tamdjouhert	تمجهورت	Tam
Degla-Nour	دقلة نور	DN
RED Degla	دقلة الحمراء	DR
Hamraya	حمراية	Ham
Tanslit	تنصليت	Tan
Tifiziouine	تفزيون	Taf
<i>Phoenix dactylifera L.</i>	ثمار النخيل التمر	DPF
The concentration (mg/ml) of the extract that inhibited the formation of radical by 50%	تركيز المستخلص بال (mg/ml) الذي يثبط نصف كمية الجذر المتشكلة .	IC50
2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl	ثنائي فينيل-1-بيكريل هيدرازيل	DPPH
Saturated calomel electrode	قطب كالوميل مشبع	SCE
The percentage of inhibition	النسبة المئوية للتثبيط	I%
Superoxide radical	أنيون فوق أكسيد	O ₂ ⁻
Date seed extract	مستخلص نوى التمر	DES
potentiodynamic polarisation	الاستقطاب الديناميكي المحتمل	PDP
electrochemical impedance spectroscopy	مطيافية الممانعة الكهروكيميائية	EIS
coverage degree	درجة التغطية	Θ
open circuit potential	جهد الدارة المفتوحة	OCP
Percentage of corrosion inhibition	النسبة المئوية لتثبيط التآكل	IE %
alternating current	التيار المتردد	AC
Dry weight	الوزن الجاف	ΔW
Rutin Equivalents	جذر حر	R°
mass spectrometer	مطيافية الكتلة	MS
Mass Selective Detector	الكتلة الانتقائية الخاملة	MSD
Density of metal(g/cm ³)	كثافة المعدن	ρ
carbon steel	فولاذ كربوني	XC52/(X70)
Anodic Tafel slope	معامل تفال الانودي	Ba
Cathodic Tafel slope	معامل تفال الكاتودي	Bc
charge transfer resistance	مقاومة الانتقال الشحني	Rtcorr
Polarization resistance	مقاومة الاستقطاب	Rp

مقدمة عامة

مقدمة عامة:

لقد أنعم الله علينا بنعم كثيرة من بينها ثمرة العلم والبحث العلمي، لذلك يستطيع العلم أن يغير الكثير و الكثير في وضع الإنسان المادي والاجتماعي ومن أهم العلوم التي أثرت في حياة الإنسان هو: علم الكيمياء، العلم الذي يهتم بدراسة العديد من النظريات والقوانين ويفسر العديد من التغيرات الفيزيائية والظواهر الطبيعية [1]، غالباً ما يطلق عليها العلم المركزي لأنها تقع في لب فهمنا للعالم المادي والحيوي وفي مركز مخاوفنا العامة في كل المجالات [2]، ويعتبر العصب الأساسي في تقدم العلوم و الاختراعات، لذا يجب الاهتمام بهذا العلم اهتماماً بالغاً [3]. فهي العلم الذي يدرس العناصر و المواد الكيميائية من حيث التركيب والخواص والبناء وأيضا التحولات المتبادلة فيما بينها (التفاعلات الكيميائية)، كما أنها وتقسّم الكيمياء إلى عدة فروع مختلفة منها: الكيمياء الكهربائية [4].

تحلل الكيمياء الكهربائية الروابط بين الكيمياء والكهرباء، إنها تشكل الأساس النظري لعمليات الأكسدة والاختزال والتآكل والتحليل الكهربائي. لا يزال حالياً موضوعاً مهماً للدراسة للعديد من العلماء، ففي عام 1791م، تم اكتشاف مجال الكيمياء الكهربائية عندما كان **Luigi Galvani** يقوم بتشريح ضفدع، قام أحد زملائه في العمل بلمس أعصابه الداخلية الحاسمة بطرف مشرط مما تسبب في تقلص عضلات الضفدع و أعصابها [5]. توصل عالم بولونيا **Galvani** إلى فرضية أن تقلص الأطراف السفلية للضفدع يمكن أن ينتج تياراً كهربائياً وهذا من خلال دراساته حول تأثيرات الكهرباء على الضفادع، وتجاربه الشهيرة التي أجريت في النصف الثاني من القرن الثامن عشر، وأدى إلى تأسيس علم جديد " الفسيولوجية الكهربائية " [6].

ومع ذلك ان أهم أبحاثه فتحت مسارات لدراسات الفيزيائي **Alessandro Volta**، والتي بلغت ذروتها في عام 1800 م مع اختراع أول بطارية كهربائية [7]، وأصبحت واحدة من سلائف كل الكيمياء الكهربائية. في عام 1832م، بدأ الباحث الرائد الفيزيائي والكيميائي البريطاني **Michael Faraday** عمله في مجال الكيمياء الكهربائية واقترح قانوني التحليل الكهربائي [5]، مما يشير إلى ظهور الكيمياء الكهربائية الحديثة. تم إحراز تقدم كبير في بداية القرن العشرين، ولاسيما بفضل عمل الكيميائي الألماني **Walter Nernst** (نظرية الإمكانات الكهروكيميائية)، وكذلك عمل الهولندي **Petros Depay** والألماني **Eric Hockle** (نظرية الحلول الالكتروليتيّة). تميزت نهاية القرن العشرين باستخدام أنواع جديدة من الأقطاب الكهربائية (الأقطاب الكهربائية الفائقة الصغر)، مما جعل من الممكن على وجه الخصوص اكتساب فهم أفضل لتفاعلات تقليل الأكسدة التي تحدث داخل الأنسجة الحية لباحثين الذين يرغبون في مضاعفة التطبيقات.

ومع ظهور المشاكل في شتى المجالات لجأ العلماء والباحثون إلى إيجاد الحلول ومن بين الحلول استخدام الكيمياء الكهربائية و تطبيقاتها ومن هنا جاء هدف دراستنا والمتمثل في دراسة مقارنة لبعض المقالات

العلمية حول تطبيقات الكترولوكيمياء، (دراسة الفعالية المضادة للأكسدة و التآكل لمستخلصات نباتية بالطريقة الالكترولوكيميائية).

وقد قسمناه إلى أربع فصول :

الفصل الأول تطرقنا فيه الى :

عموميات حول الكيمياء الكهربية.

تطبيقات الكترولوكيمياء (الكيمياء الكهربية).

الطرق الكترولوكيمياء.

أما الفصل الثاني تناولنا فيه:

عموميات حول الجذور الحرة ومضادات الأكسدة والتآكل.

بينما الفصل الثالث فيشمل :

دراسة ببيلوغرافية لنبات *phoenix dactylifera . L* وبعض النباتات الطبية.

وفي الفصل الأخير تطرقنا الى:

الطرق والأساليب المستخدمة في الدراسات ، تحليل النتائج و مقارنتها ببعضها.

الفصل الأول:

عموميات حول الكيمياء الكهربائية
وتطبيقاتها والطرق الإلكتروليتية

تمهيد:

ينظر إلى الكيمياء الكهربائية أحيانا على أنها " كل شيء يتعلق بالقطب الكهربائي " ولكن في الواقع، يجب مراعاة النظام بأكمله [8]. فهي فرع من فروع الكيمياء التي تهتم بالتحويلات الضمنية لكل من الطاقة الكهربائية والكيميائية [9]، أو بمعنى آخر هي دراسة إنتاج الطاقة الكهربائية من التفاعل الكيميائي أو استخدام الطاقة الكهربائية لإجراء التفاعل الكيميائي [10]، كما وتقدم لنا معلومات عن عدد من الظواهر مثل: تنقية المعادن وتآكلها وما يسبب هذا التآكل [11]. ومع تقدم علم الكيمياء أصبحت هناك العديد من تطبيقات الكهروكيمياء في المجال العلمي أوفي المجال الصناعي، وكذلك تطور الطرق الكهروكيميائية (المستقرة والمتغيرة)، وفي زمن قصير تنوعت وتعددت هذه الطرق.

1.I. عموميات حول الكيمياء الكهربائية:**1.1.I. تعريف الكيمياء الكهربائية:**

الكيمياء الكهربائية (Electrochemistry): كلمة الكيمياء الكهربائية مشتقة من مصطلحي الكهرباء والكيمياء، إنه ينطبق على الإنضباط العلمي وكذلك على قطاع الصناعة، تعرفه القواميس العادية على أنه العلم الذي يصف التفاعلات بين الكيمياء والكهرباء، أو الظواهر الكيميائية المقترنة بالتبادل المتبادل للطاقة الكهربائية [12]، ضمن إطار تفاعلات الأكسدة والاختزال [13].

الكيمياء الكهربائية هي أحد فروع الكيمياء التي تدرس التفاعلات الحاصلة على سطوح الأقطاب المصنوعة من المعادن وأشبه الموصلات مثل: (الغرافيت) والمحاليل الأيونية مثل: (الإلكتروليتات) [14].

2.1.I. التفاعلات الكهروكيميائية:

2.1.I. التفاعلات الكهروكيميائية: هي تحولات كيميائية تتضمن نقل الشحنات عند السطح البيني بين موصل إلكتروني، وموصل أيوني يسمى إلكتروليت، يمكن أن يشمل التفاعل الكهروكيميائي تفاعلا واحدا أو أكثر من تفاعلات القطب [15].

وتتميز التفاعلات الكهروكيميائية بوجود تغير في حالة التأكسد، في حين لا يكون هناك تغير في التفاعلات الكيميائية [16].

1..2.1.I تعريف الأكسدة (Oxydation):

هو عبارة عن أي عملية أو تفاعل يتم فيه فقد (خسارة) إلكترونات [17].

2.2.1.I تعريف الاختزال (Reduction):

هو عبارة عن عملية أو تفاعل يتم فيه كسب إلكترونات وبما أن المادة لا تفنى، ولا تخلق من العدم، فإن الإلكترونات المفقودة في عملية التأكسد يجب أن تساوي الإلكترونات المكتسبة في عملية الاختزال [17].

1.1.3. الخلايا الكهروكيميائية:

تعرف على أنها الأجهزة التي يتم فيها تفاعل تأكسد و اختزال يصاحبه انطلاق طاقة كهربائية أو امتصاصها [18]. وهي عبارة عن قطبين موصلين ببعض ومكونين لدائرة كهربائية [19]، وهما المصعد و المهبط .

ويعرف **المصعد (الأنود)**: بأنه القطب الذي يحدث عليه نصف تفاعل التأكسد ويكون: سالب الشحنة، وسمي بهذا الاسم، لأن الإلكترونات تصعد منه إلى الدائرة الخارجية، فهو مصدر الإلكترونات [17].

والمهبط (الكاثود): هو القطب الذي يحدث عليه نصف تفاعل الإختزال ويكون: موجب الشحنة، وسمي بهذا الاسم لأن الإلكترونات تهبط عليه من الدائرة الخارجية [17].

هنالك نوعان من الخلايا الكهروكيميائية: الخلايا الغلفانية، وخلايا التحليل الكهربائي [20]:

1.1.3.1. الخلايا الغلفانية (الفولتية) Galvanic (Voltaic) Cells:

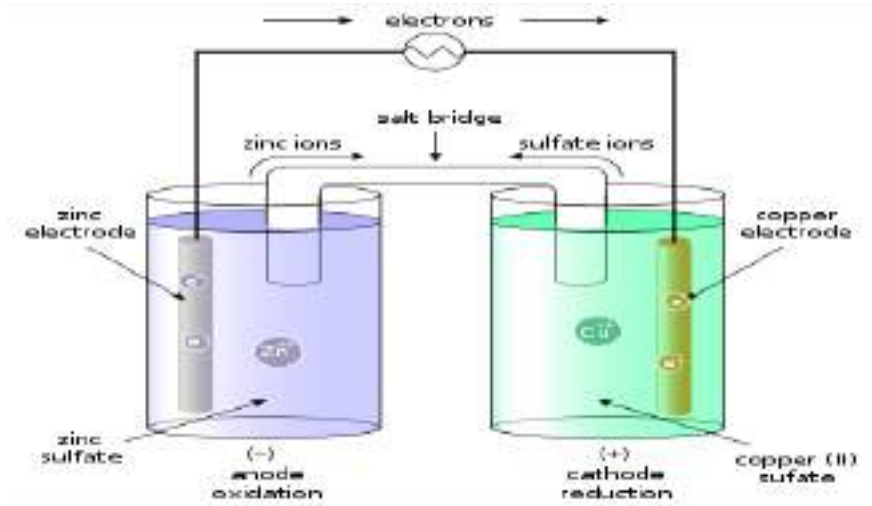
تم اكتشافها عام 1800م، سميت بالخلية الغلفانية نسبة للعالم Luigi Galvani، وبالفولطية نسبة للعالم Alessandro Volta وذلك لإسهامتهما في تفسير عمل هذه الخلايا وتفاعلاتها [17].

تعريفها: هي عبارة عن أداة تتكون من نصفي خلية تنتج الكهرباء تلقائياً [17]. وتعرف أيضاً بجهاز يتم فيه توليد تيار كهربائي نتيجة لحدوث تفاعل تأكسد و اختزال ومثال عليها: (الخلايا الجافة كالبطاريات، المركم الرصاصي كبطارية السيارة، وخلايا الوقود كالخلايا المستخدمة لتوليد الطاقة الكهربائية في المركبات الفضائية) [18].

وهي تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية نتيجة لبعض التغيرات أو التفاعلات الكيميائية [19].

طاقة كهربائية + مواد ناتجة → مواد متفاعلة (خلية غلفانية) [17].

التيار الكهربائي من الخلية الغلفانية: يأتي نتيجة إنتقال الإلكترونات من المصعد إلى المهبط [17].



الشكل (1- I) : الخلايا الغلفانية

1.I.2.3 الخلايا الإلكتروليتية والتحليل الكهربائي Electrolytic cells and Electrolysis:

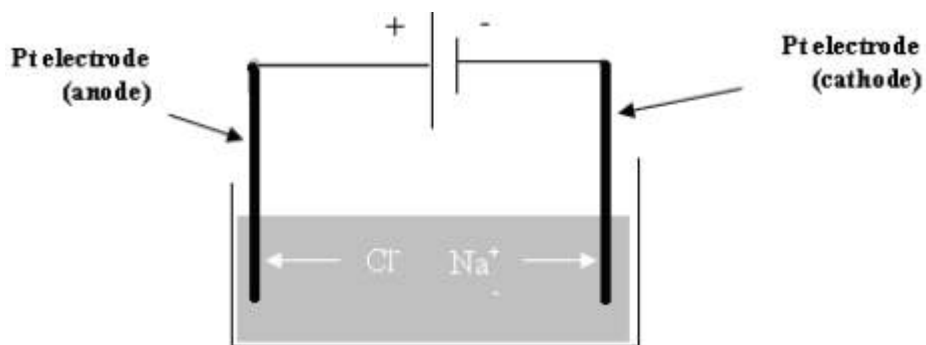
هي الخلايا التي تحدث فيها تفاعلات التأكسد والاختزال الغير تلقائية بفعل الكهرباء [17]، وهي تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية وفيها يتم الحصول على تفاعلات كيميائية نتيجة مرور تيار كهربائي في المحلول ومثال على ذلك (البطاريات أثناء شحنها) [19].

تتكون الخلية الإلكتروليتية من : قطبين، مادة إلكتروليتية، مصدر خارجي للطاقة الكهربائية مثل: (البطارية) العملية في الخلية الإلكتروليتية [17].

تسمى بالتحليل الكهربائي : حيث يعمل المصدر الكهربائي كمضخة للإلكترونات Pump Electron [17].

تعمل المضخة شغلا يتسبب بانتقال الإلكترونات في الخلية بحيث:تحدث تفاعلات تأكسد و اختزال لبعض مكونات المحلول،تبعاً للتنافس الذي يتم بين تلك المكونات [17].

مواد ناتجة → طاقة كهربائية + مواد متفاعلة (خلية إلكتروليتية) [17].



الشكل (I- 2) : خلايا التحليل الكهربائي (الخلايا الإلكتروليتية).

2.I. التطبيقات الإلكترونية الكيميائية:

هنالك العديد من التطبيقات :

- ✓ التحليل الكهربائي يستعمل لعمل العديد من المركبات الكيميائية التي لها استعمالاتها في حياتنا مثل: هيدروكسيد الصوديوم NaOH، الذي يستعمل لعمل الصابون والورق، والعديد من الكيمائيات الأخرى، والمبيض السائل NaOCl [19].
- ✓ يستفاد منها في التقنية الغلفانية، والخلية الفولطية مثل الخلية الجافة تزود الأضواء الومضية والراديوهات والحاسبات الإلكترونية بالقوة اللازمة لتشغيلها [19]. كما تستعمل في توليد الطاقة عن طريق التصنيع الضوئي [20].
- ✓ في الحياة العلمية أو المصانع، مثل تلبيس الأواني المعدنية أو الأكاسيد المعدنية لحمايتها من التآكل [20].
- ✓ إنتاج المواد الكيميائية وتصنيع المواد (التصنيع الكهروضوئي، التصنيع الكهرومعدني) [20].
- ✓ إنتاج المعادن مثل: (الألمنيوم والتيتانيوم) [20].
- ✓ تستعمل في تنقية معادن معينة (النحاس، الزنك، الألمنيوم) [24].
- ✓ الكشف عن الكحول في المحاليل باستعمال تفاعل الأكسدة الارجاعية للايثانول.
- ✓ بعض المقاييس المستعملة لقياس نسبة السكر (الغلوكوز) في الدم لمرضى السكري ويتم ذلك بقياس كمون تفاعل الأكسدة الارجاعية [20].
- ✓ تستخدم مطيافية الممانعة الكهروكيميائية لتحليل وتوصيف المنتجات الغذائية المختلفة، مثل تقييم تفاعلات الأغذية مع العبوات المخزنة فيها، وتحليل مكونات الحليب، وتوصيف وتحديد نقطة التجمد لمزيج الأيس كريم، التحقق من نضوج وجودة الفواكه، وتحديد حموضة زيت الزيتون... إلخ.
- ✓ استخدمت مؤخرا في تقدير فعالية المواد المضادة للأكسدة في المجال الحيوي [21].
- ✓ استعمال مثبتات التآكل في تركيبة الطلاء لتدعيم قوة حماية المعادن [22]، كذلك عند التنظيف أو المسح بالحمض فهناك مثبتات غازية [22]. كما أنها توجد كمية كبيرة من المثبتات تستعمل في الزيوت للمحركات وفي محطات الوقود، فهذه السوائل تحتوي غالبا على جزيئات من الماء وأصناف أيونية تعرض على التآكل [22].
- ✓ نستعمل بسهولة مركبات مثل: هلام السليكا لتخفيض نسبة الرطوبة في الجو عند التغليف لتجنب التآكل الجوي [23].
- ✓ تستعمل في المعالجة السطحية والتآكل [24].
- ✓ في المجال الصيدلاني تستخدم الطرق الكهروكيميائية على نطاق واسع في التحكم في المواد الخام والمنتجات النهائية: (قياس الأس الهيدروجيني وموصلية المحاليل والعصائر، الكشف في كروماتوغرافيا السائل، جرعات دقيقة من الماء (تجربة كارل فيشر)، وتحديد درجة نقاء العديد من الخامات [24].
- ✓ تخزين ومضاعفة الطاقة: البطاريات مثل: بطاريات الرصاص التي تضمن بدء تشغيل المركبات [24].
- ✓ أما في مجال البيئة و البيولوجيا: تسمح هذه التقنيات بالفصل الكهربائي مثل: تحلية المياه المالحة [24].

✓ علميا هناك العديد من المركبات العلمية مثل: (ثنائي الثيول) تستعمل في تحديد الفعل الإلكتروني لبعض مستبدالاته عن طريق الفولطا متري الحلقي [25]. وكمضادات للأكسدة، حيث تضاف إلى الوقود، وزيوت التشحيم للمحركات. و لمنع نفوذ الأشعة فوق البنفسجية في المطاط و البلاستيك [26][27]. وكذلك مبيدات للحشرات و الفطريات النباتية [28].

3.I. الطرق الإلكتروليتية:

1.3.I. الطرق المستقرة:

الطريقة الأولى: يفرض على الجملة كمون ثابت، ثم نقوم بقياس تغيرات التيار الحاصل خلال الزمن [29].
الطريقة الثانية: يفرض على الجملة تيار ثابت، ثم نقوم بقياس تغيرات الكمون الحاصلة خلال الزمن [29].

1.1.3.I. قياس الكمون:

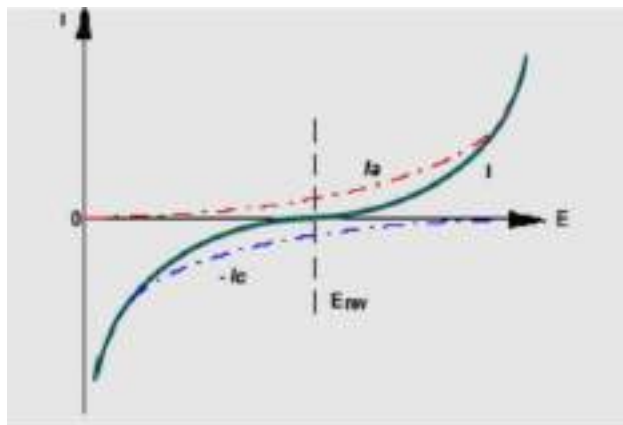
في هذه الطريقة نحدد طبيعة المثبط انطلاقاً من تغير كمون التآكل في جهة الانود أو الكاثود بالنسبة إلى كمون التآكل في غياب المثبط و إذا كان المثبط مختلط فإن التغير الطفيف في الكمون لا يلاحظ [22].

1.2.3.I. منحنيات الاستقطاب $i = f(E)$:

يعرف الاستقطاب الكهروكيميائي η بأنه الفرق بين كمونات المساري بوجود التيار E_i وبغياب التيار dE (كمون الانحلال) أي [22]:

$$\eta = E_i - E_d \dots\dots\dots(1)$$

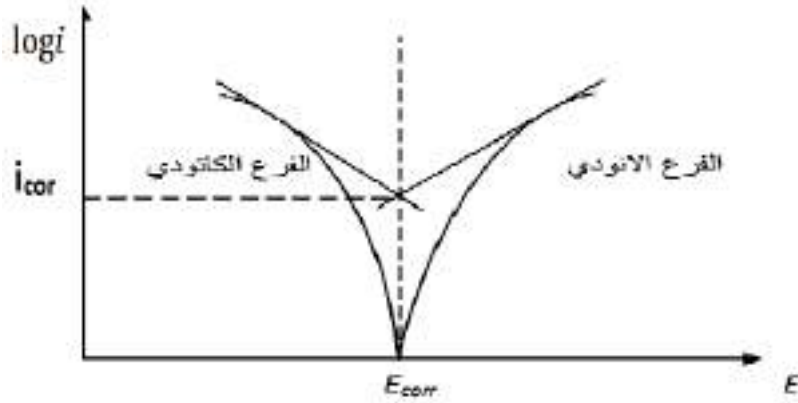
منحنى الاستقطاب $i = f(E)$:



الشكل (3-I): منحنى الاستقطاب $i = f(E)$

منحنى تفال $\log | i | = F(E)$:

أما التآكل i_{cor} فيحدد من منحنى $\log | i | = f(E)$ الموضح في المنحنى يلاحظ ظهور فرع مصعدي وآخر مهبطي على شكل مستقيمتا (تفال) Tafel كما يوضح المنحنى الموالي [22]:



الشكل (I-4): منحنى تحديد تيار التآكل i_{cor} اعتمادا على مستقيمتا Tafel.

