جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جـــامـعـــة ديـــــالـــــى
كلية العلوم – قسم الفيزياء

تحضير ودراسة بعض الخصائص الفيزيائية لطلاء الأيبوكسي الراتنجي المدعم بحبيبات اوكسيد المغنيسيوم النانوية لمقاومة تآكل الحديد الكربوني في الأوساط المائية

رسالة تقدم بها

حسن عباس جاسم

بكالوريوس علوم الفيزياء ٢٠٠٦

إلى

مجلس كلية العلوم – جامعة ديالى

وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء

بإشراف

الأستاذ المساعد الدكتور
زياد طارق خضير

الأستاذ الدكتور
أنيس عبد الله كاظم

١٤٣٩هـ

٢٠١٨م

الاهداء

المُقدس وحبهُ من الإيمان. . . . العراق وطني.

سارية العلم والعُلى. . . اساتذتي.

سراج الضياء في دربي . . . . . روح أبي.

نبض الحياة ونعمة ربي. . . أمي.

من ساعدتني وصبرت معي. . . زوجتي الغالية.

ذخري وعوني وسندي. . . . أخوتي وأخواتي.

زينة الحياة والأمل . . . نرمين ونور الدين وسارة وزينب.

كل صديق أراد لي النجاح. . ودعا لي. .

حسن

شكر وتقدير

الحمدُ لله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيد الخلق أجمعين محمد وآله الطيبين الطاهرين وصحبهِ الغر الميامين ، لا يسعني بعد شكر الله تعالى وأنا أضع اللمسات الأخيرة لهذا البحث أن أتقدم بأسمى آيات الشكر والتقدير إلى جامعة ديالى – عمادة كلية العلوم – قسم الفيزياء لإتاحتها لي فرصة إكمال دراستي، وإلى السيد العميد الاستاذ الدكتور (تحسين حسين مبارك) لمتابعته المستمرة وتذليله الصعوبات التي واجهتنا طيلة فترة الدراسة والبحث، كما اتقدم بوافر الشكر والتقدير إلى أول الذين أدين لهم بالشكر والامتنان العميق مشرفي رسالتي (أ.م .د. زياد طارق خضير و أ. د. أنيس عبد الله كاظم) لاقتراحهما موضوع البحث وتوجيهاتهما العلمية القيمة طوال مدة البحث أسأل الله لهما بدوام الصحة والعافية.

كما أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى أساتذتي الأفاضل (أ.د. كريم هنيكش حسن و أ.د. نبيل علي بكر و أ.د. صباح أنور سلمان و أ.م.د. بثينة عبد المنعم و أ. أسعد أحمد كامل) لتعاونهم اللامحدود معي في الحصول على المستلزمات المختبرية والمعلومات النظرية والعملية الخاصة بالبحث.

وأتقدم بالشكر والتقدير إلى عمادة كلية الهندسة وقسم الهندسة الكيمياوية في كلية الهندسة – جامعة ديالى وخصوصاً المهندس (مهند حسن محمد) لتعاونهم اللا محدود اثناء فترة البحث.

وأتقدم بخالص شكري إلى جميع الزميلات والزملاء طلبة الدراسات العُليا (سلمى سلمان ومريم ستار ومرتضى جمال وعبد السلام محمود وهدى تركي ورغد عدنان) واتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى زملائي في مهنة التدريس(علي جبار وصباح عدنان وعباس عناد).

أكرر شكري لهم جميعاً داعياً العلي القدير أن يمدهم بالصحة ويوفقهم لما فيه خير الجميع.

حسن

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education
and Scientific Research
Diyala University
College of Sciences – Physics Department

Preparation and study of some physical Properties of epoxy resins coat supported by Magnesium oxide nanoparticles to resist the corrosion of low carbon steel in aqueous medium

A Thesis

Submitted to the Council of the College of Science / University of Diyala in Partial Fulfillment of the Degree of M.Sc. in physics

By

Hassan Abbas Jassim

B.Sc. in physics

Supervised by

Dr. Ziad Tariq khudir
Assist. professor

Prof. Dr. Anees A. khadom
professor Dr.