ويعطي العلاقة بين كثافة التيار وفوق الجهد، و وضع العالم Tafel معاملين و هما [30]:
معامل تفال الانودي:

$$B_a = RT/\alpha n f \dots\dots\dots (2).$$

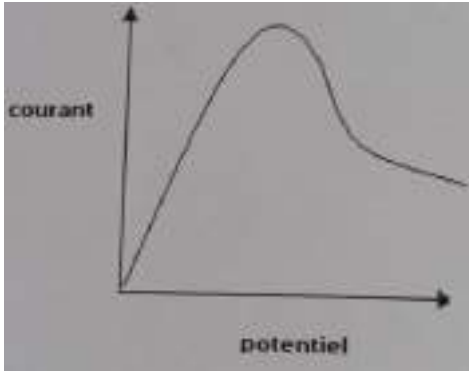
معامل تفال الكاثودي:

$$B_c = RT/(1- \alpha) n f \dots\dots\dots(3).$$

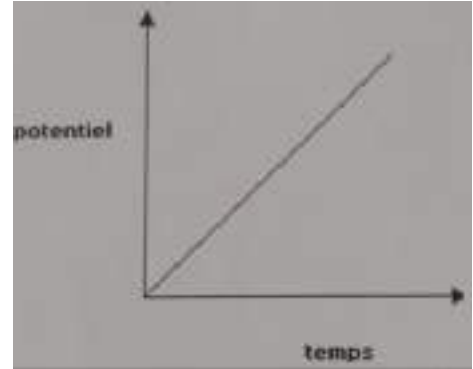
2.3.I. الطريقة الغير مستقرة (المتغيرة):

حيث الإشارة المعطاة للجملة سواء (أكانت تيارا أو كمونا) غير ثابتة خلال الزمن، من بين هذه الطرق نذكر

1.2.3I الفولطامترية البسيطة *voltamétrie simple* [29]:



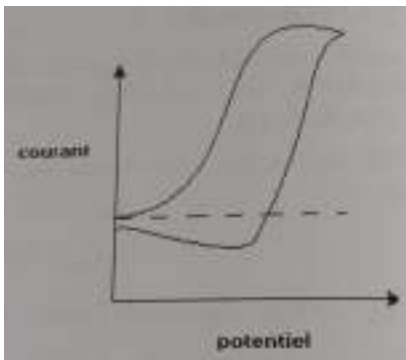
الشكل (I-6): منحى الإثارة في الفولطامترية البسيطة.



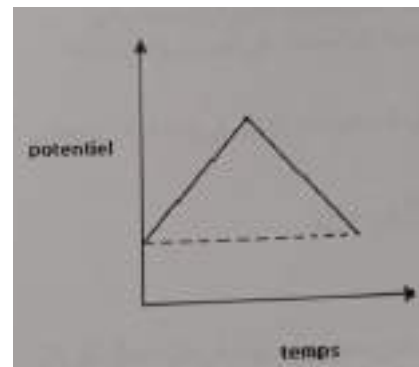
الشكل (I-5): منحى الاستجابة في الفولطامترية البسيطة.

2.2.3.I الفولطامترية الحلقية (CV) *voltamétrie cyclique*:

تقنية تحليلية كهربائية مهمة وواسعة الاستخدام في العديد من مجالات الكيمياء، غالبا ما تستخدم لدراسة مجموعة متنوعة من عمليات الأكسدة و الإختزال، لتحديد ثبات نواتج التفاعل، ووجود مواد وسيطة في تفاعلات الأكسدة و الإختزال [31]، حركية نقل الإلكترون [32]، وقابلية عكس التفاعل [33]. ويستخدم قياس الفولطامترية الحلقية عموما لدراسة الخصائص الكهروكيميائية لتحليل في محلول أو لجزيء يتم إمتصاصه على القطب [34].



الشكل (I-8) : منحى الاثارة في الفولطامترية الحلقية



الشكل (I-7) : منحى الاستجابة في الفولطامترية الحلقية

3.3.I. مطيافية الممانعة الالكتروكيميائية [22]:

مطيافية الممانعة الالكتروكيميائية هي واحدة من الطرق الالكتروكيميائية المتغيرة evolutive وهي الطريقة الأكثر استعمالا لدراسة التآكل، وآليات التفاعل، وتشكل الطبقات على الساري وقياس سرعة التفاعل المنتظم، تتمثل الطريقة في قياس استجابة المسرى لتغير جيبي في كمونه (وذلك بالتغيير في قيمة التواتر (f) ويعطى بالعلاقة التالية:

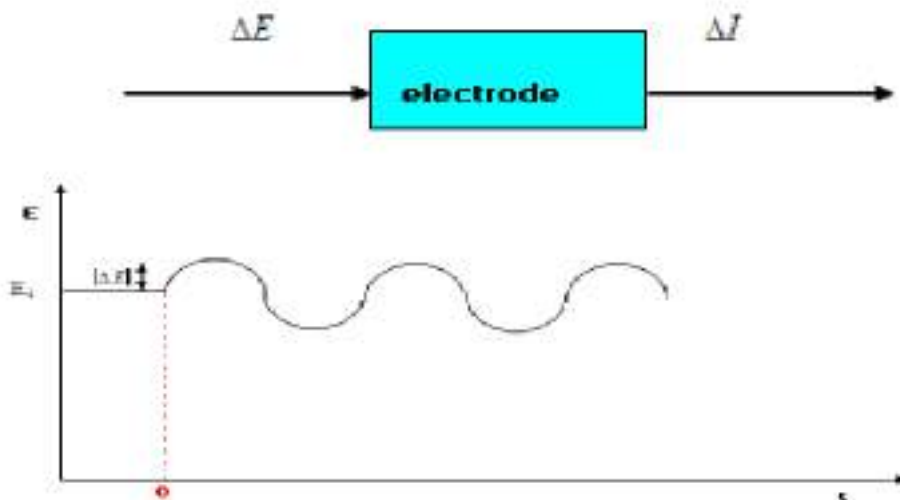
$$\Delta E = | \Delta E | \sin 2\pi ft \dots\dots\dots(4)$$

| ΔE | : سعة التغيير وقيمتها ضعيفة لا تتجاوز 10mv.

هذا التغيير لا يحدثه على كمون المسرى الابتدائي سواء كان مصعدا أو مهبطا في خلية التحليل الكهربائي أو بيل كهربائي.

استجابة المسرى للتغيير الكمون على شكل تغير جيبي في التيار وعبارته:

$$\Delta I = | \Delta I | \sin(2\pi ft - \emptyset) \dots\dots\dots(5)$$



الشكل (I-9): الإثارة الجيبية لكمون المسرى.

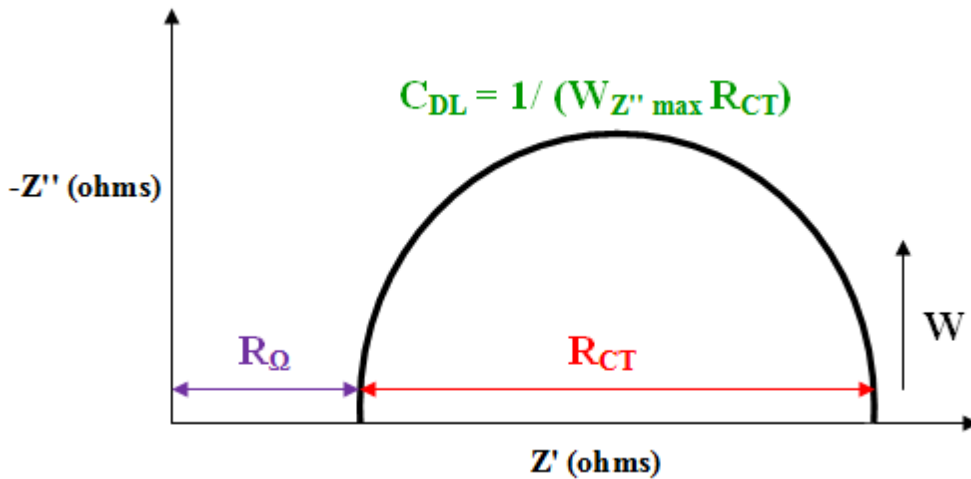
نتيجة لذلك تنشأ داخل الجملة ممانعة Z تعطى بعلاقة:

$$Z = \frac{\Delta E}{\Delta I} \dots \dots \dots (6)$$

بتغيير قيم التواتر f بواسطة مولد الإشارات نحصل في كل مرة على قيمة الممانعة Z والتي تكتب على شكل عدد مركب بشقيه الحقيقي Z_{Re} و التخيلي Z_{im} :

$$Z = Z_{Re} + Z_{im} \dots \dots \dots (7)$$

مجموع قيم الممانعة المتحصل عليه ترسم في المعلم المركب وندعو المنحنى الناتج بمنحنى نكويس (Diagramme de Nyquist) [22].



الشكل (10- I): منحنى Nyquist لدارة بسيطة مكافئة لخلية الكتروكيميائية [22].

1.3.3I. مصطلحات لفهم طريقة الممانعة الإلكتروكيميائية [28]:

• مقاومة الانتقال R_t :

أثناء تفاعلات الأكسدة والإرجاع التي تحدث عند سطح التماس مسرى/ الكتروليت يحدث انتقال للشحنات (الإلكترونات) من وإلى المسرى، وهو انتقال مصحوب بنوع من الإعاقة والمقاومة ندعوها مقاومة الانتقال. يسببها تكون طبقة خمولية، طبقة طلاء، طبقة المثبط... إلخ.

- المقاومة الأومية R_{Ω} :

هي مقاومة الجزء من الإلكتروليت المحصور بين مسرى العمل ومسرى المرجعي ، ويتم تقليلها قدر الإمكان بتقريب المسافة بين المسريين السابقين وذلك باستعمال جسر ملحي.

- سعة الطبقة المضاعفة C_{dl} :

عند سطح التماس مسرى / الكتروليت تتكون طبقة مضاعفة من الشحنات، إحدى الطبقتين موجبة الشحنة نتيجة تجمع الشوارد الموجبة القادمة من المحلول بالانتشار.

والطبقة الثانية مشحونة بشحنة سالبة نتيجة تجمع الالكترونات المعطاة من طرف سطح المسرى تمثل المضاعفة الطبقة مكثفة مشحونة سعتها C_{dl} بلبوسيتها موجب وسالب ،سمكها لا يتجاوز $10\mu m$.

- الدارة الالكتروكيميائية المكافئة:

لكي نفهم بصورة افضل السلوك الكهربائي داخل الخلية الالكتروكيميائية فإننا نلجأ إلى رسم دارات كهربائية تكافئ تلك الموجودة بداخلها والمكونة من أجزاءها المختلفة (طبقة مضاعفة، مقاومة انتقال الشاحنات، مقاومة الالكتروليت... إلخ) .

الفصل الثاني:

عموميات حول الجذور الحرة ومضادات
الأكسدة و التآكل

II. عموميات حول الجذور الحرة ومضادات الأكسدة والتآكل :**1.II. الجذور الحرة:**

الجذور الحرة هي أصناف كيميائية [35] ذرية أو جزيئية [36] تملك إلكترونات حرة أو أكثر [37] في مدار التكافؤ [36, 38] و هو السبب في عدم استقرارها، و هي عبارة عن شظايا جزيئية [39] قادرة على وجود مستقبل [36] تنشأ عند استخدام الخلايا الأكسجين لتوليد الطاقة [40]، شديدة التفاعل [41, 42] تسعى للاستقرار من خلال اقترانها مع جزيئات بيولوجية مثل الدهون، البروتينات، الأحماض النووية [43] والكربوهيدرات [44]، وهي جزيئات شديدة العنف ناتجة عن أكسدة الأكسجين. ولكنها ليست جميعها ضارة، بل هي ضرورية من أجل الحياة [45].

2.1.II. مصادر الجذور الحرة :

يتم إنشاء الجذور الحرة من مصادر داخلية [46] نتيجة عدة وظائف الداخلية للجسم [36] من قبل الخلايا الحية نتيجة العمليات الفيزيولوجية و البيوكيميائية في الجسم [43] مثل تنشيط الخلايا المناعية، التهابات، الإجهاد العقلي، الخلايا البالعة، الميتوكوندريا [47] و فقر الدم [36]، و مصادر خارجية [36]، [48] عند تعرض الجسم لبعض المواد البيئية السامة [36].

3.1.II. دور الجذور الحرة:

الجذور الحرة لها دور مزدوج إما أن تكون ضارة أو نافعة للأنظمة الحية ففي حالة انخفاضها وفي شروط معتدلة، تلعب الجذور الحرة دورا حيويا :

- ✓ قتل الجراثيم باستخدام إنزيم الميليوبروكسيداز و ذلك عن طريق تحفيز من بيروكسيد الهيدروجين [30].
- ✓ تمايز الخلايا بشكل عام تؤدي إلى ارتفاع معدلات التنفس المقاومة للسيانيد [50, 51].
- ✓ للحفاظ على الوظائف الفسيولوجية الطبيعية للجسم أساسا في الجهاز المناعي، إنضاج هيكل الخلية، اليات عمل الخلايا [36][30].

4.1.II. الأمراض الناجمة عن الجذور الحرة :

تتسبب الجذور الحرة في العديد من الأمراض التي تصيب الإنسان بما في ذلك :

- ✓ اضطرابات الأعصاب [52, 53] مثل مرض الزهايمر، مرض باركنسون، التصلب المتعدد، التصلب الجانبي الضموري، فقدان الذاكرة و الاكتئاب [53].
- ✓ الاضطرابات الرئوية مثل التهاب الرئة، مرض الربو، مرض الانسداد الرئوي المزمن و أمراض الكبد [53].
- ✓ الاضطرابات الكلوية مثل التهاب الكلية و الفشل الكلوي المزمن [53].

✓ التهاب المفاصل الروماتيدي و البنكرياس [53] .

✓ أمراض الجهاز الهضمي مثل القرحة المعدية، التهاب القولون و الأمعاء [53] .

✓ ارتفاع ضغط الدم و الصدمات النفسية [53] .

✓ الايدز و الأورام السرطانية [54 , 53] مثل سرطان الرئة، سرطان المستقيم، سرطان الدم، سرطان المبيض و سرطان الثدي، تثبيط المناعة و العقم [53].

✓ أمراض القلب و الأوعية الدموية [53 ، 54] مثل تصلب الشرايين [55].

II .2. مضادات الأكسدة :

تعرف مضادات الأكسدة بأنها تلك المواد التي لها القدرة على تثبيط المواد المؤكسدة فهي تعمل منع تكوين أو منع تأثير أصناف الأكسجين والنتروجين الفعال الناشئين داخل الجسم ويؤديان إلى أضرار في الجزيئات الحيوية للخلية يتم ذلك بإضافة كم هائل من الإلكترونات إلى داخل الأوعية الدموية مما يحقق التوازن لذرات الأكسجين التي تحمل عناصر حرة والأهم أنه يعيد الخلية مسلوحة الإلكترون إلى توازنها وطبيعتها . ومن بين الشروط التي يجب أن تتوفر في مضادات الأكسدة المناسبة للجسم هي أن تتفاعل مع نواتج الأيض الأكسجين التفاعلية التي هي مواد بيولوجية سامة ، تعديل الجذر الحر دون أن تتحول بنفسها إلى جذر حر، و فصل الجذر الحر المرتص على مستقبلات خاصة معينة عن هذا المستقبل، وألا تكون سامة و مؤذية للجسم وقابلة للإنطراح من الجسم وغير قابلة للتخزين، و يجب أن يكون نصف عمر مضادات الأكسدة كبير بما فيه الكفاية للتفاعل مع المؤكسد .إلا أنه في الحقيقة فإن مواد قليلة تحقق هذه الشروط مجتمعة [56-57].

II.2.1. فوائد مضادات الأكسدة:

إن لمضادات الأكسدة فوائد عديدة منها :

الحد من انتشار و زيادة استمرار بعض الأمراض، لأن الجذور الحرة تنتج داخلياً و زيادتها في الجسم تساهم في تدهور الخلايا و حدوث الأمراض [58].

II.2.2. آليات مضادات الأكسدة:

لمضادات الأكسدة عدة آليات تتمثل في: كسر سلسلة تفاعلات جذرية، امتصاص الأشعة فوق البنفسجية و المرئية، كبح الجذور الحرة، توقيف انتقال الإلكترونات و إزالة المعادن الثقيلة بالاستخلاق [44، 59].

II .3. التآكل:

II .3.1. كيف يعرف التآكل :

التآكل هو هجوم مدمر للمعدن [60 , 61] نتيجة لتفاعل كيميائي (تآكل جاف) و كهر وكيميائي (تآكل رطب) مع الوسط المحيط به [62 , 63] ، و يطلق عليه الصدأ في حالة تآكل الحديد أو حديد و خلائط وبالتالي المعادن غير حديدية تتآكل و لكن لا تصدأ [64]. أو هو التآكل الناتج عن تفاعل مادتين أو أكثر أو مكونات في وجود وسط مساعد مثل الحرارة أو الرطوبة [22].

II. 2.3. أنواع التآكل:

II. 1.2.3. التآكل الكيميائي:

عبارة عن أكسدة مباشرة بواسطة معادن سائلة، انصهار الهاليدات و محلول غير مائي [65].

II. 3.2. التآكل الكهروكيميائي:

يكون تآكل بالغمر، تآكل تحت الأرض، تآكل بالهواء و هو عبارة عن تفاعل انودي و كاتودي يحدث في وجود محلول كتروليتي [65].

II. 3.3. مظاهر التآكل:

التآكل له عدة مظاهر إما يكون متجانس بحيث أن يحدث على سطح المعدن بنفس الدرجة، أو يكون موضعياً في حال كان التآكل حاصل فقط في مناطق صغيرة من السطح، ومن مظاهره [30]:

II. 1.3.3. التآكل الموحد أو العام:

من أكثر أنواع التآكل شيوعاً و أقلها خطورة لأنه يمكن التنبؤ به بانخفاض سمك السبيكة، و هو يحدث على كامل السطح بنفس المعدل، طرق الحماية متاحة و تكون فعالة و تتمثل في الطلاء، تغيير الوسط أو المادة [66].

II. 2. 3.3. التآكل بالنقر:

يعتبر من أخطر أشكال التآكل، و تكمن خطورته في حدوث ثقب ضيقة و مغطاة يصعب التنبؤ بها، و هو هجوم موضعي في أماكن معينة من المعدن مما يؤدي إلى حفر صغيرة تخترق المعدن و ربما إلى ثقوب يحدث في أوساط تحتوي على كلوريد، بروميد، يوديد و ايونات فوق الكلورات [66].

II. 3.3.3. التآكل الانتقائي أو الاختياري:

و هو عبارة عن إزالة احد مكونات السبيكة بشكل انتقائي، و تتم آليته بنزع العنصر الأقل نبلا، كإزالة الزنك من النحاس الأصفر.

II. 4.3.3. التآكل التصديعي أو الشقي:

يحدث التآكل بشكل موضعي و يرجع ذلك إلى عامل ميكانيكي، ينتج عنه شقوق واسعة و ضيقة

في المواد التي يمكن تخميلها مثل الفولاذ المقاوم للصدأ و الألمنيوم، و يحدث بسرعة في الأوساط التي تحتوي على الكلوريد و يمكن أن يحدث في أوساط ملحية أخرى.

II .5.3.3. التآكل بين الحبيبات:

يحدث بالقرب من حدود حبيبة المعدن، و يكون مصحوبا بتآكل نسبيا في الحبيبات نفسها.

II .6.3.3. . التآكل الغلفاني:

يحدث هذا النوع من التآكل بين معدنين معدن نبيل والأخر أقل نبلا ويزداد التآكل في هذا الأخير و يمكن الوقاية منه بالحماية الكاثودية و تجنب الرطوبة[66].

الفصل الثالث

دراسة بيولوجرافية لنبات

phoenix dactylifera . L

وبعض النباتات الطبية.

III. 1. دراسة بيبليوغرافية لنبات *phoenix dactylifera* . L :

تمهيد:

تشكل النخلة بشموخها فخرا و إعتزازا ورمزا للحياة والعطاء المتجدد منذ القدم، كرمها المولى عزوجل في كتابه الكريم، لم يذكر المولى سبحانه وتعالى شجرة في القرآن الكريم كما ذكر النخل والنخيل، **قال تعالى: « ومن ثمرات النخيل والأعناب تتخذون سكرا و رزقا حسنا إن في ذلك لآية لقوم يعقلون » (النحل 67).**

النخيل أمير النباتات [67]، وسيدة الشجر [68]، فهي غنية بقيمتها وأهميتها وهي الشجرة التي جاورت الفقراء وأطعمتهم خلاصة خيرها. فنخيل التمريعتبر من الأشجار التي تثمر في المناطق الصحراوية أساسا، ونظرا لتأقلم هذا النوع من الأشجار مع البيئة الجافة (تربة، ماء ومناخ) فقد اهتم سكان هاته المنطقة بغرسها بشكل كثيف لما لها من أهمية في الحياة الاقتصادية والاجتماعية، وفي الأونة الأخيرة أصبحت الجزائر من الدول الرائدة في إنتاج التمور.

III. 1.1. تاريخ واصل النخيل:

الاسم البابلي لنخلة التمر (*Jishimmaru*)، وهو مأخوذ من الكلمة السومرية (*Jishimmar*)، ويطلق على التمر باللغة السومرية زولوم، (*Zulumma*) و أما في اللغة الآرامية فتسمى النخلة دقلة (*Digla*) وبالعبيرية تامار (*Tamar*)، وبالحبشية تمر (*Tamart*)، ويقال تمر تلمون عن تمر البحرين وتمر مجان عن تمر عمان، وفي الهيروغليفية يسمى نخيل التمر بئر (*Bnr*) أو بئرت (*Bnrt*) ويعني الحلاوة ويسمى التمر في اللغة الهندية (خرما) وهو مقتبس من الفارسية، والاسم اليوناني فينكس (*Phoenix*) مأخوذ من فينيقيا (*Phoenicia*)، حيث كان الفينيقيون يملكون النخل وهم الذين نشروا زراعته في حوض البحر الأبيض المتوسط، و داكلتيس (*Dactylis*) وديت (*Datte*) مشتقة من كلمة دقل (*Dachel*) العبرية الأصل وتعني الأصابع (1951)، و (*NIXON*)، وذكر أبو حنيفة الدينوري في مؤلفه (كتاب النبات) أن كل ما لا يعرف اسمه من التمر فهو دقل ومفرده دقلة وهكذا يسمى النخيل البذري [69].

حسب (1951 NIXON) لا يزال أصل نخلة التمر غير معروف حتى وقتنا الحاضر والسبب في ذلك هو عدم وجود نخيل تمر بري تطور منه النخيل الحالي، لكن بعض الباحثين ومنهم البكر (1982) أشار إلى أن حاليا نشأ من حدوث طفرة وراثية لنخيل الزينة المسمى نخيل الكناري (*canariensis Phoenix*)، وبسبب تعاقب الأجيال بفعل التهجين الطبيعي بين الأنواع المختلفة تكون نخيل التمر. فيما يشير آخرون إلى أن أصل نخيل التمر هو نخيل السكر (*syvestris Phoenix*) الذي يسمى النخيل البري، و لكن هذه الأنواع و إن جمعت بينهما العديد من الصفات المتشابهة إلا أنها لا زالت بعيدة عن بعضها في الكثير من الخصائص و الصفات الأخرى بحيث لا يمكن اعتبار أي منها أصلا للثاني، و تبقى الاراء بحاجة الى الاستناد العلمي و التاريخي لتحديد اصل نخلة التمر [70]، و أول من عرف نخلة التمر هم عالم النباتي THEOPHRASTUS وذلك نحو 300 عام قبل الميلاد ولكن أول من وضع التسمية العلمية هو العالم السويدي LINNAEUS عام 1753 [69].

III. 2.1. التصنيف النباتي لنخيل التمر . *phoenix dactylifera* . L :

إن الإسم العلمي لنخيل التمر هو *phoenix dactylifera* . L والذي يفترض أنه مشتق من الإسم الفنيقي (*phoenix*) طائر الفينيق (*dactylifera*) و مشتقة من الكلمة اليونانية *daktulos* بمعنى الأصبع وهذا ما يوضحه شكل الفاكهة (التمر) [71]، ويعتبر نخيل التمر من النباتات ذات الفلقة الواحدة [72] ، ثنائية المسكن أي أن هنالك نخلة تحمل أزهارا ذكورية تسمى النخلة الذكر (الذكار) [73] ونخلة أخرى تحمل أزهارا أنثوية وهي المثمرة [73]، والتصنيف النباتي لنخيل التمر موضح في الجدول التالي:

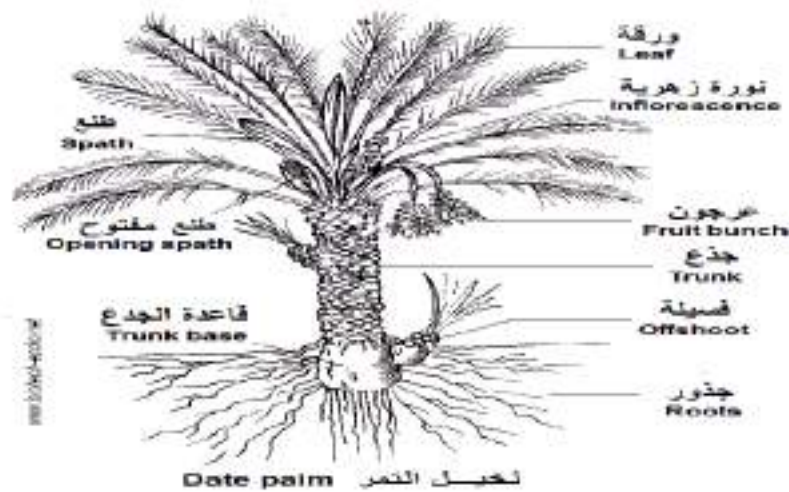
جدول (III - 1): التصنيف النباتي لنخيل التمر . *phoenix dactylifera* .L [74].

النوع	الجنس	تحت الفصيلة	الفصيلة	القبيلة	الترتيب	المجموعة	المملكة
<i>Phoenix Dactylifera</i> . L	<i>phoenix</i>	coryphoideae	palmaceae	phoeniceae	palmeae	spadiciflora	Palanatea

مع العلم أن جنس *phoenix* يشمل 1503 نوع، من بينها نخيل التمر، نخيل جوز الهند،.....الخ [74].

III. 3.1. الوصف المورفولوجي لنخيل التمر :

الوصف المورفولوجي مهم لدراسة مكونات النخلة والتعريف بمميزاتها شجرة نخيل التمر والشكل (III - 1) يوضح اجزاء النخلة .



الشكل (III - 1): رسم تخطيطي لشجرة نخلة التمر.

III. 1. 4. القيمة الغذائية للتمر:

يعتبر التمر غذاء كاملا ومصدرا مثاليا للطاقة لاحتواءه على كل ما هو ضروري لجسم الإنسان من فيتامينات ومعادن وغيرها (الجدول III -3) [76].

الجدول (III -2): مقارنة القيمة الطاقوية لبعض الفواكه الأخرى مع التمر [76].

القيمة الطاقوية (حريرات)	الثمار (100g)
300	التمر
100	الموز
80	العنب، حب الملوك
60	البرتقال، الليمون
60	المشمش، الإجاص، الخوخ
20	الطماطم

III. 5.1. فوائد التمر الطبية:

إضافة إلى القيمة الغذائية للتمر فقد أشارت العديد من الدراسات إلى فوائد التمر الطبية والتي نذكر منها:

III. 1. 5. الأنشطة البيولوجية :

أثبتت فعالية التمر كمضاد أكسدة، مضاد التهاب، مضاد للبكتيريا، مضاد للفيروسات ومضاد للفطريات، حيث أفادت دراسة أجراها كل من *panahi* و *Asadi* أن مستخلص التمر قادر على حماية الخلايا العصبية CA1 ضد الأكسدة لدى الفئران [77]، وفي دراسات أخرى تبين أن التمر قادر على الحد من الإجهاد التأكسدي على مستوى الكبد عن طريق زيادة مستوى مساعد الإنزيم الجلوتاثيوم المعروف بفعاليتيه كمضاد أكسدة [78]، وجد أيضا أن المستخلص المائي والميثانولي للتمر له خصائص مضادة للإلتهاب فقد كانت له القدرة على التخفيف من إتهاب المفاصل وتورم الأقدام [79]، لمستخلص التمر أيضا له القدرة على تحليل كل من بكتيريا *Streptococci extox* و *Streptolyin O* ووجد أن المادة المسؤولة عن هذا هي مادة ستيرويدية [80]، كما أن التمر غني بحمض الفوليك الذي يمكنه أن يقوي المناعة ويساعد على مقاومة السرطان وقد لاحظ *ishrud Jhon* أن متعدد السكريات (Glucan) المستخلص من التمر الليبية له نشاطا مضادا للسرطان عن طريق كبح نمو الخلايا السرطانية لدى فئران التجارب [81].

III. 1. 2.5. تحسين وظائف الدماغ :

ثبت أن التمور تقوي الجهاز العصبي ويوصى بإعطائها للأطفال إضافة إلى أن التمر يحمي الدماغ من الجذور الحرة [82][83]، وفي دراسة أجريت على فئران التجارب ثبت أن التمر له أثر جيد في تقوية الذاكرة [84].

III. 1. 3.5. علاج اضطرابات المعدة :

يفيد التمر في علاج مشاكل البطن فيمكن إستخدامها طبييا كعامل تطهير وقابض للأمعاء بفضل محتواه العالي من الفينول . وقد أفادت المستخلصات المائية للتمر في تسهيل عملية الهضم لدى فئران التجارب [85]، ووجد المستخلصات المائية للتمر لها فعل مضاد للإسهال [84]. وفي دراسة قام بها Al qarawi تبين أن مستخلصات التمر لها القدرة على حماية المعدة من التقرحات الناتجة عن الإيثانول في الجرذان [86].

III. 1. 4.5. الوقاية من السموم :

في دراسة بعنوان « دراسة تأثير خلاصة التمر على تثبيط سم الحية والعقرب» أخذت عينات دم من أربع متطوعين قبل وبعد تناول التمر وقد وجد أن 5% من خلاصة التمر أبطلت حوالي 34% و 71% من النشاط السمي للأفعى والعقرب على التوالي وأن 20% من خلاصة التمر تثبتت المفعول بالنسب 87% و 100% [87].

III. 2. تعريف النباتات الطبية:

يعرف النبات الطبي على انه كل نبات يحتوي في عضو أو أكثر من أعضائه المختلفة أو تحوراته على مادة كيميائية واحدة أو أكثر، بتركيز منخفض أو مرتفع و لها القدرة الفسيولوجية على معالجة مرض معين أو على الأقل تقلل من أعراض الإصابة بهذا المرض [30].

III. 1.2. العائلة الرصاصية (Plumbaginaceae) :

هي عائلة عالمية شبيهة العائلة بطباطية ، تضم 836 نوعا، مجمعة في 27 جنسا ، معظمها في المناطق الجافة ذات التربة المالحة مثل: المسطحات الملحية و سواحل البحر خاصة في منطقة البحر الأبيض المتوسط و غرب آسيا جنسين منهما فقط *Limoniastrum* و *Limonium* موجودة في الصحراء و تصنف هذه العائلة إلى قسمين تحت العائلة : *Plumbaginoideae*، *Staticoideae* [30].

III. 3.2. الوصف المورفولوجي لنبته (*Limoniastrum guyonainum* (Dur.) :

هي شجيرات معمرة كثيفة تنمو في التربة المالحة سبخية و على حواف الشطوط تعلوا بحوالي 1m ، سيقان الحديثة خضراء اسطوانية جد متفرعة تحمل أوراق متبادلة متطاولة خطية شبه اسطوانية ذات نهاية حادة و سميكة مغطاة بطبقة كلسيه، و قد يصل طولها إلى 12m و هي خضراء لحمية تظهر كأنها محببة خشنة الملمس، أزهار كثيرة جدا تغطي كامل النبات وردية أو حمراء بنفسجية تتجمع في نورة قمعية متفرعة تترك على السطح مادة زيتية طفيفة، و عملية الأزدهارتتم في الربيع [30].

III. 4.2. الاسم المتداول:

تسمى بالجزائر في بعض المناطق ب الزيتة وتسمى في مناطق أخرى ب زيتنا [30].

III. 5.2. المسح البيولوجي لنبات الزيتة:

يمتلك نبات *L.guyonianum* خصائص طبية عديدة فتستعمل أوراقه على شكل نقيع لعلاج التهابات المعدة، التهاب الشعب الهوائية، علاج الإسهال، الطفيليات، الأمراض المعدية و مضادة للجراثيم، أما جذوره تستعمل كذلك على شكل نقيع لصبغة الشعر و دباغة الجلود ، تستعمل مع الرمان لعلاج الجروح و القروح، مرض السكري، فقر الدم، السعال، الإمساك، الغازات، أمراض الكلى، آلام الرأس، ارتفاع الضغط الدموي، السمنة، لسعات العقرب، التهاب اللوزتين، الزكام، علاج اللثة و أمراض الكبد [30،88].

III. 3. عموميات حول الجنس *Senecio* :

يعد جنس *Senecio* واحد من أكبر الأجناس في النباتات المزهرة، ويشمل أكثر من 1500 نوعا من الأعشاب. تظهر نباتات هذا الجنس اختلافات مورفولوجية كبيرة ربما بسبب مواطنها المتنوعة للغاية و تعتبر المصدر الرئيسي لقلويدات البيروليزدين (Pyrrolizidine) النشطة بيولوجيا ولسيسكويترينات (Sesquiterpenoids) وهذه هي المكونات النباتية المسؤولة عن جميع الأنشطة الدوائية تقريبا لهذا الجنس بعض الأنواع من *Senecio* لها تأثير سلبي في العديد من البلدان الزراعية، لأنها مسؤولة عن الوفيات التي تحدث للماشية أكثر من أي نبات سام آخر، تم إحصاء 18 نوعا للجنس *Senecio* في الجزائر [89].

III. 1.3. الاستعمالات العلاجية للجنس *Senecio* :

تم استخدام العديد من الأنواع النباتية لهذا الجنس في الطب الشعبي لعلاج أمراض مختلفة و خاصة لعلاج: الزحار، الالتهابات، الروماتيزم، السرطان، السعال، الربو، التهاب الشعب الهوائية و آلام العضلات الخ [89].

III. 3. 2. الوصف المورفولوجي لنبات *Senecio hoggariensis* :

هي عشبة سنوية ذات سيقان منتصبة للغاية، يصل طولها أحيانا إلى 50 cm ، لكن في كثير من الأحيان يكون أقل من ذلك. أوراقها لحمية ومقطعة للغاية، مع فصوص خطية في بعض الأحيان. سيقانها تحمل أزهار طويلة ذات رؤوس ذهبية صفراء. نادرا ما نلاحظ اللون الأرجواني لأزهار هذا النوع، يطلق عليها اسم تيماساسويت (*Témasaswit*) لدى قبائل الطوارق في جانت [89].

III. 3.3. التوزيع الجغرافي لنبات *S.hoggariensis* :

يعد النبات المدروس شائع على مستوى منطقة الصحراء الجنوبية الكبرى في إفريقيا وخاصة في البلدان التالية: الجزائر (منطقة الهقار والطاسيلي)، النيجر، تشاد ومصر [89].

الفصل الرابع :

دراسة الفعالية المضادة للأكسدة
والمضادة للتآكل لمستخلصات نباتية
بالطرق الإلكتروكيميائية

(دراسة مقارنة لبعض الدراسات
السابقة)

الطرق والمواد المستخدمة

وفي هذا الفصل سنقوم بتحليل ودراسة حول التطبيقات الالكتروكيميائية باستعمال الطريقة المتغيرة و المتمثلة في الطريقة الفولطامترية الحلقية والطريقة المستقرة المتمثلة في منحنيات الإستقطاب .

1.IV.دراسة الفعالية المضادة للأكسدة لمستخلصات التمر بالطريقة الالكتروكيميائية

(الفولطامترية الحلقية): مقارنة بين أربع دراسات

مقدمة:

تعتمد هذه الدراسة على تقييم الفعالية المضادة للأكسدة لثمار نخيل التمر *Phoenix dactylifera.L* لأصناف من التمور المحلية الجزائرية، وذلك باستخدام التقنيات الكهروكيميائية المتمثلة في الطريقة المتغيرة (الفولطامترية الحلقية)، وتعتبر الطريقة الفولطامترية واحدة من أكثر الطرق الحديثة المستخدمة لقياس النشاط المضاد للأكسدة للمركبات الفينولية وغيرها وهي طريقة انتقائية كهروكيميائية [90-91] ولقد استعملت في تقييم القدرة الكلية لمضادات الأكسدة لعينات حقيقية مثل السوائل البيولوجية أو الأنسجة ومستخلصات النباتات [92-93].

1.IV.1. الطرق والمواد المستخدمة :

1.IV.1.1. المواد و منطقة الجني :

الجدول(1-IV): المواد ومناطق الجني

المرجع	المستخلص	المنطقة	العينات
[94]	ميثانول /ماء (20/80)	وادي ريغ	GH
			CHt
			DB
			Tns
[75]	ميثانول /ماء (20/80)	ولاية ورقلة	Tam
			Taf
			DN
			Gh
			DB
[95]	ميثانول / ماء (20/80)	ولاية ورقلة	Taf
			Ham
			Gh
			DN
			DB
[96]	ميثانول / ماء (20/80)	ولاية ورقلة	DR
			Tan

2.1.IV. الطرق المستخدمة:**2.1.IV. 1. تحضير الإلكتروليت المساعد :**

نحضر تركيز 0.1M من ملح (Bu₄NPF₆)، نمزجه مع المذيب العضوي DMF و نضعه في خلية العمل، نقوم بعملية الرج لمدة 5 دقائق و ذلك لتجانس المحلول [97].

2.1.IV. 2. السلوك الكهروكيميائي للنظام (O₂/O₂⁻) في وسط عضوي:

تمت دراسة السلوك الكهروكيميائي للنظام (O₂/O₂⁻) باستعمال الفولطا متري الحلقي في وسط عضوي هو DMF ، وفي وجود ملح (Bu₄NPF₆) بتركيز 0.1M و ذلك على مسرى من الكربون الزجاجي ذا قطر 3mm ، أما المسرى المرجعي فهو عبارة عن مسرى الكالومال المشبع بكلوريد البوتاسيوم، قمنا بتحديد مجال الكهروفعالية لأكسدة و إرجاع الأكسجين على قطب الكربون الزجاجي، حيث حدد مجال المسح من (0v إلى 1.6 v⁻¹) ، و سرعة المسح (0.1vs⁻¹) ، في النظام المغلق، يتم تشييع الخلية بالأوكسجين فائق النقاوة عن طريق الفوران لمدة 15 دقيقة [97].

2.1.IV. 3. تقييم قدرة مضادات الأكسدة بواسطة الطريقة الكهروكيميائية :

لدراسة السلوك الكهروكيميائي المضاد للأكسدة، تم إجراء قياسات الفولطا متري الحلقي (CV) باستخدام جهاز (PGZ301VOLTALAB40)، متصل من جهة بجهاز كمبيوتر مزود ببرنامج Volta Master4 لمعالجة النتائج بإستعمال طريقة الفولطامتري الحلقي، ومن جهة أخرى متصل بخلية زجاجية ذات حجم 25 مل، مزود بغطاء مزود بثلاث ثقوب، ثلاثة تسمح بدخول المساري (المرجعي، المساعد، العمل) والرابع لتزويد الوسط بالأكسجين والذي نطبق عليه التيار للحصول على جذر O₂⁻ ، والخامس خاص بإضافة المستخلصات المراد دراستها بواسطة حقنة . حيث استخدم مسرى الكالوميل المشبع (ECS) كمسرى مرجعي ، سلك البلاتين كمسرى مساعد، ومسرى الكربون الزجاجي (Ø=3mm) كمسرى عمل.

من أجل دراسة القدرة التثبيطية لمستخلصات (DPF) ، استخدمنا طريقة الفولطا متري الحلقي بإتباع طريقة Bourvellec et al [99]، مع تعديل طفيف. تم التحقق من تأثير المستخلصات المختلفة بطريقة الإضافات المتتالية إضافة 100 µl من المحلول الأم للمستخلص إلى 25 ml من محلول الكهروليت من أجل الحصول على تركيز الركيزة المضادة للأكسدة في النطاق (0-0.010 Gh) ، (0-0.004) Cht ، (0-0.006) DB و (0-0.008) Tns بعد كل إضافة ، لمحلول الكهروليت تم تسجيله بمعدل مسح (0.1v).

IV.2.1.4. طريقة حساب إجمالي القدرة المضادة للأوكسدة I% انطلاقاً من المنحنيات الفولطاً مترية الحلقية [97]:

- حساب التراكيز في الخلية:

و تتم عملية حساب التراكيز في الخلية كالآتي:

$$C_1V_1=C_TV_T \rightarrow C_T=C_1V_1/V_T \dots\dots\dots(8)$$

C_T : التركيز الكلي في الخلية.

V_T : الحجم الكلي في الخلية.

C_1 : تركيز العينة المضافة.

V_1 : حجم العينة المضافة .

$$V_T = (25+ V_1)\dots\dots\dots(9)$$

IV.2.1.5. تقدير الفعالية المضادة للأوكسدة اعتماداً على IC₅₀ [97]:

يتم تحديد إجمالي الفاعلية المضادة للأوكسدة من خلال حساب المقدار (I %) الذي يمثل النسبة اللازمة لتنشيط الجذر الحر (O_2^-)، يتم حسابه من خلال القيمة المصعدية للفولتاموغرام الحلقي المتغيرة بدلالة تركيز العينات.

تحسب نسبة التثبيط وفق العلاقة التالية :

$$I(\%) = \frac{iPa_0 - iPa_S}{iPa_0} \times 100 \dots\dots\dots(10)$$

حيث I_{pa}^0 و I_{pa}^S هي تيار الذروة الأنودية للأوكسدة - O_2 مع وبدون DPF.

بعدها يتم رسم المنحنى $I = f(C)$ الذي من خلاله يتم حساب IC₅₀ (يتم تعريفه بالتركيز الذي يثبط التفاعل بنسبة 50 %) [98] كما هو موضح في العلاقة:

$$IC_{50} = 50 / K \dots\dots\dots(11)$$

K: ميل المنحى الخاص بالمستخلصات.

بحيث كلما كانت قيمة IC₅₀ صغيرة كلما كانت فعالية المضادات الجذرية كبيرة.

IV. 2. تحديد الخصائص المثبطة للتآكل للمستخلصات النباتية باستخدام منحنيات الاستقطاب ومطيافية الممانعة الكهروكيميائية (دراسة مقارنة لبعض المستخلصات النباتية).

IV. 1.2. الطرق والمواد المستخدمة :

IV. 1.1.2. المواد و منطقة الجني :

جدول (IV-2): المواد ومناطق الجني

المرجع	الفولاذ / المعدن	الوسط الأكال	المستخلص	المنطقة	العينات
[98]	الفولاذ الكربوني	وسط حمضي (HCl, 0.5M)	ميثانول ماء 20/80	بغداد / العراق	مستخلص بذور نخيل التمر (DES)
[30]	الفولاذ الكاربوني X52	وسط حمضي (HCl, 1M)	Ac.A/H ₂ O	ورقلة و وادي سوف،	المستخلصات الفينولية لنبته <i>Limoniastrum guyonianum</i>
[89]	الفولاذ الكاربوني (X70)	وسط حمضي (HCl, 1M)	ايثانول ماء 30/70	منطقة الهقار والطاسيلي	مستخلصات نبات : <i>Senecio hoggariensis Batt. & Trab</i>
[99]	الألمنيوم	وسط حمضي (HCl, 1M)	ميثانول ماء 20/80	منطقة الدبيلة، الوادي	صنفين من نوى التمر : دجله بيضاء ودجلة نور

IV. 2.2. الطرق المستخدمة:

IV. 1.2.2. القياسات الكهروكيميائية :

تم إجراء قياسات EIS و PDP للتأكد من تأثير التآكل على الفولاذ الكربوني في غياب و وجود الـ DSE في محلول HCl بتركيز 0.5M في درجة حرارة 25 C⁰ باستخدام جهاز Gamry potentiostat-ZAR Reference-3000، و توصيل potentiostat بخلية ثلاثية الأقطاب وأستعمل قطب الكالوميل المشبع (ECS) كقطب مرجعي والجرافيت كقطب مساعد و الفولاذ الكربوني كقطب عمل بمنطقة مكشوفة تبلغ 1cm²، وضع قطب العمل بالقرب من القطب المرجعي

دون حدوث أي اتصال بين الأقطاب الكهربائية، ثم إنشاء منحنيات PDP عن طريق تغيير القطب من (250- mv إلى +250).

نفتح الدارة (E_{corr}) و بمعدل مسح ضوئي (1.1mVs^{-1})، تم إجراء اختبار EIS أيضاً لفهم حركية ونوعية الإجراءات الكهروكيميائية في وسط $\text{HCl } 0.5\text{ M}$ لفولاذ الكربوني .

نقوم بغمر الفولاذ الكربوني في محلول HCl لمدة نصف ساعة عند جهد الدارة المفتوحة (OCP) لتحقيق حالة مستقرة.

نطاق منطقة التردد من 0.01 Hz الى 100000Hz ، وسعة جهد تيار التردد (AC) التي تبلغ $10 \pm \text{mv}$ [99].

من منحنى PDP ومنحنى تفاعل ، تم قياس الـ % IE من المثبطات بناءً على قيمة كثافة التيار من المعادلة التالية :

$$\%IE = 1 - (I_{corr} / I_{corro}) \times 100 \dots\dots\dots(12)$$

I_{corr} : كثافة التيار في وجود DES .

I_{corro} : كثافة التيار في غياب DSE .

تم حساب نسبة التنشيط % (IE) لبيانات EIS من خلال قيم مقاومة نقل الشحنة في وجود وغياب DSE باستخدام المعادلة التالية [99] :

$$IE\% = (R_{ct} - R^{\circ}ct / R^{\circ}ct) \times 100 \dots\dots\dots(13)$$

R_{ct} : مقاومة الانتقال الشحني في وجود DSE .

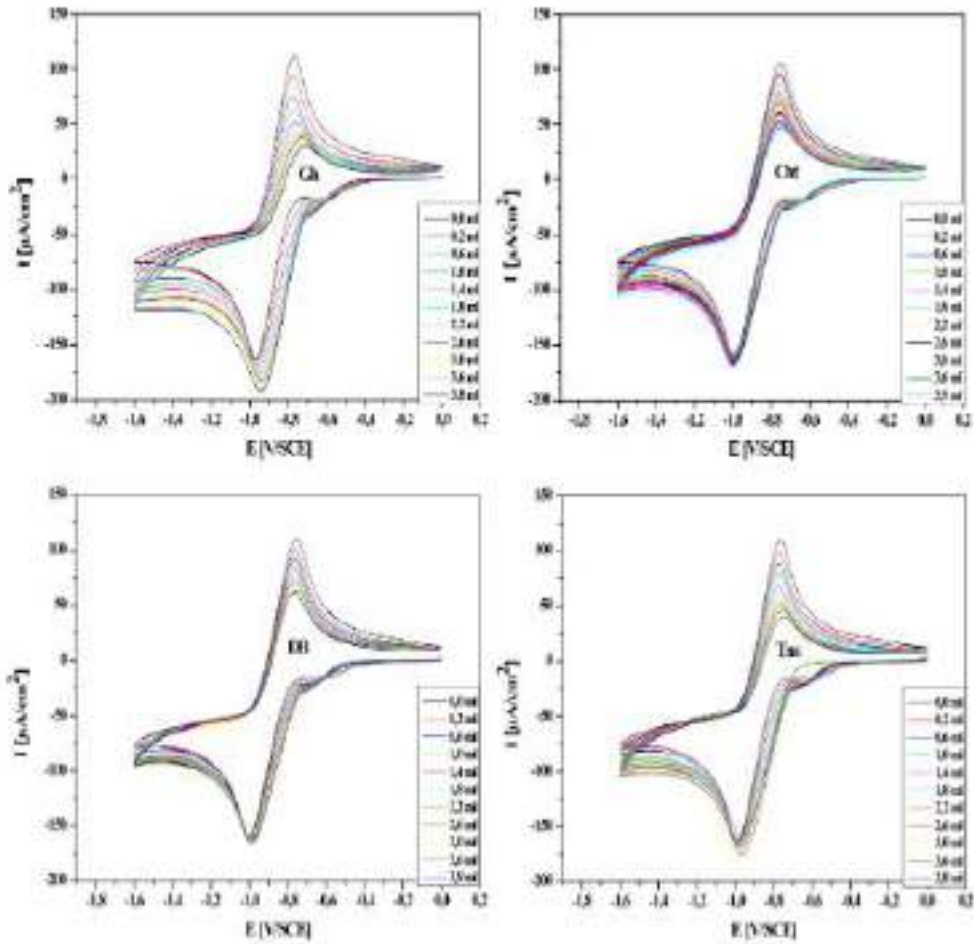
$R^{\circ}ct$ مقاومة الانتقال الشحني في غياب DSE

النُّجُج والمقارنَة

3.IV. دراسة الفعالية المضادة للأكسدة لمستخلصات التمر بالطريقة الالكتروكيميائية (الفولطامترية الحلقية): مقارنة بين أربع دراسات

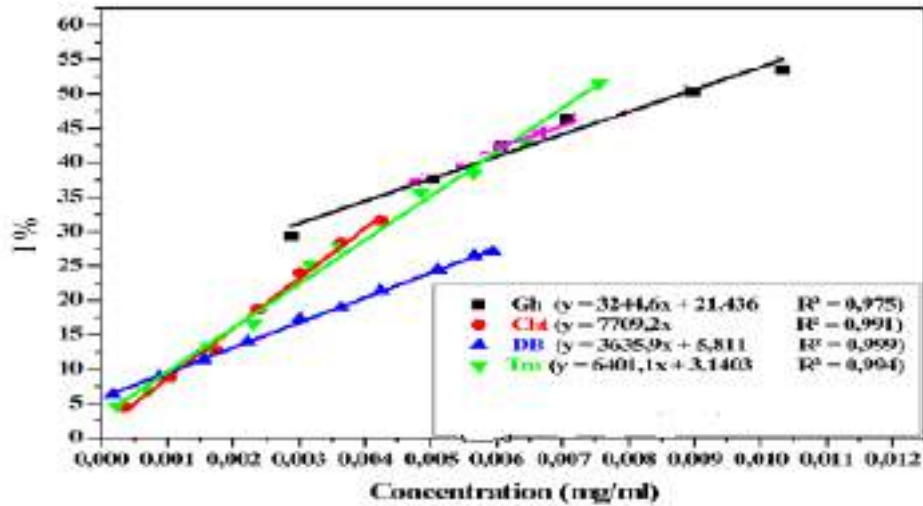
IV. 1.3. تقييم قدرة مضادات الأكسدة بواسطة التقنيات الكتروكيميائية:

النتائج التي تم الحصول عليها في الشكل (1-IV) تظهر أنه مع إضافة المستخلص نلاحظ انخفاضًا نسبيًا في $O_2^{\bullet-}$ تيار الذروة الأنودي ، بينما يبدو أن شدة التيار الكاثودي O_2 ثابتة في أغلبية المستخلصات [94].