2018 A.D.

1439 A.H.

الفصل الاول

مقدمة عامة

(1-1) المقدمة (Introduction)

يعرف التآكل (Corrosion) بأنه تلف المعادن أو فقدان في الخواص الكيميائية والفيزيائية عند التعرض لوسط خارجي معادي آكال، إذ تعد عملية التآكل معضلة العصر، وأن ما يتُلف من أدوات ومعدات ومنشآت سنوياً بسبب عملية التآكل يقدر بالمليارات من عملات الدول الصناعية [1-3].

إن السبب الأساس لتآكل المعادن واختلاف معدلاتها يعود إلى منشأ هذه المعادن او اصولها. فمعظم هذه المعادن ولا سيما غير النقية مثل الخارصين و الحديد، لا تتواجد في الطبيعة كمعدن نقي ولكن تتواجد على شكل مركبات كيمياوية مثل أكاسيد، كربونات وكبريتات وتدعى عادةً بخامات هذه معادن، فلدى استخلاص المعادن النقية من هذه الخامات لابد من بذل مقدار من الطاقة، وبذلك فأن المعدن النقي سوف يكون مجبراً على التواجد في حالة تختلف على ما كان بالطبيعة والعودة إلى الأصل الذي كان عليه أي الخام وهذه العملية هي ما تسمى بالتآكل (Corrosion) [4] ، فمثلاً إن الحديد يتواجد في الطبيعة على شكل أوكسيد الحديد في معظم الحالات، وعندما يتآكل فأنه يتحول إلى خليط من أكاسيد الحديد المختلفة او أوكسيد الحديديك في حين أن المعادن غالية الثمن مثل الذهب والبلاتين تتواجد في الطبيعة بشكلها النقي لذا فأنها لا تميل إلى التآكل بل تبقى في حالتها النقية [2].

إن تأثير التآكل عادةً يكون على نوعين، يتمثل الأول في تلف أو فقدان المعدن كما هو الحال مع تأكل الحديد أو الفولاذ، اما الثاني عبارة عن تآكل موضعي (local corrosion) يؤدي إلى تغيير السطح الخارجي للمعدن وخواصه مما يؤدي لاحقاً إلى حدوث تلف ميكانيكي مثل الكسر أو الفشل أو الإنهيار، ولعل من الأمثلة على هذا النوع من التآكل هو التآكل الموضعي في الأجهزة والمعدات والذي يكون حدوثة خطراً جسيماً على العاملين عليها، فمثلاً إن تسرب الغازات السامة أو السوائل المضرة بالصحة من الخزانات والأنابيب هو نتيجة لحدوث مثل هذا النوع من التآكل، ويحدث التآكل في المنشآت الخرسانية كالمباني والطرق والجسور وغيرها، فضلاً عن التآكل في المنشآت المعدنية كالآلات والمعدات والخزانات وابراج نقل الطاقة والاتصالات وغيرها[4].

إن جميع دول العالم الصناعية تتخذ الاحترازات الواجب اتخاذها لمنع التآكل و الحماية منه أو ازالة أثاره وهذه الإجراءات قد تكون مكلفة للغاية ولكن لابد من اتخاذها ويمكن إجمالها بالآتي:-

١- **الخسائر المباشرة :** وتشمل خسارة الأجزاء التالفة من المكائن والأجهزة أو الأنابيب فضلاً عن أجور وتكاليف استعمال طرق واساليب حماية او الوقاية من التآكل.

٢- **الخسائر غير المباشرة:** وتتضمن الوقت الضائع للصيانة والتصنيع وفي التلوث أو خسارة الإنتاج أو المحيط الخارجي علاوة على زيادة أستهلاك المعادن ومواد البناء الاخرى وتكون الخسائر غير مباشرة أكثر في الغالب من الخسائر المباشرة [5].