الشكل (1-IV) : منحى الفولطامترية للنظام ($O_2 / O_2^{\bullet-}$) بوجود تراكيز مختلفة من مستخلصات DPF للأصناف الأربعة

انخفاض تيار الذروة الانودي $O_2^{\bullet-}$ يشير إلى أن ركيزة البوليفينول تتفاعل بشكل لا رجع فيه مع $O_2^{\bullet-}$ كما هو مبين في الشكل (2-IV) :

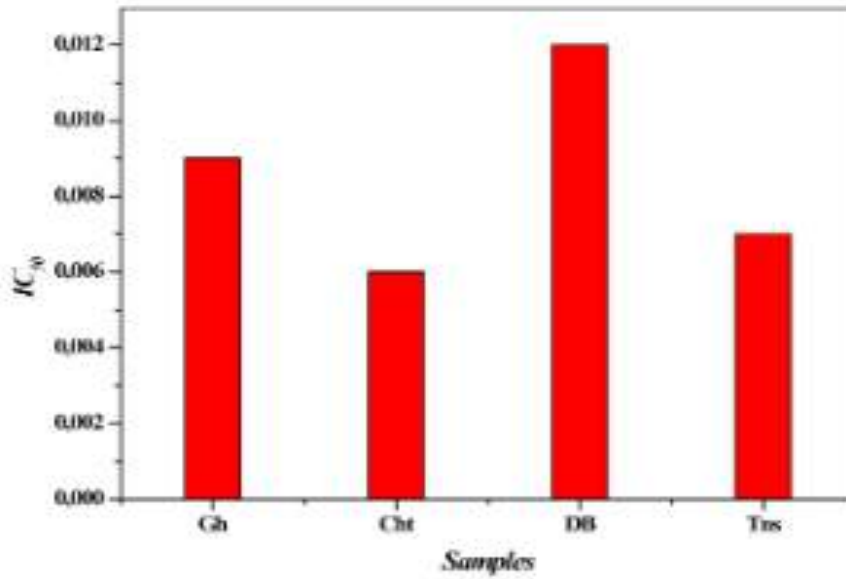


الشكل (2-IV) : منحنيات بيانية توضح نسب تثبيط جذر $O_2^{\cdot-}$ إلى مختلف تراكيز مستخلصات أصناف التمر.

أظهر مستخلص Cht الميثانولي أعلى مستوى نشاط للكسح على جذور $O_2^{\cdot-}$ مقارنة بالأصناف الأخرى. لتعيين قدرة المستخلصات على كبح الجذور الحرة $O_2^{\cdot-}$ نقوم بحساب قيمة IC_{50} ، النتائج موضحة في الشكل (3-IV) كما هو موضح في الجدول (3-IV)[94].

عينة	نشاط الكسح الجذري لأنيون الفائق IC_{50} (mg/ml)
Gh	0,009*
Cht	0,006
DB	0,012
Tns	0,007

الجدول (3-IV): النشاط المضاد للأكسدة في عينات مختلفة من DPFs .



الشكل (3-IV): قيم IC_{50} لمقايسة DPPH لنشاط إزالة الجذور الحرة من المستخلصات [94].

نلاحظ من خلال شكل (3-IV) وجدول (3-IV) أن القيم الأقل للـ IC_{50} تتوافق مع النشاط المضاد للأكسدة الأعلى. و أن قيم الـ IC_{50} لمستخلص Cht عند تركيز (0.006mg/ml) أظهر قدرة مضادة للأكسدة أعلى من مستخلصات الأصناف الأخرى. وينخفض نشاط مضادات الأكسدة في المستخلصات الميثانولية من DPF بالترتيب التالي :

$$DB < Gh < Tns < Cht$$

ترجع هذه النتائج إلى وجود مركبات الفينول التي تمتلك نشاطاً مضاداً للأكسدة وكسح بعض الأنواع المتفاعلة، بما في ذلك الهيدروكسيل وجذور الأوكسيد الفائقة.

نفس العملية طبقت على باقي الدراسات مع بعض التغييرات ولخصت في الجدول التالي:

جدول (IV-4): جدول مقارنة بين اربع دراسات حول الفعالية المضادة للأكسدة لمستخلصات التمر.

المرجع	IC50 (g/l)	نوع المستخلص	العينات
[94]	0.009 *	الميثانول /ماء	GH
	0.006		CHt
	0.012		DB
	0.007		Tns
[75]	0.07062	الميثانول /ماء	Tam
	0.03317		Taf
	0.08523		DN
	0.05898		Gh
	0.06633		DB
[95]	0.159	الميثانول /ماء	Taf
	0.169		Ham
	0.236		Gh
	0.176		DN
	0.154		DB
[96]	0.0006	الميثانول /ماء	DR
	0.004		Tan

المقارنة:

من خلال الجدول أعلاه نلاحظ أن هناك اختلاف في قيم الـ IC_{50} حيث تم تسجيل أقل قيمة للـ IC_{50} لعينة الدقلة الحمراء (DR) في دراسة بن طبة، وهي تتوافق مع أعلى نشاط مضاد للأكسدة، بينما سجلت أعلى قيمة للـ IC_{50} لعينة دقلة بيضاء لدراسة بن علي .

رتبت قيم IC_{50} بالترتيب التالي :

DR>Cht>Taf>DB

ومن خلال هذا الترتيب فإن أقل قيمة لـ IC_{50} لعينة الدقلة الحمراء (DR) في مرحلة الخلال لدراسة بن طبة تتوافق مع أعلى نشاط مضاد للأكسدة .

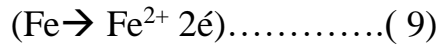
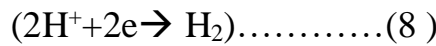
ويرجع هذا الاختلاف في الفعالية الى اختلاف المركبات الموجودة في هذه المستخلصات بسبب الاختلاف في أصناف التمور وكذا المنطقة التي تم جني التمور منها ومرحلة النمو.

4.IV. تحديد الخصائص المثبطة للتآكل للمستخلصات النباتية باستخدام منحنيات الاستقطاب ومطيافية الممانعة الكهروكيميائية

4.1.IV. اختبار الكهروكيميائية :

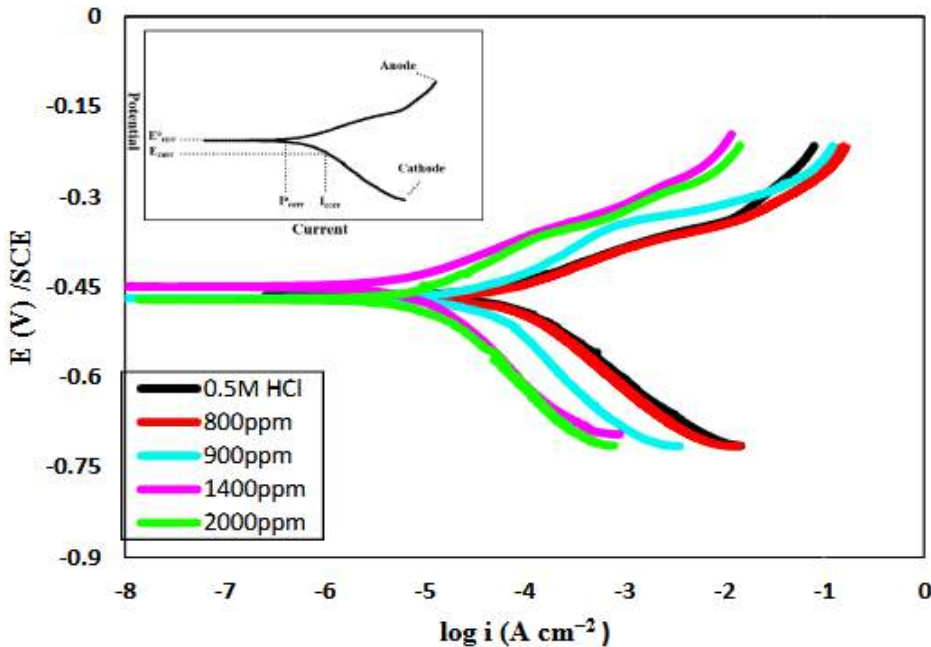
1.1.4.IV. الاستقطاب الديناميكي (PDP) :

تم إجراء الدراسات الديناميكية (PDP) للتحقق من تقدم التفاعلات الأنودية والكاثودية :



يشير الشكل (4-IV) إلى منحنيات PDP في 0.5 M من HCL للفولاذ الكربوني .

يوضح أن انحلال المعدن الأنودي وتطور الهيدروجين الكاثودي تم منع تطوره في وجود DSE يتم عرض المعاملات التي تم الحصول عليها من تجارب الاستقطاب، بما في ذلك كثافة التيار للتآكل (I_{CORR})، فرق كمون التآكل (E_{CORR}) ، معامل تقال الكاثودي (β_c)، معامل تقال الأنودي (β_a) .



الشكل (4-IV) : منحنى الاستقطاب للفولاذ الكربوني في 0.5 M من HCL مع تراكيز عديدة من DSE

من الجدول (5- IV) نلاحظ انخفاض المعاملات بزيادة تركيز التثبيط حتى وصلت إلى 1400 ppm من ناحية أخرى تحسنت %IE و ارتفع مستوى تركيز DSE من 800 ppm إلى 1400 ppm ، حيث وصل إلى حد أقصى % 92 عند زيادة المستخلص إلى 2000 ppm ، بدأ الـ %IE في الانخفاض قليلا بشكل طفيف في منحنى تفال الكاثودي بسبب تأثير المركبات المثبطة على حركية تطور الهيدروجين في وجود مثبط DSE في حين أن التغييرات في منحنى تفال الانودي يمكن أن تعزى إلى امتزاز جزيئات DSE على سطح الفولاذ الكربوني وحجب مواقع السطح النشطة علاوة على ذلك لوحظ أن E_{coror} من الفولاذ الكربوني يتراجع نحو قيم سلبية أقل ومن خلال المنحنيات نلاحظ أن هناك انزياح كاثودي وآنودي حيث يمكن استنتاج أن الـ DSE مثبط من النوع المختلط.

الجدول (5- IV): معاملات الاستقطاب للفولاذ الكربوني في 0.5 M HCL مع تراكيز العديد

من DSE .

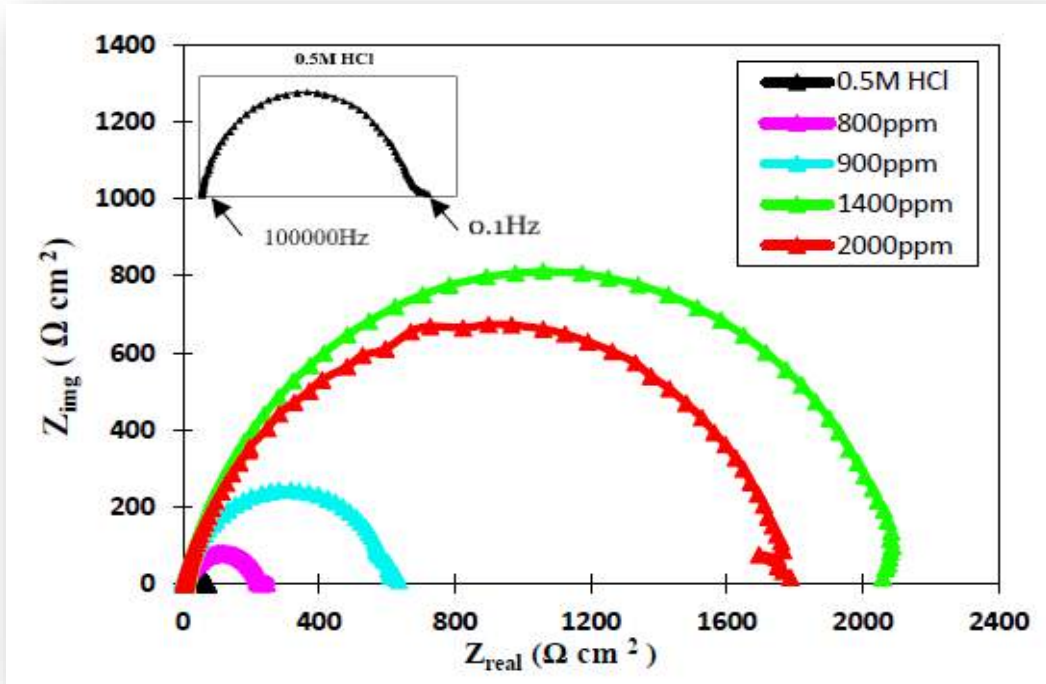
تركيز	I_{corr} (μAcm^{-2})	E_{corr} (mV/SCE)	Ba (mV/dec)	Bc (mV/dec)	IE%
0.5M HCl	84	-464	80	126	-
800ppm	30	-470	60	119	64
900ppm	20	-469	65	123	76
1400ppm	7	-450	67	138	92
2000ppm	8	-471	134	73	91

IV. 2.1.4. مطيافية الممانعة الكهروكيميائية (EIS):

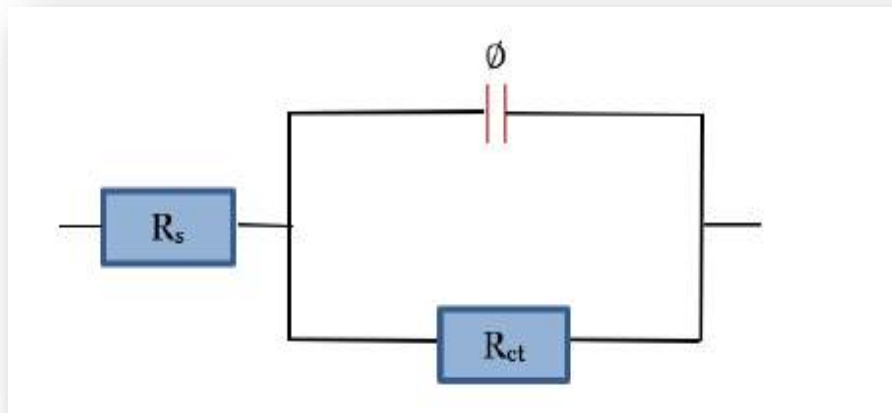
لتحديد الخصائص الديناميكية والإجراءات الكهروكيميائية للفولاذ الكربوني في وسط HCL وتقديم توضيح واضح حول كيفية تعديل مركبات مثبطات DSE .

يوضح الشكل (5-IV) منحنى Nyquist في وجود وغياب DSE يصبح عرض حلقة السعة أكثر اتساعا عند زيادة مستوى تركيز DSE إلى 1400 ppm.

الشكل (5-IV) : منحني Nyquist المقاومة الكهروكيميائية للفولاذ الكربوني بتراكيز مختلفة من DSE .



والشكل (6-IV) يوضح الدارة الكهربائية المكافئة التي تم تطبيقها لتحليل نتيجة EIS ، يحتوي على R_s بين القطب الكهربائي المتحرك والقطب المرجعي. وتم حساب قيم $\% IE$ باستخدام المعادلة، ويتم عرض القيم في الجدول (6- IV).



الشكل (6-IV) : تطبق معاملات الدارة المكافئة على بيانات التجريبية الملائمة .

الجدول (IV - 6) : نتائج مقارنة (PDP ، EIS) وقيم IE % .

تراكيز	PDP		EIS	
	Icorr (μAcm^{-2})	IE%	Rct (Ωcm^2)	IE%
0.5M HCl	84	-	66	-
800ppm	30	64	228	71
900ppm	20	76	607	89
1400ppm	7	92	2098	97
2000ppm	8	91	1771	96

وأظهرت نتائجه أن % IE تحسنت بشكل كبير مع تطور التراكيز تصل إلى 1400 ppm بعد أقصى 97% بعد ذلك، انخفض % IE بشكل كبير 2000 ppm .

يمكن أن تفسر تفاعلات الترابط غير المرغوب فيها هذا بين الجزيء الممتز على سطح الفولاذ والجزيئات المتحركة بحرية التي واجهت محلول المثبطات، تقطع جزيئات المانع المتنقلة بحرية الترابط الأيوني بين الجزيئات الممتصة و سطح الفولاذ. فتبتعد الجزيئات بحرية عن الجزيئات الممتصة من سطح الفولاذ مع الإعاقة الفراغية وقوى التنافر وقد تسبب هذا في وقت لاحق في وجود جزيئات مثبتة قليلة موجودة على سطح الفولاذ، مما يزيد من نشاط التآكل ويؤدي إلى انخفاض في % IE .

نفس العملية طبقت على باقي الدراسات مع بعض التغييرات ولخصت في الجدول التالي:

جدول (IV-7): جدول مقارنة بين اربع دراسات حول تحديد الخصائص المثبطة للتآكل للمستخلصات النباتية باستخدام منحنيات الاستقطاب ومطيافية الممانعة الكهروكيميائية

المرجع	IE% (EIS)	IE% (PDP)	زمن الغمر	التركيز ppm	الوسط	نوع الفولاذ	العينات
[99]	/	/	10 min	0.5M HCl	وسط حمضي (HCl, 0.5M)	الفولاذ الكربوني	مستخلص بذور نخيل التمر (DES)
	71	64		800			
	89	76		900			
	97	92		1400			
	96	91		2000			
[30]	/	/	من 10min إلى 90min	Blanc	وسط حمضي (HCl, 1M)	الفولاذ الكربوني X52	نبته : <i>Limoniastrum guyonianum</i>
	21.337	69.856		0.005			
	9.471	70.393		0.01			
	3.455	93.433		0.015			
	15.836	75.933		0.02			
[89]	/	/	60 min	0	وسط حمضي	الفولاذ الكربوني	مستخلصات نبات :

	64.10	72.37		0.25	(HCl, 1 M)	(X70)	<i>Senecio hoggariensis Batt. & Trab</i>
	76.22	81.05		0.62			
	90.33	89.91		3.75			
	91.51	96.39		6.25			
	94.76	97.40		12.5			
[100]	/	/	60 min	Blank	وسط حمضي (HCl, 1 M)	الألمنيوم	دجله بيضاء ودجلة نور
	78.657	42.14		1			
	86.635	43.53		2			
	89.503	43.97		3			
	93.069	20.88		4			

المقارنة:

من خلال هذا الجدول نلاحظ أن هناك اختلاف في نسب تثبيط المستخلصات على التآكل في أغلبية الدراسات، حيث سجلت أعلى فعالية تثبيطية في دراسة بالاعور ابتسام في طريقة منحنيات الاستقطاب: بقيمة 97.40% عند تركيز 12.5ppm،

أما طريقة مطيافية الممانعة فقد سجلت أعلى فعالية تثبيطية قدرت بـ 97% عند تركيز 1400ppm في دراسة Naba Jasim Mohammed & Norinsan Kamil.

وعند مقارنة هذه النتائج مع النتائج المتحصل عليها من قبل Naba Jasim Mohammed & Norinsan Kamil Othman نلاحظ تقارب في النتائج أي كلا المستخلصات مثبط جيداً للتآكل في وسط حمض (HCl, 1M).

وقد يرجع هذا الاختلاف إلى نوعية المركبات الموجودة في هذه المستخلصات المسؤولة عن عملية التثبيط وكذا نوعية الفولاذ المستعمل بالإضافة إلى تركيز الحمض ودرجة الحرارة.

في هذه الدراسة تعرفنا على بعض الطرق الالكتروكيميائية وتطبيقاتها، طريقة الفولطا متري حلقي و طريقة مطيافية الممانعة الالكتروكيميائية .

طريقة الفولطا متري حلقي استعملت لدراسة الفعالية المضادة للأكسدة لمختلف مستخلصات التمور والتي بينت أن هنالك فعالية عالية للمضادة للأكسدة ، و أن الجزء الصالح للأكل هو الأفضل.

في دراسة الفعالية المضادة للتآكل إستعملنا طريقة منحنيات الاستقطاب (طريقة تفال) و مطيافية الممانعة الكهروكيميائية توصلنا إلى أن النباتات أعطت نتائج متقاربة مع نوى التمر فكللا المستخلصات مثبت جيد للتآكل في وسط حمضي (HCl,1M) .

وفي ضوء النتائج التي توصلنا إليها ونظرا لوجود فعالية كبيرة لنواة التمر نأمل أن يتم استغلال هذه المخلفات المتركمة .

نأمل في المستقبل بفصل وتنقية المركبات المسؤولة عن الفعالية المضادة للأكسدة ومعرفة تركيبها الكيميائي.

المراجع

المراجع بالعربية :

- [1] أ.د.حسن أحمد شحاتة، الكيمياء العامة، كلية العلوم جامعة الأزهر، الدار المصرية اللبنانية 2009 (ص7).
- [2] كاثي كوب ومونتي إل فيتزولف، روعة الكيمياء، مؤسسة هنداوي للنشر 2017(ص16).
- [3] د.موريس شربل، موسوعة علماء الكيمياء، دار الكتب العلمية، بيروت لبنان، 1991، (ص3).
- [4] م.صباحي سليمان، الكيمياء الشيقة، دار العلوم للنشر، 2010، (ص9).
- [9] ريموند تشانغ، الكيمياء العامة المفاهيم الأساسية، العبيكان للنشر، 2014، (ص1).
- [11] أ.د.محمد مجدي واصل، أسس الكيمياء الكهربائية، جامعة الأزهر، طبعة للنشر والتوزيع والتجهيزات العلمية، 2010، (ص7).
- [13] أ.د.عبدالعليم سليمان.أ.د.فاطمةحافظ كمال. أساسيات الكيمياء الفيزيائية.
- [16] د.عيسى مسعود بغني، هندسة التآكل، دار الكتب الوطنية، بنغازي، 2006 (ص27).
- [17] آيات محمد أبو شحادة، المثالي في الكيمياء، دار عالم الثقافة للنشر، 2018، (ص50، 41، 39، 37، 9).
- [18] د.حسام خليل، موسوعة الكيمياء الشاملة، دار أسامة للنشر والتوزيع، 2005، (ص263، 262).
- [19] د.عبد الله الهزازي، الكيمياء الكهربائية، جامعة أم القرى، (ص52-56).
- [20] وليد قصار، عبد الحميد زغداوي، التحليل الآلي (الطرق الكهروكيميائية في التحليل الكيميائي)، ديوان المطبوعات الجامعية، 2013، (ص33).
- [22] د.دقموش مسعودة، تحضير و تحديد الخصائص الفيزيوكيميائية لبعض المركبات ثنائي ثيول ثيون وأملاحها المرافقة لتطبيق فعاليتها التثبيطية في دراسة تآكل المعادن، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2014، (ص 871).
- [23] فريق من المهندسين، الفحص الهندسي في المنشآت النفطية، مصطفى الدورة، العراق، (1979)، ص 20.
- [29] مذكرة ماجستير. أبكوشة عز الدين (ص37، 36، 35، 34،43).
- [67] فريد غراي، ترجمة مروة هاشم، النخيل، أبو ظبي: دائرة الثقافة والسياحة، 2020، (ص 1).
- [68] ج.م.ح، المدير.، أصناف التمور (الشجرة الطيبة) في الخليج، الكويت :مكتبة الكويت الوطنية، 2009، ص 9.
- [69] ع البكر ، نخلة التمر ، الطبعة الثانية، مطبعة الوطن ، لبنان، 1982.
- [70] إ عودة ، واقع زراعة النخيل و إنتاج التمور في الوطن العربي ، المركز العربي (أكساد)، سوريا، 2011، (ص 05، 22).
- [74] غ.ح.ح، علي، التصنيف النباتي والوصف المورفولوجي والتركيب التشريحي لنخلة التمر (Phoenix dactylifera L.): دائرة بلدية أبو ظبي وتخطيط المدن، إدارة الإرشاد والتسويق الزراعي والثروة الحيوانية، 2003، (ص 2 - 12 ، 14 - 17 - 19 - 26 - 27).

- [75] غ، زينب، دراسة تحليلية للبيدات و فينولات و مكونات أخرى لبعض أصناف نخيل التمر المحلية ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2015 .
- [89] إ.بالاعور ، مساهمة في الدراسة الفيتوكيميائية وتقييم الفعالية البيولوجية و الفعالية المضادة للتآكل لمستخلصات نبات *Senecio hoggariensis* Batt. & Trab، 2021، (ص6، 7،9).
- [95] م.بن علي، دراسة الجزء الليبيدي والفينولي لنوى بعض أصناف التمور المحلية،جامعة قاصدي مرباح ورقلة،2018
- [96] ف.ز.بن طبة، تأثير أطوار النضج على المركبات الفينولية و الفعالية المضادة للأكسدة و الجذور الحرة لبعض أصناف النخيل المثمرة (*Phoenix dactylifera* L)،جامعة قاصدي مرباح ورقلة،2021.
- [97]ش.بن ساسي، تقييم الفعالية المضادة للأكسدة و المضادة للبكتيريا للمركبات الفينولية لبعض أصناف التمور من منطقة وادي ريغ بطرق مختلفة،جامعة قاصدي مرباح ورقلة،2018.
- [98] م.أ.بلفار، المساهمة في دراسة القدرة المضادة للأكسدة لبروبوليس جنوب الجزائر بالطرق الكيميائية و الكهروكيميائية،جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2016.

المراجع باللاتينية :

- [5] Evolution of electrochemistry. Supramanian Srinivasan. Fuel cells(325).2006.
- [6] Luigi Galvani and animal electricity :two centuries after the fondation of electrophysiology. Marco Piccolino /tendsin neurosciences. 20(10).(443-448).1997 .
- [7] Animal electricity and the birth of electrophysiology : the legacy of Luigi Galvani ,Mar Piccolino (381-407).1998.
- [8] Introduction to electrochemistry .D.Brynn Hibbert.1993.(p1).
- [10]Target 2011,chemistry 12,Prem Dhawan,Vandana Dhahwan,Mc Graw,Hill.education private limited.new Delhi . (p96).
- [12]Christine Lefrou ,Pierre Fabry,Jean-claude Poignet ,Electrochimie,EDP scienses (p1) ,2013.
- [14] Harris,William,Levey,Judth,eds(1975),The new columbia Encyclopedia(4-th),New york city,columbia university,(p155).ISBN978-0-231035-7229).
- [15]Dieter Landolt ,corrosion et chimie de Surfaces des métaux 12,école polytechnique fédérale de Lausanne,(p4),1993,(p4).
- [21]C.G. Granqvist , (2002). Handbook of Inorganic Electrochromic Materials, Elsevier Science B.V. Amsterdam. p 95.
- [24]Dr.Harzallah,Les Méthodes électrochimiques,Faculté de Médecine Annaba.
- [25] Burgot J. L., Darchen A. et Saïdi M.; *Electrochimica Acta* **48** pp 107 (2002).
- [26] Petillon F. et Guerchais J. E.; *Bull. Soc. Chim. Fr.* **24** pp 55 (1971).
- [27] Raubenheimer H. G., Kruger G. J., Marais C. F., Otte R. et Hatting J. T. Z.; *Organometallics* **7** pp 1853 (1988).
- [28] Lozac'h N.et Stavaux M.; *Adv. Heterocycl. Chem.* **27** pp 151 (1980).
- [30]Belfar asia ,Etude du pouvoir antioxydant,antibactérien et anticorrosion des extraits Phénolique de la plante Limonaistrum guyoniaum (Dur.),Kasdi Merbah ouargla,2018.
- [31] Nicholson,R. S. " Theory and Application of cyclic voltametry for measurement of electrode reaction kinetics".*Anal.chem.*37(11) :1351-1355.
- [32]Duvall,stacy Duvall ;McCreey,Richard(1999)."Control of catechol and Hydroquinone Electron- transfer Kinetics on native and modified Glassy carbon Electrodes"
.Anal.chem.71(20) :4594- 4602.
- [33] Bond, Alan M. ;Feldberg,stephen(1998)."Analysis of simulated Reversible cyclic voltammetric Responses for a charged redox species in the absence of added Electrolyte "
.J.Phys.chem.102(49) :9966-9974.
- [34]Bard,Allen J;larry R.faulkner(2000-12-18).Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications(2ed.).wiley.ISBN 978-0-471-04372-0.

- [35] Ali.S.S, Kasoju.N, Luthra.A, Singh.A, Sharanabasava.H, Sahu.A, and Bora.U, Indian medicinal herbs as sources of antioxidants. *Food Research International*, 2008. **41**(1): p. 1-15.
- [36] Mazumder.P.M, Rathinavelusamy.P, and Sasmal.D, Role of antioxidants in phytomedicine with special reference to antidiabetic herbs. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 2012. **2**: p. 969- 979.
- [37] Garg.D, Shaikh.A, Muley.A, and Marar.T, In-vitro antioxidant activity and phytochemical analysis in extracts of *Hibiscus rosa-sinensis* stem and leaves. *Free Radicals and Antioxidants*, 2012. **2**(3): p. 41-46.
- [38] Gomez-Mejiba.S.E, Zhai.Z, Akram.H, Deterding.L.J, Hensley.K, Smith.N, Towner.R.A, Tomer .K.B, Mason.R.P, and Ramirez.D.C, Immuno-spin trapping of protein and DNA radicals: "tagging" free radicals to locate and understand the redox process. *Free Radic Biol Med*, 2009.**46**(7): p. 853-65.
- [39] Kumar.U,Mishra.M,and Prakash.V,Assessment of antioxidant enzymes and free radical scavenging activity of selected medicinal plants. *Free Radicals and Antioxidants*, 2012. **2**(3): p. 58-63.
- [40] Ebrahimzadeh.M.A, Nabavi.S.M, Nabavi.S.F, Bahramian.F, and Bekhradnia.A.R, Antioxidant and free radical scavenging activity of *H. officinalis* L. var. *angustifolius*, V. *odorata*, B. *hyrcana* and C. *speciosum*. *Pak J Pharm Sci*, 2010. **23**(1): p. 29-34.
- [41] Ratnam.D.V, Ankola.D.D, Bhardwaj.V, Sahana.D.K, and Kumar.M.N, Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. *Control Release*, 2006. **113**(3) :p.189-207.
- [42] Devi.G.S, Prasad.M.H, Saraswathi.I, Raghu.D, Rao.D, and Reddy.P, Free radicals antioxidant enzymes and lipid peroxidation in different types of leukemias. *Clinica Chimica Acta*, 2000. **293**(1): p. 53-62.
- [43] Nagmoti.D.M, Khatri.D.K,Juvekar.P.R, and Juvekar.A.R, Antioxidant activity free radical scavenging potential of *Pithecellobium dulce* Benth seed extracts. *Free Radicals and Antioxidants*, 2012. **2**(2): p. 37-43.
- [44] Kumar.U,Mishra.M, and Prakash.V,Assessment of antioxidant enzymes and free radical scavenging activity of selected medicinal plants. *Free Radicals and Antioxidants*, 2012. **2**(3): p. 58-63
- [45] Ferrari, C. K. B., (2007): Functional foods and physical activities in health promotion of aging people. *Maturitas*, 58: 327-339.
- [46] Sailaja Rao.P, Kalva.S, Yerramilli.A, and Mamidi.S, Free Radicals and Tissue Damage: Role of Antioxidants. *Free Radicals and Antioxidants*, 2011. **1**(4): p. 2-7.
- [47] Kumar, S., Free Radicals and Antioxidants: Human and Food System. *Advances in Applied Science Research*, 2011. **2** (1): p. 129-135.
- [48] Sailaja Rao.P, Kalva.S, Yerramilli.A, and Mamidi.S, Free Radicals and Tissue Damage: Role of Antioxidants. *Free Radicals and Antioxidants*, 2011. **1**(4): p. 2-7.
- [49] Thomas.S, and Balasubramanian.K.A, Role of intestine in postsurgical complications: involvement of free radicals. *Free Radic Biol Med*, 2004. **36**(6): p. 745-56.
- [50] Sohal.R, Allen.R, and Nations C, Oxygen free radicals play a role in cellular differentiation: an hypothesis. *Journal of free radicals in biology & medicine*, 1986. **2**(3): p. 175-181.
- [51] Bazzó-Dombi.E, Oravecz.K, Jeney.F, Nagy.K, and Nagy.I.Z, On the useful role of OH free radicals in differentiation of cultured human fibroblasts. *Archives of gerontology and geriatrics*, 2000. **31**(3): p. 233-242.

- [52] Pourmorad.F, Hosseinimehr.S, and Shahabimajd.N, Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. African journal of biotechnology, 2006. **5**(11).
- [53] Sharma.S, Shrivastav.B.R, and Shrivastav.A, Free Radicals, Antioxidants and Oxidative Stress. International Journal of Advanced Research 2013 **1**(9): p. 252-258.
- [54] Pham-Huy.L.A, He.H, and Pham-Huy.C, Free Radicals, Antioxidants in Disease and Health. Int J Biomed Sci, 2008. **4**(2): p. 89-96.
- [55] Balaraman.R, Bafna.P.A, and Kolhapure.S.A, Antioxidant activity of DHC-1-a herbal formulation. J Ethnopharmacol, 2004. **94**(1): p. 135-41.
- [56] Howard, J. A., and Ingold, K. U., (1968): The self-reaction of sec-butyl-peroxyl radicals: confirmation of the Russell mechanism. *J. Am. Chem. Soc*, 90: 1056-1058.
- [57] Ursini, F., Tubaro, F., Rong, J., and Sevanian, A., (1999): Optimization of nutrition: Polyphenols and vascular protection. *Nutrition Reviews*, 57: 241-249.
- [58] A. Rahal, A. Kumar, V. Singh, B. Yadav, R. Tiwari, S. Chakraborty, and K. Dhama, *Oxidative stress, prooxidants, and antioxidants: the interplay*. BioMed research international, 2014. **2014**. p. 1-9.
- [59] Epstein.S, Saporoschetz.I.B, Katsioules.C, and Bishop.Y, Bioassay for Antioxidants Based on Protection of Isolated Rat Liver Mitochondria Against the Photodynamic Toxicity of Benzo[a]pyrene. Food and Cosmetics toxicology, 1971. **9**(3): p. 367-377.
- [60] Yadla.S.V, Sridevi.V, Lakshmi.M, and Kumari.S.K, A review on corrosion of metals and protection. International Journal of Engineering Science and Advanced Technology, 2012. **2**(3): p. 637-644.
- [61] Revie, R.W., Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science and engineering. 2008: John Wiley and Sons.
- [62] Roberge, P.R., Handbook of Corrosion Engineering. 2000: McGraw-Hill New York, NY, USA.
- [63] Syed.S, Atmospheric corrosion of materials. Emirates Journal for Engineering Research, 2006. **11**(1): p. 1-24.
- [64] Bardal.E, Corrosion and protection. 2007: Springer Engineering Materials and Processes,london.
- [65] Maaß.P, and Peißker.P, Handbook of hot-dip galvanization: Corrosion and Corrosion Protection. 2011, Weinheim : Wiley-VCH-Verlag.
- [66] Shreir.L.L, Basic Concepts of Corrosion, 2010. **1**: p. 89 - 95.
- [71] A. Zaid and E.J. Arias-Jiménez, *Date palm cultivation*. FAO Plant Production and Protection, 2002. **156**: p. 110.
- [72] G. Zineb, M. Boukouada, A. Djeridane, M. Saidi, and M. Yousfi, Screening of antioxidant activity and phenolic compounds of various date palm (*Phoenix dactylifera*) fruits from Algeria. Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism, 2012. **5**(2): p. 119-126.
- [73] P. Ozenda, Flore du Sahara. 2 ed. 1977, PARIS: Centre national de la recherche scientifique. 130.

- [76] Benchelah, A-1C. and M. Maka, *Les dattes: intérêt en nutrition*. Phytothérapie, 2008. **6**(2): p. 117-121.
- [77] Peyron, G., *Guide illustré de formation: Cultiver le palmier dattier*. Éd. CIRAD, 2001
- [78] Manickavasagan, A., M.M. Essa, and E. Sukumar, *Dates: production, processing, food, and medicinal values* 2012: CRC Press 1
- [79] Panahi, A. and M. Asadi, *Cholesterol lowering and protective effects of date fruit extract: An in vivo study*. Toxicology Letters, 2009(189): p. S2351
- [80] Abuharfeil, N.M., et al., *Effect of date fruits, Phoenix dactylifera L., on the hemolytic activity of streptolysin O*. Pharmaceutical biology, 1999. **37**(5): p. 335-3391
- [81] Ishurd, O. and J.F. Kennedy, *The anti-cancer activity of polysaccharide prepared from Libyan dates (Phoenix dactylifera L.)*. Carbohydrate Polymers, 2005. **59**(4): p. 531-5351
- [82] Steinbrenner, H. and H. Sies, *Protection against reactive oxygen species by selenoproteins*. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects, 2009. **1790**(11): p. 1478-14851
- [83] Mirghazanfari, S.M., *Assay of pharmacological features of phoenix Dactylifera in the view of traditional and modern medicine*. -, 20131
- [84] Zangeneh, F., L. Moezi, and A. Zargar, *The effect of palm date, fig and olive fruits regimen on weight, pain threshold and memory in mice*. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 2009. **25**(2 :)p. 149-1581
- [85] Al-Qarawi, A., et al., *Gastrointestinal transit in mice treated with various extracts of date (Phoenix dactylifera L.)*. Food and Chemical Toxicology, 2003. **41**(1): p. 37-391
- [86] Al-Qarawi, A., et al., *The ameliorative effect of dates (Phoenix dactylifera L.) on ethanol-induced gastric ulcer in rats*. Journal of Ethnopharmacology, 2005. **98**(3): p. 313-3171
- [87] Sallal, A.-K., Z.S. Amr, and A.M. Disi, *Inhibition of haemolytic activity of snake and scorpion venom by date extract*. Biomedical Letters, 1997. **55**(217): p. 51-561.
- [88] Hadjadj.S, Bayoussef.Z, El Hadj-Khelil.A.O, Beggat.H, Bouhafis.Z, Boukaka.Y, Khaldi.I.A, Mimouni.S, Sayah.F, and Tey.M, *Ethnobotanical study and phytochemical screening of six medicinal plants used in traditional medicine in the Northeastern Sahara of Algeria (area of Ouargla)*. Journal of Medicinal Plants Research, 2015. **9**(41): p. 1049-1059.
- [90] Kohen, R., Tirosh, O., Kopolovich, K., (1992): The reductive capacity index of saliva obtained from donors of various ages Exp. *Gerontol*, 27:161-168.
- [91] Kohen, R., (1993): The use of cyclic voltammetry for the evaluation of oxidative damage in biological samples. *J. Pharmacol. Toxicol. Methods*, 29: 185-193.
- [92] Chevion, S., Roberts, M.A., Chevion, M., (2000): The use of cyclic voltammetry for the evaluation of antioxidant capacity. *Free Radic. Biol. Med*, 28:860-870.
- [93] Ruffien-Ciszak A, Gros P, Comtat M, Schmitt AM, Questel E, Casas C, Redoules D. (2006): Exploration of the global antioxidant capacity of the stratum corneum by cyclic voltammetry. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 40:162-167.
- [94] Ch. Bensaci†, Z. Ghiaba, M. Dakmouche, A. Belfar, M. Belguidoum, F. Bentebba,

- M. Saidi and M Hadjadj, In Vitro Evaluation of Antioxidant Potential of Date Palm Collected in Algeria using Electrochemical, Kasdi Merbah University, Ouargla, Algérie, Korean Chem. Eng. Res., 59(2), 153-158 (2021).
- [99] N.Jasim, N.K.Othman, Date palm seed Extract as a Green corrosion Inhibitor in 0, 5M HCl Medium for carbon steel : Electrochemical Measurement and Weight Loss Studies, International journal of Electrochemical science. August 2020.
- [100] A.Messaoudi, Evaluation de l'activité antioxydante et anticorrosion des extraits de quelques cultivars des dattes de la région d'Oued Souf, université kasdi merbah ouargla, 2021.

الملاحق

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/351441956>

In Vitro Evaluation of Antioxidant Potential of Date Palm Collected in Algeria using Electrochemical and Spectrophotometrical Techniques

Article in *Korean Chemical Engineering Research* · January 2021

DOI: 10.9713/kcer.2021.59.2.153

CITATIONS

0

READS

22

8 authors, including:



Cheyma Bensaci

Université Kasdi Merbah Ouargla

11 PUBLICATIONS 7 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Ghiaba Zineb

Université Kasdi Merbah Ouargla

26 PUBLICATIONS 104 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Mahdi Belguidoum

Université de Ghardaia

9 PUBLICATIONS 20 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Fatima Zohra

Université Kasdi Merbah Ouargla

4 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Studies on Antibacterial Compounds from Methanolic Extracts of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits from Algeria [View project](#)



Evaluation of Antioxidant Capacity Using Electrochemical Techniques [View project](#)

In Vitro Evaluation of Antioxidant Potential of Date Palm Collected in Algeria using Electrochemical and Spectrophotometrical Techniques

Cheyma Bensaci[†], Zineb Ghiaba, Messaouda Dakmouche, Assia Belfar, Mahdi Belguidoum, Fatima Zohra Bentebba, Mokhtar Saidi and Mohamed Hadjadj

Laboratoire Valorisation et Promotion des Ressources Sahariennes, Kasdi Merbah University, Ouargla, Algérie
(Received 9 June 2020; Received in revised from 17 September 2020; accepted 6 October 2020)

Abstract – In this study, we will determined the total phenolic content (TPC) and the antioxidant activity of the methanolic extract (ME) of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits (DPF) of four native cultivars from Algeria: *Ghars* (Gh), *Chtaya* (Cht), *DeglaBeïda* (DB) and *Timissine* (Tns). The TPC of ME of DPF was measured by using Folin–Ciocalteu. Thereafter, the antioxidant capacity of various extracts was determined using DPPH test, reducing power and superoxide anion test. These results showed that dates had strongly scavenging activity on DPPH. The value of IC₅₀ for DPPH radical test was 0.077 mg/ml in Cht. Also, Cht cultivar showed the best-reducing power, which was significantly higher than the other varieties. The less IC₅₀ value in cyclic voltammetry method (CV), which meets the highest effective antioxidant, was 0.006 mg/ml in methanolic extract of Cht.

Key words: Date palm, Phenolic content, Flavonoid content, Antioxidant activity, Electrochemical

1. Introduction

Phoenix dactylifera is a monocotyledon, dioecious plant in the Palmaceae family [1,2] Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) is a crucial fruit for the populations in southern Algeria. It is a vital element of the diet where the estimated annual production is 468,000 tons from a zone of 140,000 hectares planted with date palms. Over 940 cultivars have been currently identified. From the perspective and distribution of palm production dates, the Algerian Sahara can be divided into seven regions: Ziban, Oued- Righ, Oued-Souf, Ouargla, M'zab, Saoura, and TouatTidikelt. The number of cultivars identified is 58 for the region of Ouargla [3].

The chemical composition of date fruits has been reported in numerous studies [3]. The date is a high energy food rich in carbohydrates, a major source of minerals, such as calcium, iron, magnesium, phosphorus, potassium and zinc, but it is low in fats and proteins. Besides nutritional value [3], date fruits are rich in phenolic compounds possessing antioxidant activity. Several studies have been done on this activity of date palm from Algeria [3,4]. The major phenolic compounds of date palm fruits were identified from Spain, Tunisia and Oman. However, little research has been published on the composition of phenolic acid, flavonoids and antioxidant activity of Algerian date cultivars [5]. In vitro the DPF has antimutagenic and antioxidant properties [6,7].

The aim of this study was to measure in vitro antioxidant activity

of four date palm fruit varieties grown in Touggourt-Ouargla (Algeria) (Gh, Cht, DB, Tns and Tnb respectively). We used the following three tests: (1) reducing power, (2) DPPH radical (DPPH_R) scavenging activity, and (3) cyclic voltammetry.

2. Material and Methods

2-1. Chemicals

Commercially available chemicals were used without any further purification. Ferric chloride FeCl₃, Fehling A and B, Hydrochloric acid (HCl), Ethanol C₂H₅-OH, Magnesium (Mg), chloroform CHCl₃, Sulfuric acid H₂SO₄, sodium hydroxide NaOH, Copper (II) sulfate CuSO₄, Acetic Acid CH₃COOH, Folin-Ciocalteu's phenol reagent, sodium carbonate Na₂CO₃, sodium nitrite NaNO₂, aluminum chloride AlCl₃, Gallic acid (GA), quercetin (QC), Ascorbic acid (AAsc), butylatedhydroxytoluene (BHT) C₁₅H₂₄O, butylatedhydroxyanisole (BHA) C₁₁H₁₆O₂, [K₃Fe (CN)₆], ferric chloride (FeCl₃), DPPH.

2-2. Collection and identification

Four different DPF cultivars, *Ghars* (Gh), *Chtaya* (Cht), *Degla Beïda* (DB) and *Timissine* (Tns), were harvested in October 2013.

2-3. Sample preparation and extraction

After washing with water and removing the seeds, the edible part of date was cut into small pieces using scissors and dried at room temperature. To extract antioxidants for all date cultivars, we used four different solvents as followed in [8], with slight modifications. 5 g of sample was mixed with 50 ml methanol/H₂O (8/2) for 24 h at room temperature. The mixture was centrifuged at 3500 × g for 15 min, and the supernatant was filtered and then evaporated. The extracted

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: chaima.rouissat@gmail.com

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

phenolics were recovered in a certain volume of methanol.

2-4. Preliminary phytochemicals screening

This screening was carried out with the methanolic and H₂O crude extracts using chemical methods according to the methodology given in [3].

2-5. Determination of TPC

TPC of the date extracts was identified using the Folin–Ciocalteu method [8]. The extract (200 µl) was mixed with 1.5 ml of Folin–Ciocalteu reagent (previously diluted 10-fold with distilled water) for 5 min at room temperature. 1.5 ml of aqueous Na₂CO₃ (60 g/l) was added and the mixture was vortexed and allowed to stand at room temperature. After 90 min, the absorbance was measured at 725 nm. The TPC was calculated from standard gallic acid curve and expressed as milligrams of gallic acid equivalents per 100 g of dry weight of date for three replicates (mg GAE/ 100 g DW).

2-6. Determination of TFC

TFC of the date extracts was measured according to the colorimetric assay [9], with slight modifications. 150 µl of the extract was added to 150 µl NaNO₂ (5%) followed by 300 µl AlCl₃ (10%). Test tubes were incubated at room temperature for 5 min, and then 1 ml of 1 M NaOH was added. The absorbance of the mixture was determined at 510 nm. TFC was determined from standard quercetin curve and expressed milligrams of quercetin equivalents per 100 g of dry weight of date for three replicates (mg QE/100 g DW).

2-7. Evaluation of antioxidant capacity spectrophotometrically

2-7-1. Ferric reducing power (FRP)

The reducing power of the solvent extract was determined by the method of [10], with slight modifications. Each extract (1 ml) was mixed with 2.5 ml of phosphate buffer (0.2 mol/l, pH 6.6) and 2.5 ml of K₃Fe (CN)₆ (1%). The mixture was incubated at 50 °C for 20 min. Then, 2.5 ml of 10% TCA was added to the mixture. 2.5 ml of solution was mixed with 2.5 ml of distilled water and 0.5 ml of 0.1% FeCl₃, and the absorbance was read at 700 nm against a blank. All analyses were carried out in triplicate. Reducing power was expressed mM as ascorbic acid equivalents antioxidant capacity (AEAC). BHA and BHT were used as standard controls. Increased absorbance of the reaction mixture indicates increased reducing power.