(2-1) الفولاذ الكاربوني (Carbon Steel)

يعد الفولاذ الكربوني واحداً من سبائك الفولاذ التجارية المهمة فزيادة المحتوى الكربوني له ترتفع الصلادة السطحية وكذلك قوة الفولاذ، يمكن تقسيم الفولاذ الكربوني إلى الانواع التالية [6] :

- فولاذ عالي الكاربون.
- فولاذ متوسط الكاربون.
- فولاذ منخفض الكاربون.

(1-2-1) الفولاذ عالي الكاربون

وهو الفولاذ الذي تتراوح نسبة الكاربون فيه ما بين (0.8% - 1.5%) في هذا النوع من الفولاذ ذي المحتوى الكربوني العالي ويمتاز بامتلاكه الخواص الميكانيكية الجيدة بسبب النسبة العالية للكاربون التي تجعل اللحام لهذا الفولاذ اكثر صعوبة، اذ تتطلب عملية اللحام استخدام تسخين بدرجة حرارة عالية.

(2-2-1) الفولاذ متوسط الكاربون

يمتلك هذا النوع من الفولاذ مستوى كاربونياً يتراوح ما بين (0.45% - 0.8%) ان زيادة الكاربون تعني زيادة الصلادة وقوة الشدة وانخفاض المطيلية (Ductilily) وصعوبة اكثر بالتقطيع.

(3-2-1) الفولاذ منخفض الكاربون

يسمى ايضاً الفولاذ الطري(Mild Steel) الذي يحتوي على كاربون بنسبة تتراوح ما بين (0.15% - 0.45%) وهو من اكثر الانواع شيوعاً، اذ له مطيلية ويمتاز بقابلية للحام افضل من فولاذ عالي الكربون.

(3-1) طلاء الأيبوكسي الراتنجي (Resin Epoxy coating)

الطلاءات الأيبوكسية من المواد الحديثة التي تستخدم في مجالات كثيرة والتي يمكن تطوير استخدامها في مجالات مختلفة ولها عدة أنواع.

وكلمة الأيبوكسي مشتقة من اللغة اليونانية (Ep) ومعناها من الخارج و (Oxy) اختصار لكلمة(Oxygen) أي ذرة الأوكسجين ترتبط من الخارج بذرتين كاربون[7]. والأيبوكسي مكون من مركبين : راتنج الأيبوكسي (resin)، والمركب الصلب (Hardener) ويتم التصلب بخلط المركبين جيداً عند درجة حرارة ملائمة وبالنسب المحددة لكل نوع من المواد الأيبوكسية، وفي بعض الأحوال توجد انواع اخرى من الأيبوكسي تتكون من مركب واحد يتصلب بتأثير الهواء، وأنواع أخرى من ثلاثة مركبات "الراتنج والمصلب، ومواد مالئة من الكوارتز" [8].

ومن أبرز أنواع طلاء الأيبوكسي هو الطلاء الأولي الذي يستعمل لتقوية الأسطح وسد مسام الخرسانة، وتستعمل هذه الدهانات كطبقة أولية، وأيضاً يستعمل هذا الطلاء بعد معالجته بالخارصين في مقاومة تآكل الحديد وحمايته من الصدأ، ويمكن استخدام بوليمرات الأيبوكسي كما هي دون تحوير أو بعد تحويرها إلى راتنج الأيبوكسي في تحضير الأصباغ والطلاءات المتنوعة المستعملة لطلاء المعدات الحرارية او الاعتيادية [7,8].

أ) مميزات أصباغ الأيبوكسي :

١- متنوع الاستخدام إلى درجة كبيرة.

٢- المقاومة الكيميائية الجيدة ضد جميع المواد الكيميائية.

٣- قوة الالتصاق الممتازة على مختلف السطوح.

٤- سهولة تشابك الطلاء بصورة جيدة ومتكاملة مما يعطي طلاءً صلباً متماسكاً.

ب) عيوب أصباغ الأيبوكسي :

١- يتكون الصبغ غالباً من جزئين بدلاً من جزء واحد.

٢- غلاء سعر الصبغ بسبب قيم الايبي كلوروهيدرين الباهظة نسبياً كما انه يتكون ملح الطعام أثناء التفاعل وضرورة التخلص منه ما يكلف مبالغ طائلة.

٣- تغيير لون الطلاء اللامع في البداية إلى طبقة طباشيرية(اشبه بالجص) بمرور الزمن وهذا ما جعل أصباغ الأيبوكسي غير مرغوبة لطلاء وصباغة السيارات والعربات التي تتعرض إلى ظروف جوية مختلفة.

٤- السرعة البطيئة التي تتصلب بها طبقات الطلاء المعالج بالأمينات في درجات الحرارة الاعتيادية.

ويمكن القول أنّ راتنجات الأيبوكسي تنتمي إلى مجموعة الراتنجات المتصلبة بالحرارة إذ تتميز هذه الراتنجات بعدم إمكانية إعادة تشكيلها بالحرارة بعد تحولها إلى مادة صلبة نتيجة لتكون سلاسل بوليميرية طويلة متشابكة مع بعضها وهو ما يسمى الربط التشابكي(Crosslinking) .

يحتوي راتنج الأيبوكسي على مجموعتين أو أكثر من مجاميع الأيبوكساید (Epoxide) التي تتألف من ذرة أوكسجين مرتبطة مع ذرتي كاربون، اذ ترتبط مجموعة الأيبوكسي كيميائياً مع الجُزيئات الأخرى لتشكيل شبكة ثلاثية الأبعاد ذات ربط تشابكي بعملية المعالجة (Curing).

يتميز راتنج الأيبوكسي بالصلادة والمقاومة الكيميائية العاليتين نسبياً فضلاً عن ذلك يمتلك هذا الراتنج قابلية التصاق نوعي عالي بسبب التركيب الكيميائي لهذا الراتنج والمتمثل في مجموعة الإيثرات والهيدوكسيل والمجاميع القطبية التي تعطي متانة وقابلية إلتصاق عالية وتكسب المادة صلادة وقوة، لذلك يستعمل في التطبيقات التي تتطلب إداءاً وظيفياً عالياً.

تتفاعل هذه الراتنجات مع المصلدات أثناء المعالجة ويكون التفاعل غير مصحوب بإنبعاث الماء أو تحرر أي منتجات ثانوية مما يجعل التقلص الحجمي قليل جداً(أقل من 2%) وبالتالي يكتسب الراتنج قوة وخواص ميكانيكية عالية فضلاً عن ذلك تمتلك راتنجات الأيبوكسي المعالجة متانة عالية نتيجة للبعد بين نقاط الربط التشابكي ووجود السلاسل الأليفانية المتكاملة [8].

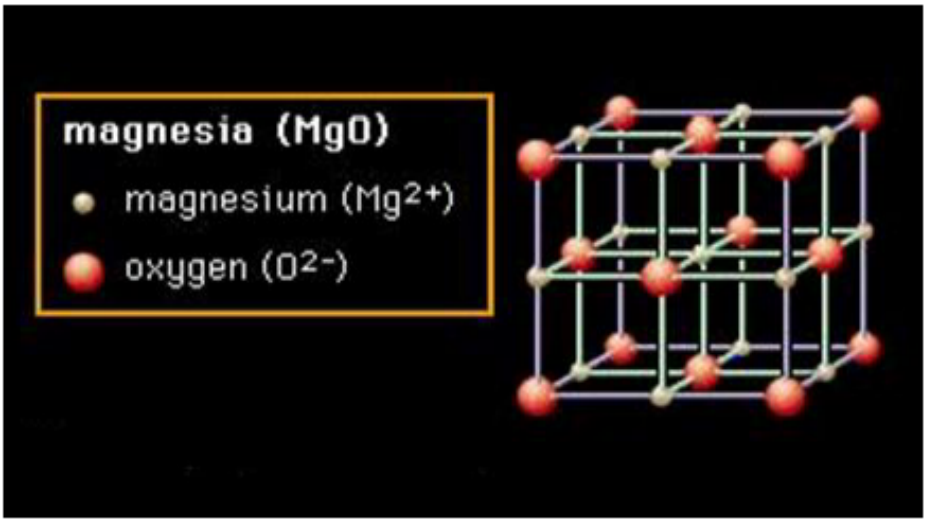
(4-1) أوكسيد المغنسيوم MgO (Magnesium Oxide)