2-7-2. DPPH_R scavenging capacity

The free radical scavenging activity of the extract was measured in terms of hydrogen donating or radical scavenging ability using the stable free radical DPPH according to the method explained by [11], with slight modifications. 150 µl of Different concentrations of the extract was added to 3.0 ml 0.1 mM DPPH solution in methanol. After mixing vigorously the tubes were incubated in dark. After 30 min the absorbance was measured at 517 nm. IC₅₀ value (the concentration required to scavenge 50% DPPH free radicals) was calculated from

the concentration versus scavenging activity curve. BHT and BHA were used as positive control. The capability to scavenge the DPPH_R was calculated using the following equation:

$$\text{DPPH scavenging activity (\%)} = ((A_0 - A_1)/A_0) \times 100$$

where A₀ is the absorbance in the absence of sample and A₁ is the absorbance in the presence of the sample.

2-8. Evaluation of antioxidant capacity by electrochemical techniques

There are many studies that include this method [12,13]. Cyclic voltammetric (CV) measurements were performed using a Voltalab 40 model PGZ301 (Radiometer Analytical) potentiostat/galvanostat driven by a personal computer with Volta Master 4 software. The electrochemical cell (V = 25 ml) consists of three electrodes immersed in a solution containing the analyte and an excess of supporting electrolyte. A glassy carbon electrode (Ø 3.0 mm) as the working electrode, a platinum wire was used as the auxiliary electrode, and a saturated calomel electrode (SCE) as the reference electrode, respectively. The potential was swept in inverse scanning mode starting from 0 to -1.6 V with a scanning rate of 0.1 Vs⁻¹ to avoid reducing the sensitivity of the working electrode.

To estimate the total antioxidant capacity of the DPF extracts, we used the cyclic voltammetry following the method of Bourvellec, et al. [14] with slight modification. The effect of various extracts was checked by the method of the proportioned additions and the successive addition of 100 µl of initial solution of extract to the 25 ml oxygen solution in order to get an antioxidant substrate concentration in the range (0-0.010 g/l) Gh, (0-0.004 g/l) Cht, (0-0.006 g/l) DB and (0-0.008 g/l) Tns. After each aliquot addition, CV of the oxygen solution was recorded at a scan rate 0.1 Vs⁻¹. The total antioxidant capacity of scavenging on superoxide radical was calculated using the following equation:

$$\text{TAC\%} = \frac{I_{Pa}^0 - I_{Pa}^s}{I_{Pa}^0} \times 100$$

where I_{Pa}⁰ and I_{Pa}^s are the anodic peak current of O₂^{•-} oxidation with and without the DPF extracts.

2-9. Statistical analysis

All experiments were repeated three times. All values were expressed as mean and standard deviation. The difference between the values as analyzed by one-way analysis of variance (ANOVA).

3. Results and Discussion

3-1. Preliminary phytochemicals screening

The results of phytochemical screening of the DPF extracts showed the presence of carbohydrates, saponins, phenols and flavonoids, while alkaloids and terpenoids were absent as shown in Table 1.

Table 1. Phytochemical constituents of some ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.)

Tns	DB	Cht	Gh	Test
+	+	+	+	Phenols
-	-	-	-	Alkaloids
+	+	+	+	Saponins
-	-	-	-	Terpenoids
+	+	+	+	Flavonoids
+	+	+	+	Carbohydrates

+: Presence; -: Absence

3-2. Determination of TPC

The TPC of DPF varied from 154.291 to 278.698 mg gallic acid equivalents (GAE)/100 g dw sample) (Table 2). The highest TPC was obtained in Cht date and the lowest TPC was found in the Gh date. The order of TPC of DPF was: Gh < DB < Tns < Cht (Fig. 1). The present study showed that the Algerian date palm has a high phenolic content compared to the other studies, such as Biglari, AlKarkhi et al., 2.89~141.35 mg GAE/100 g DW [15], Mansouri, Embarek et al., 2.49~8.36 mg GAE/100 g FW [7].

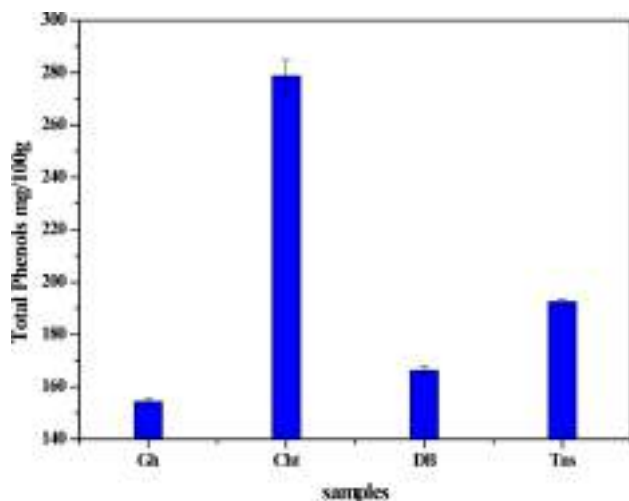
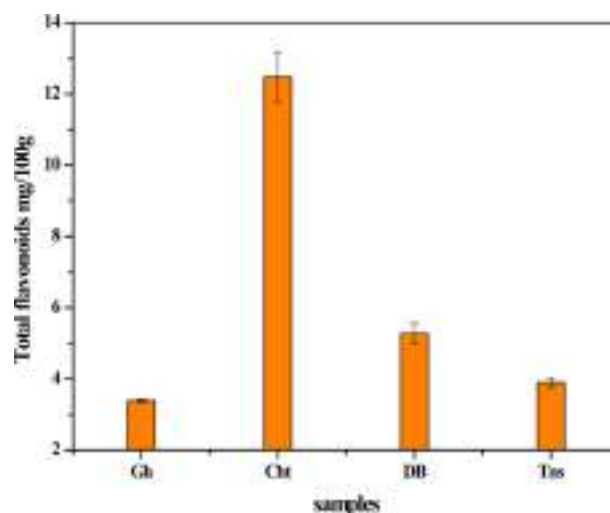
3-3. Determination of TFC

The TFC of DPF varied from 3.390 to 12.477 mg quercetin equivalents (QE)/100 g DW sample) (Table 2). The highest TFC was obtained in Cht date and the lowest TFC was found in the Gh date. The order of TFC of DPF was: Gh < Tns < DB < Cht (Fig. 2). The present study showed that the Algerian date palm has a low flavonoid content compared to the other studies, such as Biglari, AlKarkhi et al., 1.62~81.79 mg QE/100 g DW [15].

Table 2. Total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), and antioxidant activity in different DPFs samples

Superoxide anion radical scavenging activity IC50 (mg/ml)	DPPH radical scavenging activity IC50 (mg/ml)	AEAC (mM)	TFC (mg QE/100g DW)	TPC (mg GAE/100g DW)	Sample
0,009*	0.166±0.006*	5.863±0.094*	3.390±0.048*	154.291±1.416*	Gh
0,006	0,077±0.002	8.773±0.125	12.477±0.706	278.698±6.197	Cht
0,012	0,128±0.010	4.765±0.099	5.273±0.286	166.201±1.465	DB
0,007	0,181±0.034	7.638±0.216	3.892±0.148	192.512±0.750	Tns

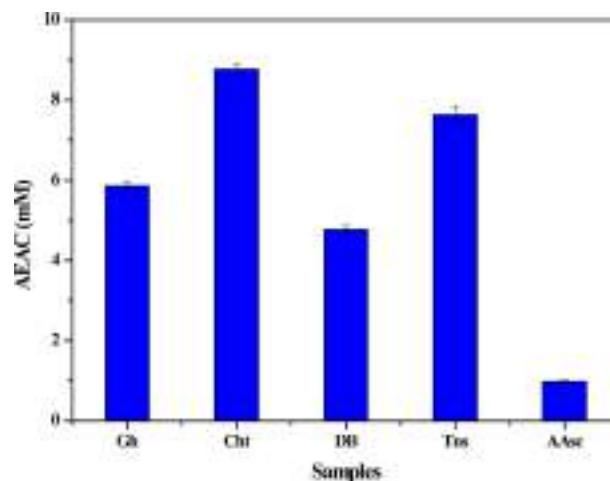
*Each value represents the mean and S.D. Statistical analysis was performed using the one-way ANOVA. *p < 0.01.

**Fig. 1. Total phenolic content (mg GAE / 100 g DW).****Fig. 2. Total flavonoid content (mg QE / 100 g DW).**

3-4. Evaluation of antioxidant capacity spectrophotometrically

3-4-1. Ferric reducing power (FRP)

The reducing power of a compound can be assessed by the reduction of Fe^{3+} of the ferric cyanide complex $[FeCl_3/K_3Fe(CN)_6]$ to the ferrous (Fe^{2+}) form [5] by donating an electron. [16]. The reducing properties are generally related to the presence of reductions, which have capacity to donate an electron to the free radicals and convert them into more stable state. The antioxidant activity expressed as AEAC value. AEAC results (Table 2) show that the extract of Cht variety (8.773 mM) is a more powerful antioxidant than the other extracts varieties.

**Fig. 3. AEAC values of ascorbic acid equivalents antioxidant capacity of extracts.**

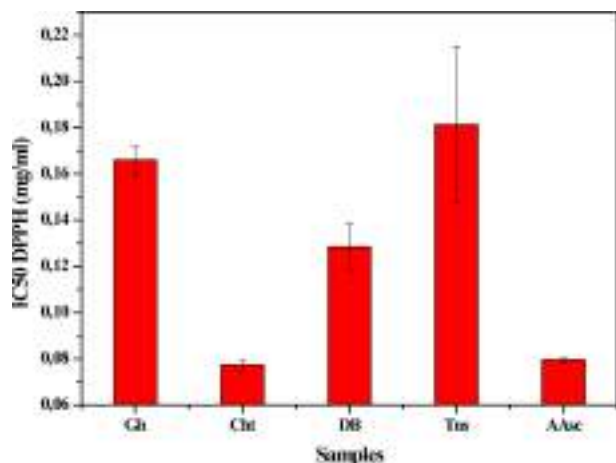


Fig. 4. IC50 values of DPPH assay for free radical scavenging activity of extracts.

3-4-2. DPPH_R scavenging capacity

DPPH, a stable radical, is used to evaluate samples' ability of providing protons. Absorbance at 517 nm decreased as DPPH radical was scavenged with a phenomenon that the solution color turned purple into light yellow. Radical was scavenged by antioxidants through

donation of hydrogen to form a stable DPPH molecule [17]. There is a positive correlation between antioxidant capacity and total phenol concentration in dates, which has been proven by several studies [18]. In the current study, the ability of test samples to scavenge DPPH radical was assessed on the basis of their IC50 values, defined above as concentration methanolic extracts of DPF to decrease the absorbance at 517 nm of DPPH radical solution to half of its initial value. Fig. 4 shows IC50 values of the methanolic extracts of DPF as described in Table 2. It can be seen from this table that IC50 values of methanolic extracts of DPF ranged from 0.077 to 0.181 mg/ml. The lowest value of IC50 (0.077 mg/ml) was detected in Cht variety and it corresponds to the highest antioxidant activity, while the highest value of IC50 (0.181 mg/ml) was detected in Tns variety. The values of IC50 in the other varieties extracts of DPF ranged from 0.128 to 0.166 mg/ml. The antioxidant activity in the methanolic extracts of DPF decreased in the order Tns < Gh < DB < Cht.

3-5. Evaluation of antioxidant capacity by electrochemical techniques

The obtained results (Fig. 5) show that in all addition of the extract causes a proportional decrease of O₂⁻ anodic peak current I_{pa}^s , while

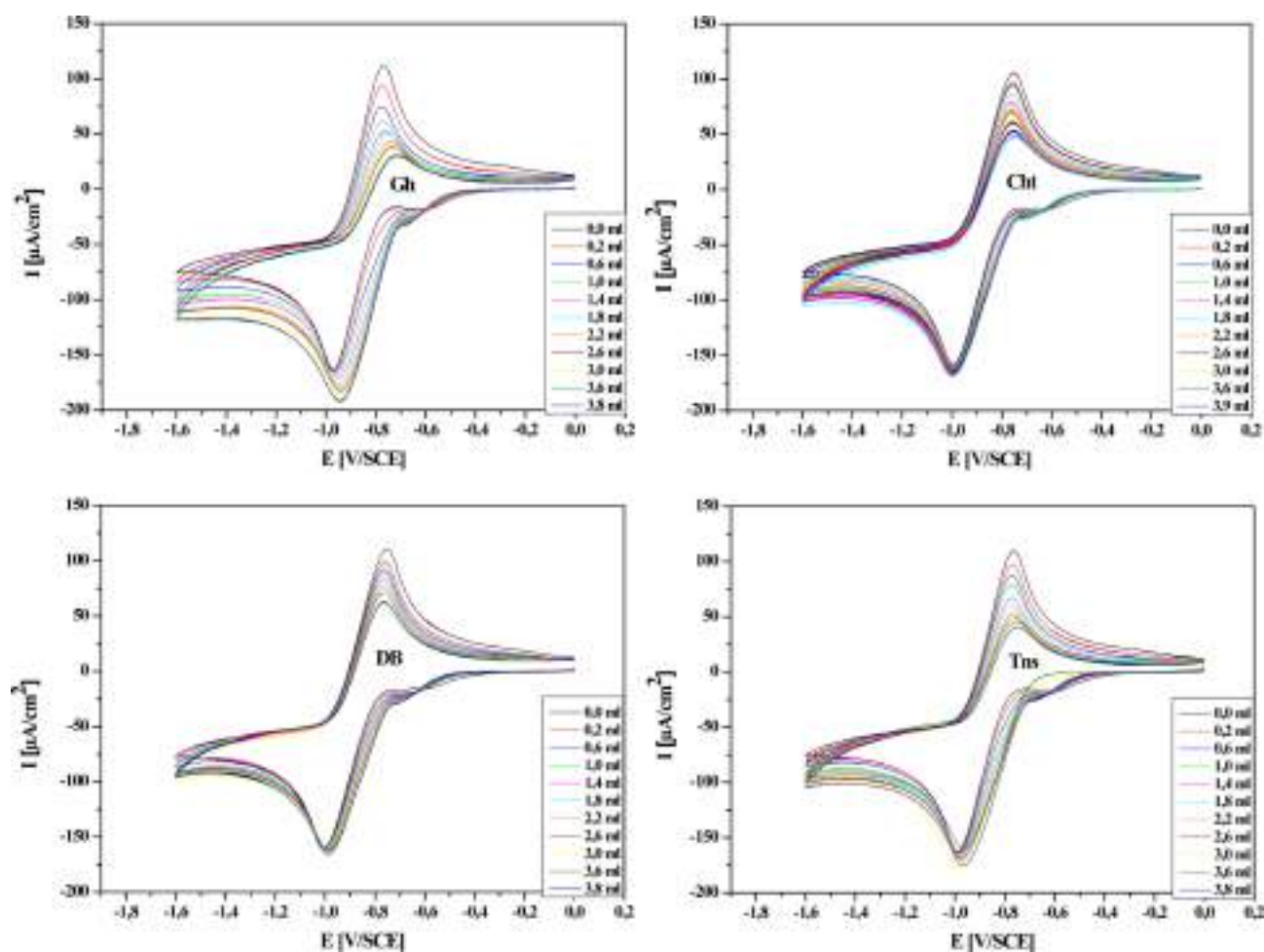


Fig. 5. Plotting of scavenging of superoxide anion of cyclic voltammogram against the corresponding concentration of DPF extracts. Operative condition: DMF + 0.1 M Bu₄NPF₆ on GC as working electrode vs. SCE at 28 °C with scan rate of 0.1 V/s.

the intensity of O_2 cathodic current appears to be fixed in the majority of the extracts (Fig. 5). The decrease of the anodic peak current of $O_2^{\cdot-}$ suggests that the polyphenol substrate reacts irreversibly with $O_2^{\cdot-}$.

As shown in Fig. 6, Cht methanolic extract exhibited the highest scavenging activity on superoxide anion radical than other date varieties. The activity of the antioxidant is often evaluated according to its IC50; it is defined by the concentration inhibiting the reaction by 50%. In this system, which were calculated from the linear regression of the % antioxidant activity versus extracts concentrations. Results are shown in Fig. 7 as described in Table 2. Lower values correspond to higher antioxidant activity. It can be seen from this table the IC50 values of Cht extract (0.006 mg/ml) showed an antioxidant capacity higher than other varieties' extracts. The antioxidant activity in the methanolic extracts of DPF decreases in the order DB < Gh < Tns < Cht. The results from this study are consistent with the study of Ghiaba [12], while it is better than the results of Amamra

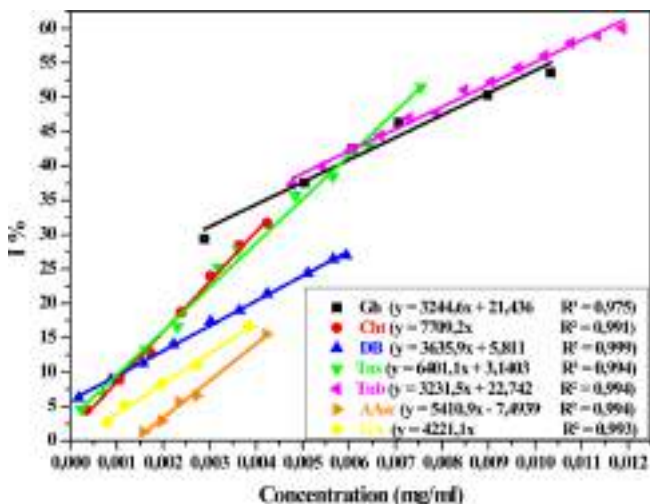


Fig. 6. Concentration-response plots for inhibition of the absorbance of Superoxide anion radical for DPF extracts.

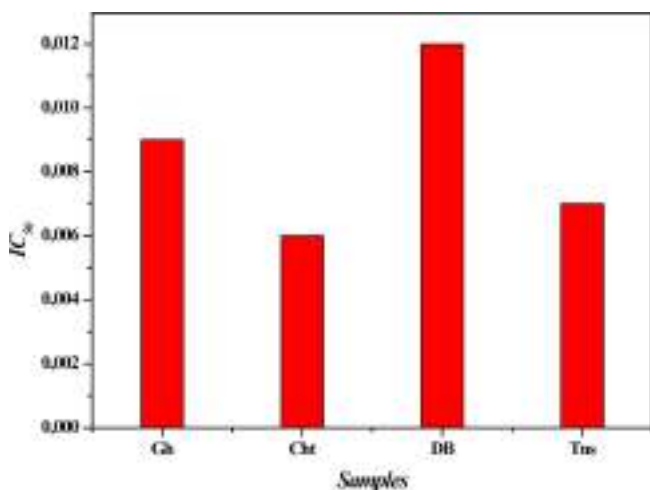


Fig. 7. IC50 values of DPPH assay for free radical scavenging activity of extracts.

[19]. These results are due to the presence of phenolic compounds that possess antioxidant activity [20-22] and scavenging of some reactive species, including hydroxyl [23] and superoxide radicals [12].

4. Conclusions

The phytochemical screening of the extracts showed the presence of different types of active constituents: phenols, flavonoids, saponins and carbohydrates. These compounds were present in all the four different date extracts. Both the spectrophotometrical (FRP and DPPH) and electrochemical assays suggest that the methanolic extracts of DPF show in vitro antioxidant activity by reducing power ability, inhibiting DPPH and superoxide anion radical, which may be due to presence of flavonoid and phenolic compounds found in the preliminary phytochemical screening. These results suggest that the DPF has important benefits to human health and could serve as a source of antioxidants with potential applications.

Acknowledgments

The authors would like to thank the director of laboratory V.P.R.S in University of Ouargla, director of laboratory V.T.R.S in University of El Oued and National Institute of Agronomic Research Touggourt-Algeria (INRAA).

References

1. El Hadrami, I., El Hadrami, A., *Breeding date palm*, Springer (2009).
2. Samad, M. A., Hashim, S. H., Simarani, K. and Yaacob, J. S., "Antibacterial Properties and Effects of Fruit Chilling and Extract Storage on Antioxidant Activity, Total Phenolic and Anthocyanin Content of Four Date Palm (*Phoenix dactylifera*) Cultivars," *Molecules*, **21**(4), 419(2016).
3. Zineb, G., Boukouada, M., Djeridane, A., Saidi, M. and Yousfi, M., "Screening of Antioxidant Activity and Phenolic Compounds of Various Date Palm (*Phoenix dactylifera*) Fruits from Algeria," *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, **5**(2), 119-126(2012).
4. Bensaci, C., Ghiaba, Z. and Saidi, M., "Effects of Extraction Solvents on Bound Phenolic Contents and Antioxidant Activities of Tantboucht dates (*Phoenix dactylifera* L.) from Algeria," *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, **7**(7), 27-31(2015).
5. Benmeddour, Z., Mehinagic, E., Meurlay, D. L. and Louaileche, H., "Phenolic Composition and Antioxidant Capacities of ten Algerian Date (*Phoenix dactylifera* L.) Cultivars: A Comparative Study," *Journal of Functional Foods*, **5**(1), 346-354(2013).
6. Vayalil, P. K., "Antioxidant and Antimutagenic Properties of Aqueous Extract of Date Fruit (*Phoenix dactylifera* L. *Arecaceae*)," *J. Agric. Food Chem.*, **50**(3), 610-7(2002).
7. Mansouri, A., Embarek, G., Kokkalou, E. and Kefalas, P., "Phenolic Profile and Antioxidant Activity of the Algerian Ripe Date Palm Fruit (*Phoenix dactylifera*)" *Food Chemistry*, **89**(3), 411-

- 420(2005).
8. Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Morris, A., Baron, M. and Shahidi, F., "Comparison of Antioxidant Activity, Anthocyanins, Carotenoids, and Phenolics of Three Native Fresh and Sun-dried Date (*Phoenix dactylifera* L.) Varieties Grown in Oman;" *J. Agric. Food Chem.*, **53**(19), 7592-9(2005).
 9. Kim, D.-O., Jeong, S. W. and Lee, C. Y., "Antioxidant Capacity of Phenolic Phytochemicals From Various Cultivars of Plums;" *Food Chemistry*, **81**(3), 321-326(2003).
 10. Kumaran, A. and Joel Karunakaran, R., "In vitro Antioxidant Activities of Methanol Extracts of five *Phyllanthus* Species from India;" *LWT - Food Science and Technology*, **40**(2), 344-352(2007).
 11. Govardhan Singh, R. S., Negi, P. S. and Radha, C., "Phenolic Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Free and Bound Phenolic Extracts of *Moringa Oleifera* Seed Flour;" *Journal of Functional Foods*, **5**(4), 1883-1891(2013).
 12. Ghiaba, Z., Yousfi, M., Hadjadj, M. and Saidi, M., "Study of Antioxidant Properties of Five Algerian Date (*Phoenix dactylifera* L) Cultivars by Cyclic Voltammetric Technique;" *International Journal of Electrochemical Science*, **9**(2), 909-920(2014).
 13. Etsassala, N. G., Waryo, T., Popoola, O. K., Adeloye, A. O., Iwuoha, E. I. and Hussein, A. A., "Electrochemical Screening and Evaluation of Lamiaceae Plant Species from South Africa with Potential Tyrosinase Activity;" *Sensors*, **19**(5), 1035(2019).
 14. Le Bourvellec, C., Hauchard, D., Darchen, A., Burgot, J.-L. and Abasq, M.-L., "Validation of a New Method Using the Reactivity of Electrogenerated Superoxide Radical in the Antioxidant Capacity Determination of Flavonoids;" *Talanta*, **75**(4), 1098-1103(2008).
 15. Biglari, F., AlKarkhi, A. F. M. and Easa, A. M., "Antioxidant Activity and Phenolic Content of Various Date Palm (*Phoenix dactylifera*) Fruits from Iran;" *Food Chemistry*, **107**(4), 1636-1641(2008).
 16. Amessis-Ouchemoukh, N., Abu-Reidah, I. M., Quirantes-Piné, R., Madani, K. and Segura-Carretero, A., "Phytochemical Profiling, In vitro Evaluation of Total Phenolic Contents and Antioxidant Properties of *Marrubium Vulgare* (horehound) Leaves of Plants Growing in Algeria;" *Industrial Crops and Products*, **61**(0), 120-129(2014).
 17. Ma, L., Chen, H., Zhu, W. and Wang, Z., "Effect of Different Drying Methods on Physicochemical Properties and Antioxidant Activities of Polysaccharides Extracted From Mushroom *Inonotus Obliquus*;" *Food Research International*, **50**(2), 633-640(2013).
 18. Matthäus, B., Woodhead Publishing Limited, 2010; 183-238.
 19. Amamra, S., Cartea, M. E., Belhaddad, O. E., Soengas, P., Baghiani, A., Kaabi, I. and Arrar, L., "Determination of Total Phenolics Contents, Antioxidant Capacity of *Thymus Vulgaris* Extracts Using Electrochemical and Spectrophotometric Methods;" *Int. J. Electrochem. Sci.*, **13**, 7882-7893(2018).
 20. Ivanišová, E., Tokár, M., Mocko, K., Bojňanská, T., Mareček, J. and Mendelová, A., "Antioxidant Activity of Selected Plant Products;" *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, **9**(5), 1692-1703(2020).
 21. Đorđević, N. O., Todorović, N., Novaković, I. T., Pezo, L. L., Pejin, B., Maraš, V., Tešević, V. V. and Pajović, S. B., "Antioxidant Activity of Selected Polyphenolics in Yeast Cells: The Case Study of Montenegrin Merlot Wine;" *Molecules*, **23**(8), 1971(2018).
 22. Metoui, M., Essid, A., Bouzoumita, A. and Ferchichi, A., "Chemical Composition, Antioxidant and Antibacterial Activity of Tunisian Date Palm Seed;" *Polish Journal of Environmental Studies*, **28**(1), (2019).
 23. Messaoudi, R., Abbeddou, S., Mansouri, A., Calokerinos, A. C. and Kefalas, P., "Phenolic Profile and Antioxidant Activity of Date-pits of Seven Algerian Date Palm Fruit Varieties;" *International Journal of Food Properties*, **16**(5), 1037-1047(2013).

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/344430507>

Date Palm Seed Extract as a Green Corrosion Inhibitor in 0.5 M HCl Medium for Carbon Steel: Electrochemical Measurement and Weight Loss Studies

Article in *International Journal of Electrochemical Science* · August 2020

DOI: 10.20964/2020.10.45

CITATIONS

2

READS

180

2 authors:



Nabaa Jasim

Universiti Kebangsaan Malaysia

2 PUBLICATIONS 3 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



N. K Othman

Universiti Kebangsaan Malaysia

128 PUBLICATIONS 1,112 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



norinsan kamil othman [View project](#)



welding effect [View project](#)

Date Palm Seed Extract as a Green Corrosion Inhibitor in 0.5 M HCl Medium for Carbon Steel: Electrochemical Measurement and Weight Loss Studies

*Naba Jasim Mohammed & Norinsan Kamil Othman**

Materials Science Program, Department of Applied Physics, Faculty of Science and Technology, University Kebangsaan Malaysia, 43600 B, Bangi, Selangor, Malaysia

*E-mail: insan@ukm.edu.my

Received: 2 June 2020 / Accepted: 27 July 2020 / Published: 31 August 2020

In this work, the corrosion inhibiting properties of date palm seed extract (DSE) for carbon steel in 0.5 M hydrochloric acid (HCl) solution has been investigated using several techniques, including weight loss measurement, potentiodynamic polarisation (PDP), and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). By adding the DSE concentrations in 0.5M HCl solution from 800 ppm to 2000 ppm, the inhibition efficiency (IE%) was improved with DSE concentration up to 1400 ppm. Highest IE% of 94 in weight loss, 92 in PDP, and 97 in EIS were all attained at an optimum DSE concentration of 1400 ppm. Further increasing the DSE concentration to 2000 ppm, IE% was shown to be decreased. Moreover, the PDP measurement indicated that DSE is a mixed-type inhibitor, affecting both cathodic and anodic partial reactions. From the Gas Chromatography and Mass Spectrometry (GC-MS) analysis, it was revealed that DSE is mainly composed of (wt.%) 36.0 lauric acid, 12.0 caprylic acid, and 10.7 myristic acid. This study revealed that DSE has it could serve as a green corrosion inhibitor for carbon steel in HCl medium.

Keywords: Date palm seed; green corrosion inhibitor; HCl; carbon steel; weight loss measurement; Potentiodynamic Polarisation (PDP) and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS).

1. INTRODUCTION

Hypernym Carbon steel or hyper-eutectoid steel is one of the exclusive choices of material used extensively in every part of the oil and gas industry, from production and processing to pipeline distribution and transportation facilities [1]. The study of carbon steel corrosion phenomena has gained much attention lately, particularly in acidic media due to the growing manufacturing applications of acid solutions. Acid solutions are widely used in many industries, with a required field of applications such as acid pickling of iron and steel, oil-well acidification, and petrochemical processes. Among the acid

media reported in the literature, hydrochloric acid (HCl) is one of the common generally acid-related factors in the pickling of metals, acidification of oil wells, and scales cleaning. The main downfall of using HCl media in all these processes is its inherently poor corrosion resistance and high corrosion rate during the acid treatment process [2]. The presence of corrosive acidic solution at high temperature and pressure environments makes carbon steel-based equipment/pipelines highly vulnerable to a variety of corrosion phenomena. It causes long-term destruction. [3].

Therefore, corrosion inhibitors are one of the standard practical approaches for defending on corrosion and have been used extensively during acid treatment cleaning. The main organic compounds in corrosion inhibitors are mostly heteroatoms, including oxygen, sulphur, and nitrogen, which can be easily absorbed on the steel surface and block active surface sites, decreasing the corrosion rate [4]. Although many industrial inhibitor compounds available up today demonstrated decisive anticorrosive action, however, the largest of it is still very toxic to both human lives and the environment. Thus, the search for environmentally friendly products as corrosion inhibitors has become a new key research area. The desirable vital properties of a renewable and sustainable corrosion inhibitor chemicals must be biodegradable, bio accumulative, and environmentally friendly.

Recently, many researchers have reported a myriad of environmentally friendly corrosion inhibitors developed from plant extracts. Plant extract makes up a substantial class of naturally synthesised corrosion inhibitors aggregates that can be easily extracted from a relatively straightforward procedure at a low in terms of cost. Yet, they are renewable, biodegradable, readily accessible, and harmless to human beings and environments. [5]. An outsized of official papers related to the growth of green corrosion inhibitors in an acidic solution for steel have been published, such as *Lanea coromandelica* leaf has an IE% of 88 at 250 mg/L. [6], *Tabernaemont-ana divaricate* an IE% of 95 at 500 mg/L[7], alkaloid extracts from *tinctoria* and *G. ouregou* has an IE% of 88 at 250 mg/L[8], the extracts from *morus alba*, *pendula* leave has an IE% of 93 at 4000 mg/L[9], bark extracts has an IE% of 79 [10], the extract from quinoline derivatives has an IE% of 97 at 150 mg/L[11]. The extract from *Curcumin Longa* has an IE% of 89 at 100 ppm in HCl medium[12]. The extract of *Kalanchoe Blossfeldina* has an IE% of 87 at 300 ppm[13], *atenolol* drug has an IE% of 94 at 300 mg/L[14], *Rollinia occidentalis* has an IE% of 86 at 1000 ppm[15], Polysaccharide extract from *Plantago* has an IE% of 93 at 1000 ppm[16], 700ppm of *bauhinia tomentosa* leaves has an IE% of 94[17]. Extract of *Saraca Ashoka* has an IE% of 93 at 100 ppm [18], *Red Algae Halopitys Incurvus* has a maximum IE% of 87 at 600 mg/L[19]. 600 ppm of *Cinnamomum* extract has an IE% of 81 [20], *Henna* Extract has an IE% of 83 at 300 ppm[21]. Extract of *Vigna unguiculata*, *Coat* has an IE% of to 84 at 5000 mg/L[22]. Extract of *Gongronema latifollium* has an IE% achieved to 87 at 1000 mg/L[23]. *Thymus satureioides* essential oil has an IE% was 89 at 1500 mg/L[24], and the extract of *Chamaerops humilis* L. fruit extract has a maximum IE% was 79 at 1000 mg/L[25].

Date trees (*Phoenix dactylifera*) are mainly grown along the Mediterranean coast in North Africa and Arab countries such as Saudi and Iraq. Spain is the only European country where it is built to pass successfully. Date fruits are edible, but the seeds are inedible for humans. Hence, it is most appropriate to utilise the seeds for the production of corrosion inhibitors, which has the potential to replace some organic and inorganic chemical corrosion inhibitors, which are dangerous, harmful, and toxic to humans and the environment. Furthermore, the date palm has been reported to be useful to human health and

treatment for sore throats, bronchial catarrh, colds, fever, and gonorrhoea. In the literature review, date palm leaf extract has been used as a corrosion inhibitor in HCl for carbon steel, and an IE% of 80 was successfully demonstrated [26]. Other authors also reported on the anti-corrosion properties of palm fruit extract in NaCl medium, and a maximum IE% of 72 was demonstrated at a concentration level of 2000 ppm for aluminium alloy[27]. In this work, date seeds were used and extracted in an aqueous solution to synthesise a new class of natural plant-based corrosion inhibitors. The IE% of date palm seed extract (DSE) for carbon steel in 0.5M HCl was measured using weight loss measurement, potentiodynamic polarisation (PDP), and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) techniques. Furthermore, the corrosion inhibiting activity of DSE was examined in detail from the anodic and cathodic kinetics. Lastly, the chemical composition of extract compounds was analysed and determined using GC-MS analysis.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Plant extraction and inhibitor preparation

Date palm seeds used in this study were collected from Baghdad/Iraq. The seeds were firstly washed with water and sun-dried for a few days before further drying in an oven for 20 – 30 min at 40 – 50°C. The dried date seeds were grounded mechanically into powder form. In a typical DSE extraction, 10g of dried date seed powder was mixed with 1L of 0.5M HCl solution. The solution was then heated up to 50 °C using a hot plate under continuous magnetic stirring for 15h [28]. After 15h, the solution was filtered to eliminate particles of solid suspension before evaporated in a rotary evaporator under reduced pressure. Finally, the extract was diluted with 0.5M HCl to prepare a series of inhibitor stock solutions with different DSE concentrations (800, 900, 1400, and 2000 ppm).

2.2. Preparation of carbon steel

The chemical compounds of carbon steel (wt. %) composed of Fe 99.3, Mn 0.5, P 0.04 C 0.12, S 0.045. The carbon steel was mechanically cut into 2 cm x 2 cm x 2.27 cm dimensions followed by surface abrasion using silicon-carbide paper with #320 - #1200 grades. The clean carbon steel sample was washed with distilled water before stored in a moisture-free dryer box for further use. [29].

2.3. Weight loss measurement

The carbon steel samples were fully immersed in a beaker containing 120 ml of test medium (0, 800, 900, 1400, 2000 ppm). The average reading recorded from three samples were taken from a digital balance, and the nearest reading was rounded up to 3 significant numbers. The carbon steel sample was weighted before immersed in the acid solution. The weighted carbon steel samples were then suspended in different concentrations of the test solution at 25 °C for 72 h. After 72 h, the corrosion test was performed on each sample from the test solution and immersed for 10min in a cleaning solution to

remove the corroded products before reweighted again [30]. From the weight loss measurement, the corrosion rates were determined by applying the equation (1)[31]:

$$C_r(\text{mm}\cdot\text{y}^{-1}) = \frac{87600 \times \Delta W}{\rho T A} \quad (1)$$

Where C_r is the corrosion rate, ΔW is the difference between first and final weight for the samples (weight loss), where ρ is the carbon steel density, and A is the surface area of carbon steel (cm^2), while T is the immersion time per hour (h). IE% of DSE was determined by using the equation. (2)[32]:

$$IE\% = \left(\frac{C_{r_{blank}} - C_{r_{inh}}}{C_{r_{blank}}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Where $C_{r_{blank}}$, $C_{r_{inh}}$ is the corrosion rates without/with inhibitor, sequentially. The surface coverage degree (θ) was determined by applying this formula (3)[24]:

$$\theta = \left(\frac{C_{r_{blank}} - C_{r_{inh}}}{C_{r_{blank}}} \right) \quad (3)$$

2.4. Electrochemical measurements

EIS and PDP measurements were conducted to ascertain the corrosive action for carbon steel with/without DSE in 0.5 M HCl using Gamry potentiostat-ZAR Reference-3000, which was connected to the software. The potentiostat was connected to three-electrode cell. Saturated calomel electrode (SCE) was used as a reference electrode. Graphite was used as a counter electrode. Carbon steel was used as the working electrode with an uncovered area of 1cm^2 . The working electrode was placed near to the reference electrode without any contact occurring between the electrodes. PDP curves were created by changing the potential electrode from -250 to $+250$ mV, opposing the open circuit potential (E_{corr}) at a scan rate of 1mVs^{-1} . EIS test was also conducted to understand the kinetic and quality of electrochemical procedures in a 0.5 M HCl medium for carbon steel. The carbon steel was immersed in an examination solution for half an hour at open circuit potential (OCP) to achieve a steady-state condition. Electrochemical impedance spectroscopy measurements (EIS) were completed at free open circuit potential (OCP). The range of frequency zone started with 100000 Hz to 0.01 Hz, with 17 points per hertz decade and alternating current (AC) voltage amplitude of ± 10 mV. Moreover, software programs controlled the measurements made on the rest potentials at 25°C automatically. From the PDP measurement, IE% of the inhibitors was measured based on the value of polarisation resistance from the following equation (4)[33]:

$$IE\% = 1 - \left(\frac{I_{\text{corr}}}{I_{\text{corr}}^0} \right) \times 100\% \quad (4)$$

Inhibition efficiency percentage (IE%) of EIS data were calculated by comparing the charge transfer resistance values with/without DSE using equation (5):

$$IE\% = \left(\frac{R_{ct} - R_{ct}^{\circ}}{R_{ct}} \right) \times 100\% \quad (5)$$

2.5. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

The chemical composition of DSE was analyzed using a gas chromatograph-mass spectrometer (GC-MS). The GC-MS was conducted using an Agilent 7890A gas chromatograph (GC) coupled with a mass spectrometer system (MS) of an Agilent 5975C inert Mass Selective Detector (MSD) among triple-axis detector, model DB-5MS UI, length(L) 30m while the film thickness 0.25 μ m and Diameter 0.25mm. The MSD Chemstation was employed to obtain the peaks in the GC raw. The operating conditions of GC-MS are recorded in Table 1.

Table 1. GC-MS instrument control parameters used to examine the DSE.

GC		MS	
Carrier gas	Helium	Transfer line temperature	250°C
Inlet temperature	280°C	Source temperature	220°C
Mode split-less	Flow	Solvent delay	6.00 min
Injection volume	1 μ L	Low mass	45.0
Injection type	Standard	High mass	600.0
Average velocity	36.445 cm/sec		
Pressure	7.6522 psi		
Run time	5.03 min		

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Weight loss measurements

To investigate the effect of DSE concentrations on IE% and Cr for carbon steel in 0.5M HCl, the weight loss of carbon steel sample was held after 72h immersion time. Figure 1 illustrates the effect of IE% and Cr as a function of DSE concentrations (ppm). From Figure 1, DSE exhibited excellent corrosion inhibiting properties as all DSE extract concentrations were capable of inhibiting the corrosion activity of carbon steel in 0.5M HCl. Table 2 presents the weight loss of carbon steel in 0.5M HCl. From Table 2, both ΔW and Cr parameters vary inversely. IE% improved considerably with increasing DSE concentration up to an optimum DSE concentration of 1400 ppm. The Cr parameter was found to be declined significantly from 2601 mm^{-1} to 152 mm^{-1} after 1400 ppm, and the corresponding optimum IE% was determined as 94. When the DSE concentration increased further to 2000 ppm, IE% decreased slightly to 93. This could be because the mild dissolution of excess molecular hydrogen gas in HCl

medium and the permeation of molecular hydrogen through the steel membrane, causing a small loss of collected molecular hydrogen. Therefore, IE% value was found to be reduced at high inhibitor concentration. This trend is in great harmony with other similar works summarized in the literature [34].

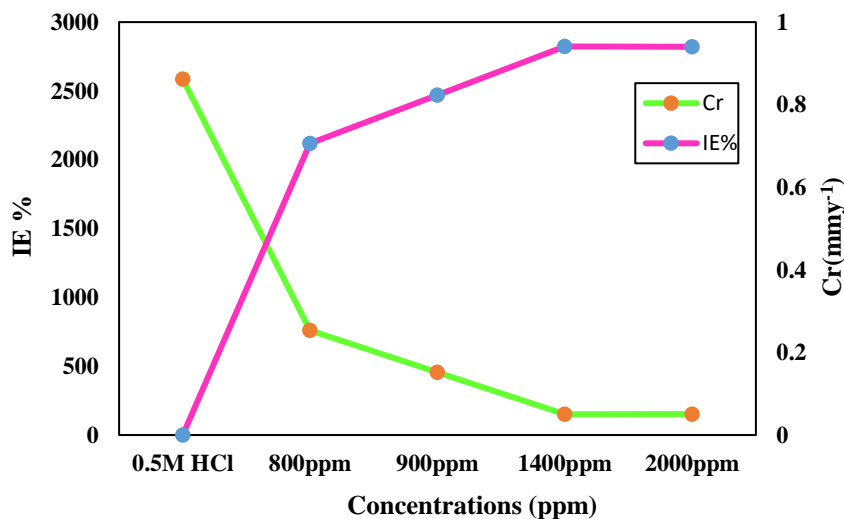


Figure 1. Corrosion rate C_r and inhibition efficiency IE% in 0.5M HCl for carbon steel with respect to DSE concentrations from 0.5M HCl – 2000 ppm.

Table 2. Weight loss of carbon steel in 0.5M HCl at 0.5M HCl-2000 ppm DSE after 72h immersion time.

Concentrations (ppm)	ΔW (mg)	C_r (mm·y ⁻¹)	θ	IE%
0.5M HCl	171	2601	-	-
800ppm	50	760	0.71	71
900ppm	30	456	0.82	82
1400ppm	10	152	0.94	94
2000ppm	11	167	0.93	93

3.2. Electrochemical test

3.2.1. Potentiodynamic-polarization (PDP)

Potentiodynamic studies were performed to investigate the anodic and cathodic reactions progress ($2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2$), ($Fe \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2e$) [35]. Figure 2 indicates the PDP curves in 0.5M HCl for carbon steel. Figure 2 shows that the anodic metal dissolution and cathodic-hydrogen development evolution were inhibited in the presence of DSE. The parameters obtained from the polarisation experiments, including corrosion current density (I_{corr}), corrosion potential (E_{corr}), cathodic Tafel slope (β_c), and anodic Tafel slope (β_a) are presented in Table 3. From Table 3, the I_{corr} parameter decreased with an increase of inhibition concentration up to 1400 ppm. On the other hand, IE% also improved as

DSE's concentration level increased from 800 ppm to 1400 ppm, reaching a maximum IE% of 92. On a further increment extraction to 2000 ppm, IE % started to decrease slightly.

The slight shift of cathodic Tafel slope β_c can be explained due to the influence of inhibitor compounds on the kinetics of hydrogen-evolution in the presence of the DSE inhibitor. Whereas, the changes of anodic Tafel slope β_a values could be attributed to the adsorption of DSE molecules onto the carbon steel surface and blocking the active surface sites. Furthermore, the E_{corr} of carbon steel was observed to shift towards less negative values. when the movement in E_{corr} value is more than 85 mV, the inhibitor can be categorized as an anodic or cathodic inhibitor [36]. From our results, the inhibitor did not shift the E_{corr} values significantly, and thus, the DSE can be concluded as a mixed type inhibitor. These outcomes are in accord with those observed in earlier studies [37].

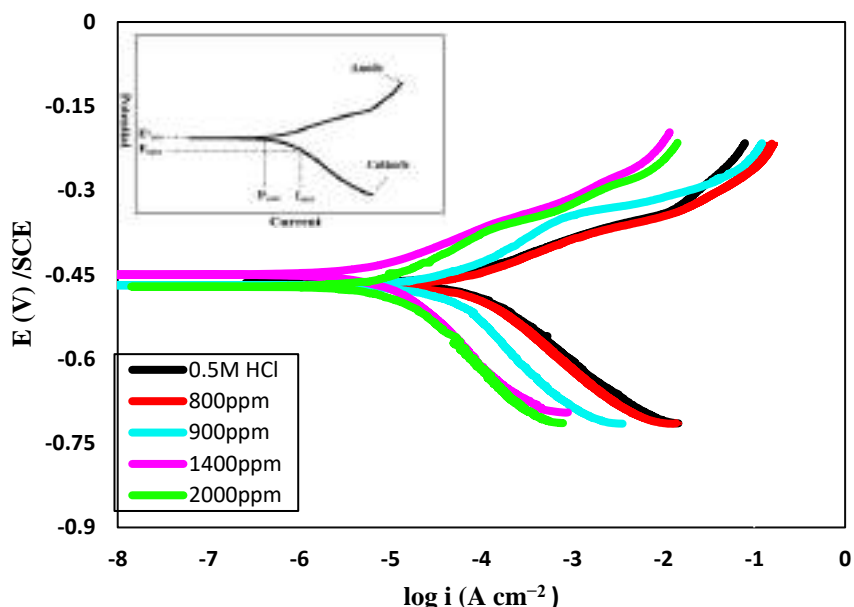


Figure 2. Polarisation curve for carbon steel in 0.5 M HCl with several concentrations of DSE.

Table 3. Polarisation parameters for carbon steel in 0.5M HCl with several concentrations of DSE.

concentrations	I_{corr} ($\mu A cm^{-2}$)	E_{corr} (mV/SCE)	B_a (mV/dec)	B_c (mV/dec)	IE%
0.5M HCl	84	-464	80	126	-
800ppm	30	-470	60	119	64
900ppm	20	-469	65	123	76
1400ppm	7	-450	67	138	92
2000ppm	8	-471	134	73	91

3.2.2. Electrochemical-impedance spectroscopy (EIS)

EIS was performed to identify the dynamic characteristics and electrochemical procedures of carbon steel in HCl medium and provide a clear elucidation on how DSE inhibitor compounds modified

them. Figure 3(a) and (b) show the Nyquist plot and Bode plot sequentially with/without DSE. The width of the capacitive loop becomes more extensive when the concentration level of DSE is increased up to 1400 ppm. The Nyquist plot is connected to R_s , which is the solution resistance, and the low-frequency catch with the real axis ascribed to the R_{ct} , which is the charge transfer resistance [38]. The Nyquist plot consists of one capacitive curve in the high-frequency zone, which linked to the one time constant in the Bode plot [39]. Figure 3(c) illustrates the electrochemical equivalent circuit that applied to analyze the EIS result. It contains R_s among the moving electrode and a reference electrode. In contrast, R_{ct} is the charge among metal and outside, and CPE is the constant phase factor.

IE% values were calculated using equation 5, and the values are displayed in Table 4. The result showed that IE% improved significantly with developing concentrations of DSE up to 1400 ppm with a maximum IE% of 97. Then, IE% decreased considerably at 2000 ppm.

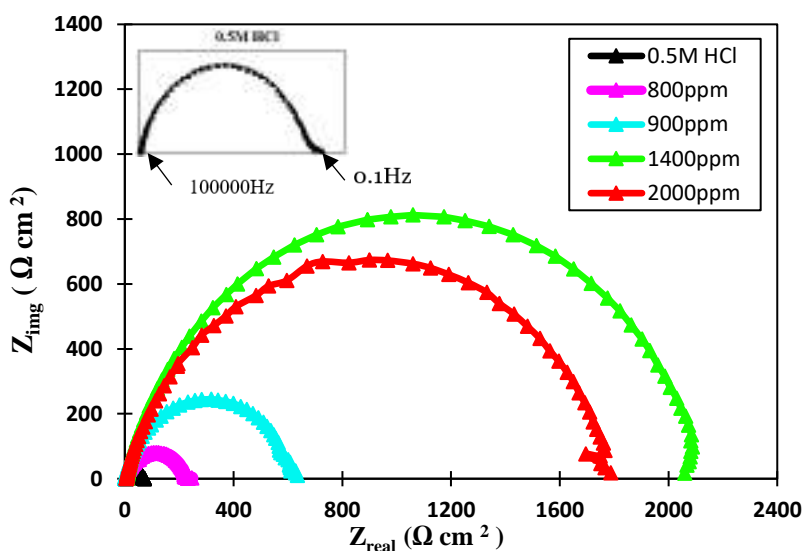


Figure 3(a). Electrochemical Impedance Nyquist plot for carbon steel with different concentrations of DSE.