هو معدن مؤكسد متعدد الاستعمالات لما يمتاز به من خواص كيميائية وفيزيائية فريدة إذ إنه يمتلك درجة انصهار عالية($2800^{o}C$) لذلك يكون مقاوم للدرجات العالية من الحرارة والتمدد المنخفض ومقاومته للتشقق فهو يستعمل في بطانة أفران المعادن والزجاج، ويمكن تحضير أوكسيد المغنسيوم بعدة طرائق منها: التحلل الكيميائي الحراري(CSP) وطريقة المحلول الغروي(Sol-Gel) وترسيب الأبخرة الكيميائية (CVD) وغيرها. وتعد طريقة المحلول الغروي الطريقة الأكثر فاعلية للحصول على أوكسيد المغنسيوم (MgO) لكونها قليلة الكلفة وسهلة الاستعمال ويمكن أن تعطي مختلف الأشكال والأحجام لأكثر الأكاسيد. أن حجم جسيمات أوكسيد المغنسيوم لها تأثير إيجابي على الخواص الكيميائية والفيزيائية مثل الخواص التركيبية البصرية والمغناطيسية وغيرها وهناك عوامل تحسن أغلب هذه الخواص مثل الكلسنة بدرجات حرارة عالية والتركيز والحامض المستعمل كوقود[9]. والجدول (1-1) يبين بعض خواص (MgO).

العديد من الباحثين اهتم بالوقت الحالي بتحضير (MgO) النانوي نظراً لخصائصه الجديدة والفريدة وتطبيقاته المتعددة، إذ يمكن استعماله كمحفز للعديد من التفاعلات الكيميائية، وأيضاً يستعمل بعملية طلاء المعادن لمنع الصدأ ويمكن استعماله في مجال الطب والهندسة الإلكترونية وله الفعالية العالية ضد الجراثيم والبكتريا وكذلك الفيروسات وذلك لامتلاكه مساحة سطحية كبيرة كما أنه يمتلك تركيباً مكعباً متمركز الأوجه (FCC) وثابت شبيكة (a = 4.212 nm) [10] والشكل (2-1) يوضح التركيب البلوري لأوكسيد المغنسيوم.

جدول(1-1) بعض خواص أوكسيد المغنسيوم[11]

Property	Melting Point, ^{o}C	Boiling Point, ^{o}C	Density, g/cm^3	Color	Smell
VALUE	2800	3600	1.8	White	Odorless



الشكل (1-1) التركيب البلوري لأوكسيد المغنسيوم (MgO) [12]

(5-1) تقنيات تصنيع المواد النانوية
(Techniques of Fabrication of Nanomaterials)

هناك تقنيات عديدة لتصنيع المواد النانوية تم تقسيمها إلى قسمين رئيسيين : أحدهما يبدأ من الأعلى إلى الأدنى (Top-Down)، والتي فيها يتم تكسير المادة الاصلية (الكبيرة) شيئاً فشياً حتى الوصول إلى الحجم النانوي، ويتم هذا عن طريق عمليات مختلفة منها الحفر الضوئي، والقطع، والطحن وغيرها وبذلك امكن الحصول على مركبات نانوية ذات تطبيقات الكترونية مهمة، اما التقنية الثانية فهي تبدأ من الاسفل للأعلى (Bottom-Up) اي بعكس التقنية الاولى اذ تُبنى المادة النانوية فيها انطلاقاً من الذرات والجزيئات وبشكل مرتب حتى نصل الشكل والحجم النانوي المطلوب وتتميز بصغر حجم المواد الناتجة، والحصول على روابط قوية، وهذه التقنية غالباً ما تكون تقنيات كيميائية، مثل تقنية المحلول الغروي [15 – 13].