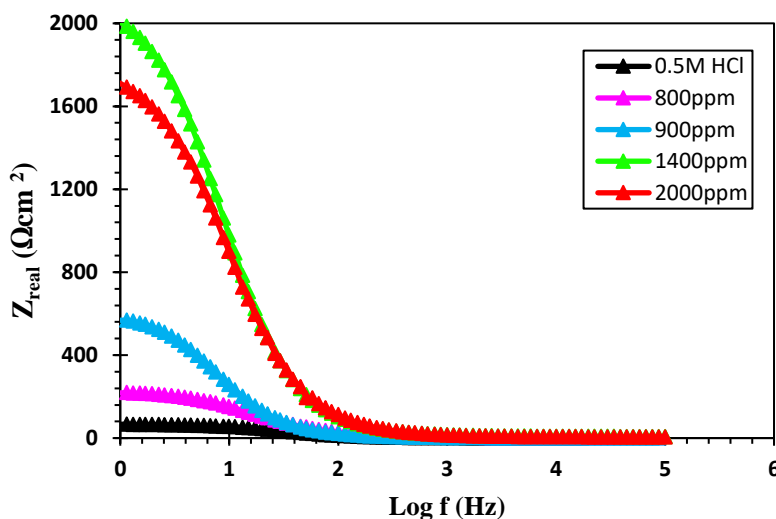


Figure 3(b). Electrochemical Impedance Bode plot for carbon steel in 0.5 M HCl with several concentrations of DSE.

The undesirable bonding interactions can explain this among the adsorbed molecule on the steel surface and the freely moving molecules that occupied at the interface of inhibitors solution. The freely mobile inhibitor molecules interrupt the ionic bonding between the absorbed molecules and the steel surface. The freely molecules pull away from the adsorbed molecules from the steel surface with their steric hindrance and repulsive forces. This subsequently caused little inhibitor molecules available on the metal surface, protecting it from corrosion activity and leads to a decrease in IE%. Table 5 compares some of the parameters and IE% values achieved from three techniques (weight loss, PDP, and EIS). One can notice that IE% values are very much consistent with each other's and share a similar optimum DSE concentration level at 1400 ppm. Table 6 also compares the IE% values of DSE and other plant extracts used as corrosion inhibitors for different steel in HCl medium at place temperature.

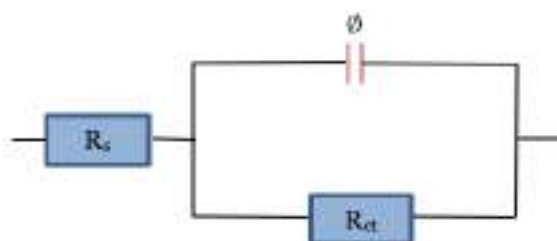


Figure 3(c). Equivalent circuit parameters applied to fitting experimental data.

Table 4. Electrochemical Impedance parameters for carbon steel in 0.5M HCl with different concentrations of DSE.

concentrations	R_{ct} ($\Omega \text{ cm}^2$)	R_s ($\Omega \text{ cm}^2$)	IE%
0.5M HCl	66	622	-
800ppm	228	1	71
900ppm	607	626	89
1400ppm	2098	7	97
2000ppm	1771	5	96

Table 5. A comparison of the IE% results from three methods (weight loss, PDP, EIS).

concentrations	Weight loss		PDP		EIS	
	C_r (mmy^{-1})	IE%	I_{corr} (μAcm^{-2})	IE%	R_{ct} (Ωcm^2)	IE%
0.5M HCl	2601	-	84	-	66	-
800ppm	760	71	30	64	228	71
900ppm	456	83	20	76	607	89
1400ppm	152	94	7	92	2098	97
2000ppm	167	93	8	91	1771	96

Table 6. Comparing of corrosion IE% values of DSE with different plants extracts for various steel in HCl medium.

Plant	Steel type	Concentration	Immersion time for weight loss test	Weight loss	PDP	EIS	Reference
				IE%	IE%	IE%	
Date palm seeds extract	Carbon steel	1400ppm	72h	94	92	97	This work
Tabernaemont-ana divaricate extract	Carbon steel	500ppm	2h	95	91	89	[7]
Curcumin longa oil extract	Al	100ppm	3h	89	89	88	[12]
rollinia occidentalis extract	Carbon steel	1000ppm	3h	72	86	80	[15]
Polysaccharide from plantago	Carbon steel	1000ppm	6h	89	93	94	[16]
Bauhinia tomentosa leaves extract	Mild steel	700ppm	2h	93	94	93	[17]
Red algae extract Halopitys incurvus extract	Carbon steel	600ppm	6h	82	87	88	[19]
Cinnamomum extract	Carbon steel	600ppm	3h	80	81	73	[20]
Henna extract	Carbon steel	300ppm	3h	82	83	80	[21]
Vigna unguiculata, Coat extract	Mild steel	5000ppm	24h	87	84	83	[22]
Gongronema latifolium extract	Mild steel	1000ppm	24h	91	87	92	[23]
Thymus satureioides essential oil extract	Mild steel	1500ppm	6h	90	89	87	[24]
Chamaerops humilis L. fruit extract	Mild steel	1000ppm	6h	88	79	78	[25]
Date Palm leaf extract	Mild steel	2000ppm	24h	91	80	88	[26]

3.3. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

Figure 4(a) presents the fatty acid compositions of DSE obtained from GC/MS. Gas chromatography (GC) is the method widely applied to identify the quantification of non-polar group products. Table 7 presents ten fatty acid peaks and their respective weight (%). Lauric acid is indicated as peaks 1, 5, 7, and 9. The analysis showed that the total fatty acid composition in DSE was more than 80.0%. Figure 4(b) depicts the fatty acid concentrations in terms of percentage. Lauric acid is the primary fatty acid compound with the highest percentage (wt. %) of 36.0, followed by caprylic acid 12.0, myristic acid 10.7, oleic acid 9.3, phthalic acid 8.7% and lastly palmitic acid 3.0. This is in excellent harmony with the previous work reported in the literature [40]. The chemical structure of DSE was identified through a stable spectral library structure, as shown in Figure 4(c). From Figure 4(c), one can be observed that a variety of covalent bonds involving the transfer of electrons from the inhibitor to the metal surface are formed. The intensity of the chemisorption bond is governed by the electron density of the functional-group and polarizability group linked to the donor atom. Electron-donating substituents like (-CH) improves the availability of donor electrons at the steel surface, forming an enhanced protection layer. Molecular structure with more than nine carbon atoms such as lauric acid, myristic acid, oleic acid, and palmitic acid has a better corrosion IE% due to the tremendous effort in these rings, which can be relieved from the development of a robust chemisorption bond on the steel surface [41].

Table 7. The fatty acid compositions of DSE

Peak	Identified compounds	Formula	Weight (%)
1	Lauric acid	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	17.8
2	Myristic acid	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	10.7
3	Oleic acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	9.3
4	Phthalic acid	C ₈ H ₆ O ₄	8.7
5	Lauric acid	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	8.0
6	Caprylic acid	C ₈ H ₁₆ O ₂	7.0
7	Lauric acid	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	6.5
8	Caprylic acid	C ₈ H ₁₆ O ₂	4.8
9	Lauric acid	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	3.7
10	Palmitic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	3.0

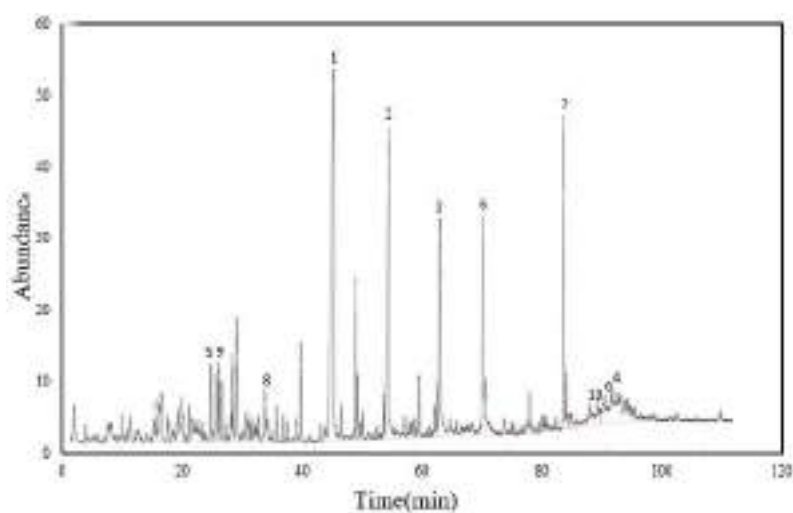


Figure 4(a). Diagram of DSE by GC-MS.

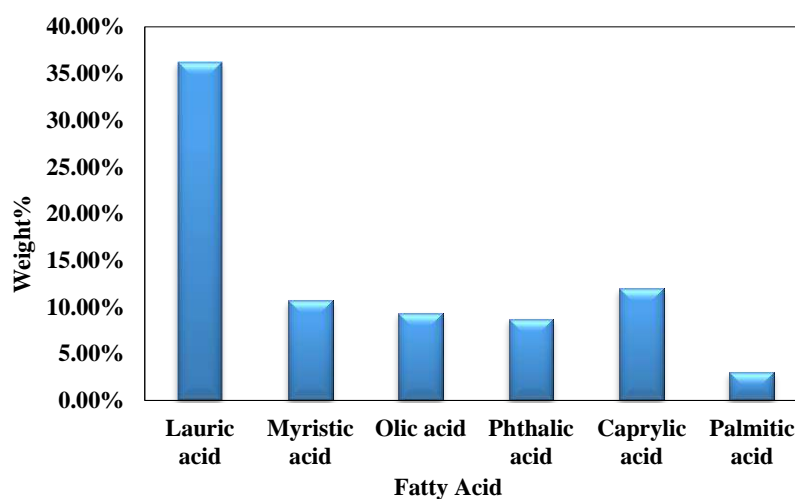


Figure 4(b). Fatty Acid type as a function of concentrations in DSE.

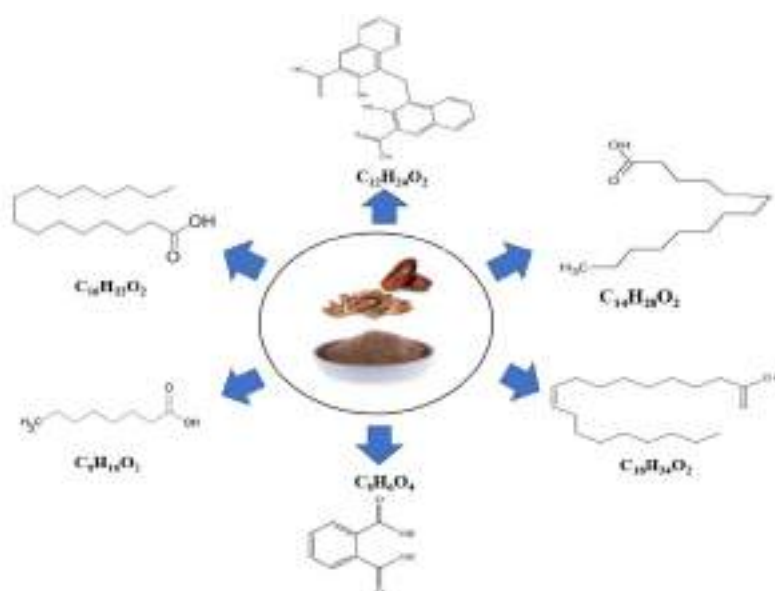


Figure 4(c). Fatty acid structures of DSE

4. CONCLUSION

In this work, DSE extract excellent corrosion inhibiting properties in 0.5M HCl for carbon steel. From the results, the highest IE% was obtained at an optimum DSE concentration of 1400 ppm with weight loss, PDP, and EIS measurements of 94, 92, and 97, respectively. Besides, DSE inhibitors were found to be capable of inhibiting the carbon steel corrosion activity by blocking the active position and reducing the corrosion rates. Apart from that, the DSE inhibitor is a mixed type inhibitor because the difference of E_{corr} values before and after adding the inhibitor was less than 85 mV. From the GC-MS results, DSE mainly composed of (wt. %) lauric acid 36.0, caprylic acid 12.0, myristic acid 10.7, oleic acid 9.3, phthalic acid 8.7 and palmitic acid 3.0.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank The National University of Malaysia (UKM) and DNV GL for providing the experimental facilities and financial support to conduct this research project using the grant numbers of ST-2018-015 and DIP-2018-032.

References

1. A. Fattah-alhosseini, M. Noori, *Measurement*, 94 (2016) 787.
2. P.M. Dasami, K. Parameswari, S. Chitra, *Measurement*, 69 (2015) 195.
3. K.R. Ansari, M.A. Quraishi, A. Singh, *Measurement*, 76 (2015) 136.
4. A.S. Fouda, S.A. Abd El-Maksoud, M.S. Zoromba, A.R. Ibrahim, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 6 (2017) 428.
5. NK. Othman, S. Yahya, D.A. Awizar, *Sains Malaysiana*, 45 (2016) 1253.
6. P. Muthukrishnan, B. Jeyaprabha, P. Prakash, *Arab. J. Chem.*, 10 (2017) S2343.
7. K. Rose, B. Kim, K. Rajagopal, S. Arumugam, K. Devarayan, *J. Mol. Liq.*, 214 (2016) 111.
8. A. Lecante, F. Robert, P.A. Blandinières, C. Roos, *Curr. Appl. Phys.*, 11 (2011) 714.
9. M. Jokar, T.S. Farahani, B. Ramezanzadeh, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 63 (2016) 436.
10. N. Chaubey, Savita, V.K. Singh, M.A. Quraishi, *J. Assoc. Arab Univ. Basic Appl. Sci.*, 22 (2017) 38–44.
11. P. Singh, V. Srivastava, M.A. Quraishi, *J. Mol. Liq.*, 216 (2016) 164.
12. NK. Gupta, M.A. Quraishi, P. Singh, V. Srivastava, K. Srivastava, C. Verma, A.K. Mukherjee, *Anal. Bioanal. Electrochem.*, 9 (2017) 245.
13. S.Y. Al-Nami, A.E.A.S. Fouda, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 15 (2020) 535–547.
14. NK. Gupta, C.S.A. Gopal, V. Srivastava, M.A. Quraishi, *Int. J. Pharm. Chem. Anal.*, 4 (2017) 8.
15. P.E. Alvarez, M.V. Fiori-bimbi, A. Neske, S.A. Brandán, C.A. Gervasi, *J. Ind. Eng. Chem.*, 58 (2017) 92.
16. M. Mobin, M. Rizvi, *Carbohydr. Polym.*, 160 (2017) 172–183.
17. S. Perumal, S. Muthumanickam, A. Elangovan, R. Karthik, K.K. Mothilal, *J. Bio-and Tribo-Corrosion*, 3 (2017) 13.
18. A. Saxena, D. Prasad, R. Haldhar, G. Singh, A. Kumar, *J. Mol. Liq.*, 258 (2018) 89.
19. T. Benabbouha, M. Siniti, H. El Attari, K. Chefira, F. Chibi, R. Nmila, H. Rchid, *J. Bio-and Tribo-Corrosion*, 4 (2018) 39.
20. A. Foda, H. Mosallam, A. El-Khateeb, M. Fakhri, *Prog. Chem. Biochem. Res.*, 2 (2019) 120.
21. A.S. Fouda, M.M. Hegazi, A. El-Azaly, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 14 (2019) 4668.
22. N.K. Kikanme, A.O. James, N.C. Ngobiri, *J. Mater. Sci. Res. Rev.*, 5 (2020) 7.
23. C.O. Akalezi, C.E. Ogukwe, E.A. Ejele, E.E. Oguzie, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 5 (2016) 232.

24. A. Boukhraz, A. Chaouik, R. Salghi, H. Elhartiti, N. Saouide, *Int. J. Corros. SCALE Inhib.*, 8 (2019) 291.
25. G. Fekkar, F. Yousfi, H. Elmsellem, M. Aiboudi, M. Ramdani, I. Abd, B. Hammouti, L. Bouyazza, *Int. J. Corros. SCALE Inhib.* (2020) 446.
26. S.A. Umoren, Z.M. Gasem, I.B. Obot, *Anti-Corrosion Methods Mater.* (2015).
27. H. Gerengi, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 51 (2012) 12835.
28. D.A. Awizar, N.K. Othman, A. Jalar, A.R. Daud, I.A. Rahman, N.H. Al-Hardan, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 8 (2013) 1759–1769.
29. S. Yahya, N.K. Othman, M.C. Ismail, *Eng. Fail. Anal.*, 100 (2019) 365.
30. A. Gl, *ASTM Int. Lggg* (2003).
31. M.K. Pavithra, T. V Venkatesha, M.K.P. Kumar, H.C. Tondan, *Corros. Sci.*, 60 (2012) 104.
32. S. Banerjee, V. Srivastava, M.M. Singh, *Corros. Sci.*, 59 (2012) 35.
33. W. Al-Shahib, R.J. Marshall, *Int. J. Food Sci. Technol.*, 38 (2003) 709.
34. M.K. Pavithra, T. V Venkatesha, K. Vathsala, K.O. Nayana, *Corros. Sci.*, 52 (2010) 3811.
35. P.C. Okafor, M.E. Ikpi, I.E. Uwah, E.E. Ebenso, U.J. Ekpe, S.A. Umoren, *Corros. Sci.*, 50 (2008) 2310.
36. S. Deng, X. Li, H. Fu, *Corros. Sci.*, 52 (2010) 3840.
37. S.A. Umoren, M.M. Solomon, S.A. Ali, H.D.M. Dafalla, *Mater. Sci. Eng. C*, 100 (2019) 897–914.
38. N.A. Negm, N.G. Kandile, E.A. Badr, M.A. Mohammed, *Corros. Sci.*, 65 (2012) 94–103.
39. X. Li, S. Deng, N. Li, X. Xie, *J. Mater. Res. Technol.*, 6 (2017) 158–170.
40. S.S. Soliman, R.S. Al-Obeed, T.A. Ahmed, *J. Environ. Biol.*, 36 (2015) 455.
41. I. Nehdi, S. Omri, M.I. Khalil, S.I. Al-resayes, *Ind. Crop. Prod.*, 32 (2020) 360.

© 2020 The Authors. Published by ESG (www.electrochemsci.org). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Study of Antioxidant Properties of Five Algerian Date (*Phoenix dactylifera* L) Cultivars by Cyclic Voltammetric Technique Zineb Ghiaba

IC ₅₀ O ₂ ⁻ (mg/l)	5IF AEAC (mM)	Reduction power AEAC (mM)	IC ₅₀ OH (mg/l)	ABTS TEAC (mM)	IC ₅₀ DPPH (mg/l)	العينة
70.62	39,285	3.48	0,0379	2.23	14.43	شيمهورث
33.1677	17,4915	2.06	0,0274	1.66	21.27	تفزيون
85.2314	71,6915	3.27	0,0423	3.35	19.83	دقلة نور
58.98	25,6754	4.21	0,0560	3.20	13.20	غرس
66.3296	18,6817	3.42	0,0430	2.75	16.77	دقلة بيضاء
119.2067	0,8695	1,383	-	-	-	حمض الغائثيك
102.0502	-	-	0,0305	-	-	حمض الأسكوربيك
-	-	0,4261	-	-	-	BHA
-	-	-	-	-	-	BHT

بن علي مصطفى دراسة الجزء الليبيدي والفينولي لنوى بعض أصناف التمور المحلية

الجدول (1-VII) : يوضح قيم IC₅₀ للعينات المدروسة

العينات	قيم IC ₅₀ (g/l)
تفزيون	0,159
حمراية	0,169
غرس	0,236
دقلة نور	0,176
دقلة بيضاء	0,154
حمض الأسكوربيك	0,102

بن طبة فاطمة تأثير أطوار النضج على المركبات الفينولية و الفعالية المضادة
للأكسدة و الجذور الحرة لبعض أصناف النخيل

الجدول (5): قيم $IC_{50}(g/l)$ في اختبار O_2^- للمستخلصات والمركبات القياسية

IC ₅₀ (g/l)		
التمر	الخلال	مرحلة النضج الصف
0.03	0.0006	دقل أحمر
0.05	0.004	تتصليت
0.008		Ascorbique acide
0.012		Gallic acide

دراسة القدرة المضادة للأكسدة وللبيكتيريا وللتآكل للمستخلصات الفينولية لنبات
Limonium guyanicum (Dur.) بلفار آسيا

الجدول (10.V): المقادير الالكتروكيميائية و المعالية الضيقية الفولاذ الكاربوني X52 للميط

AAOA في الوسط (HCl,1M)

θ	R%	V _{corr} (mm/au)	-E _c (mv)	E _a (mv)	i _{corr} (mA/cm ²)	R _f (ohm.cm ²)	-E _{corr} (mV)	C (g/l)
-	-	7.076	128.4	138.1	0.605	38.30	476.3	Blanc
0.69	69.022	2.192	94.1	84.0	0.188	81.38	456.5	0.005
0.55	54.720	3.204	151.0	83.5	0.274	85.17	458.1	0.01
0.81	80.780	1.360	113.9	91.9	0.116	169.10	462.4	0.015
0.72	72.442	1.950	96.6	85.5	0.167	92.47	457.9	0.02
0.73	73.049	1.907	100.3	91.8	0.1631	104.71	468.5	0.025

الجدول (17.V): نتائج مطيافية للممانعة الالكتروكيميائية الفولاذ الكاربوني X52 للمشط AAOA في الوسط (HCl,1M)

R (%)	Rt (ohm. cm ²)	F (HZ)	Ca (μF.cm ⁻²)	Cink (g/l)
-	27.551	14.045	411.51	Blanc
52.166	57.598	10	276.46	0.005
31.351	40.134	10	307.71	0.01
61.646	71.834	8.929	248.27	0.015
39.704	45.694	17.857	323.66	0.02
46.759	51.749	11.161	355.49	0.025

مساهمة في الدراسة الفيتوكيميائية وتقييم الفعالية البيولوجية والفعالية المضادة للتآكل لمستخلصات نبات *Senecio hoggariensis* Batt. & Trab بالاعور ابتسام

الجدول (21-II): العوامل الكهروكيميائية والفاعلية النشطة لتآكل الفولاذ (X70) في وسط حمضي (1M,HCl) في

غياب وجود بركيز معالجة للمشط.

θ	IE (%)	b _c (mV)	b _a (mV)	I _{corr} (mA/cm ²)	E _{corr} (mV)	R _p (ohm.cm ²)	C% (V/V)
/	/	-163	131.7	1.005	-493.4	43.75	0
0.723	72.37	-130	113	0.277	-509.2	108.9	0.25
0.810	81.05	-232.8	208	0.190	-485.2	209.7	0.62
0.899	89.91	-98.7	275.7	0.101	-611.1	211.8	3.75
0.963	96.39	-78.2	170.2	0.036	-607	202.1	6.25
0.974	97.40	-69.2	170.9	0.026	-629	213.5	12.5

الجدول (22-II): المقادير الكهروكيميائية لطبقة الحماية لتآكل الفولاذ (X70) في وسط حمضي (1M,HCl) في غياب ووجود براكيز مختلفة للمنشط.

IE (%)	f_{max} (Hz)	C_{dl} ($\mu\text{F}/\text{cm}^2$)	R_{ct} ($\text{ohm}.\text{cm}^2$)	$C^*\alpha$ (v/v)
/	44.66	85.18	41.85	0
64.10	20.01	68.22	116.6	0.25
76.22	15.83	57.13	176	0.62
90.33	7.941	46.33	432.8	3.75
91.51	7.941	40.63	493.5	6.25
94.76	4.002	49.75	799.7	12.5

Abdeldjabbar MESSAOUDI

Evaluation de l'activité antioxydante et anticorrosion des extraits de quelques cultivars des dattes de la région d'Oued Souf

C (g/l)	B_0 (mV)	B_c (mV)	i_{corr} (mA/cm^2)	E_{corr} (mV)	R_p ($\Omega.\text{cm}^2$)	EI (%)	θ
EMND Degla Baidha							
1	152.3	-160.3	5.1197	-777.2	4.77	42.14	0.4214
2	152.7	-165.2	4.9962	-777.7	4.91	43.53	0.4353
3	152.6	-191.9	4.9575	-777.3	4.98	43.97	0.4397
4	243.9	-661.6	7.0008	-777.1	5.32	20.88	0.2088

C (g/l)	R_s ($\Omega.\text{cm}^2$)	R_t ($\Omega.\text{cm}^2$)	C_{dl} ($\mu\text{F}/\text{cm}^2$)	EI (%)
EMND Degla Baidha				
1	4.855	3.322	75.67	78.657
2	4.837	5.305	74.99	86.635
3	4.975	6.754	94.24	89.503
4	5.095	10.23	62.20	93.069