(6-1) تقنية المحلول الغروي (Sol- Gel Technology)

هي أسلوب كيميائي رطب ويمكن تسميتها أيضاً بأنها عملية ترسيب المحلول الكيميائي، ويمكن تحضيرها بعدة مراحل مثل التحليل (التميؤ) (Hydrolysis) والتثخين (الدبق) (Gelation) والبلمرة(Polymerizing) والتكثيف (Condensation) والتجفيف (Drying) استخدمت هذه الطريقة (Sol- gel) حديثاً في مجالات الهندسة خزف وسيراميك[16].

وتعد طريقة (Sol – gel) من أهم الطرائق لتصنيع المواد النانوية إذ ينطوي عملها على الانتقال من نظام المحلول الكيميائي (Sol) السائل إلى المرحلة الصلبة (gel)

والغرض منها تحضير المواد المتقدمة وبأشكال مختلفة مثل المواد المسامية التي يسهل اختراقها وتسمى (أيرو – جل) (Aero- Gel) أو المساحيق ذات الجُسيمات متناهية الصغر وهناك عدة عوامل يجب مراعاتها عند العمل بهذه الطريقة منها التحكم بدرجة الحموضة(pH) التي تعد أهم عامل لتجنب الترسيب، ولتشكيل هلام متجانس يمكن إضافة قاعدة أو حامض للمحلول، ويمكن التمييز بين عمليتين مختلفتين لتفاعل (Sol - gel) بالاعتماد على استخدام محلول أو مادة غروائية، في حال استخدام (Sol) وهي عملية تفريق الجزيئات الصلبة في السائل مما يؤدي إلى تعلق الجزيئات ويمكن القول بأنه عبارة عن محلول غروائي [17] (Colloidal) أما مادة (gel) الهلام أو الجلاتين الناتجة فهي تتألف من جزيئات غروائية يمكن تحديدها والتي تم ربطها ببعضها البعض عبر القوى السطحية لتشكيل شبكة فيما بينها ، وفي حال استخدام محلول عادي يُعدُّ المحلول الناتج مركبات معدنية عضوية (gel) وهي مادة جلاتينية صلبة تتراوح خصائصها من الضعف والطراوة إلى المتانة والقساوة وهي الحالة التي يكون فيها كل من السائل والصلب متفرقاً عن بعضه البعض ، ويمكن القول بأنها ذات شبكة صلبة ومستمرة ثلاثية الأبعاد أي بمعنى أخر عبارة عن مركب هلامي [18].

أ) مزايا تقنية المحلول الغروي (Advantages of Sol- Gel Processes)

من أهم مميزات هذه الطريقة[19,20]:

- عملية التلدين للمواد الناتجة بهذه الطريقة لا تحتاج إلى درجات حرارة عالية (200-600 ^{o}C).
- يمكن تشكيل المواد بسهولة إلى أشكال هندسية معقدة في حالة هلام.
- يمكن إنتاج مواد مختلفة عالية النقاء.
- يمكن أن توفر طريقة سهلة وفعالة واقتصادية لإنتاج طلاء ربط رقيق لتوفير التصاق ممتاز بين الطبقة العُليا والركيزة المعدنية .
- يمكن تحضير جسيمات نانوية والسيطرة على تشكيل المسحوق.

ب) مساوئ تقنية المحلول الغروي (Disadvantages of Sol- gel Process)

من أهم مساوئ هذه الطريقة[21]:

- أن المنتجات قد تحتوي على نسبة من الكربون وذلك عند استعمال المواد الكيميائية العضوية في الخطوات التحضيرية وهذا يمكن أن يؤدي إلى منع التكثيف عند التلبيد.
- تكون تكتلات تؤدي إلى بعض الصعوبات في العمل.

(7-1) الدراسات السابقة (Literature Survey)

- درس الباحث **(Hang et al.) سنة (2007)** الحماية للحديد الكربوني الصلب من التآكل باستعمال راتنجات الأيبوكسي التي تحتوي على الطين المعدل عضوياً، وهي عبارة عن نوع من الطين المعدني يحتوي على كمية من المغنسيوم والصوديوم معالج بمركب عضوي المشتت في راتنج الأيبوكسي لتحسين حماية تآكل الحديد الكربوني.

إذ بينت تحليلات (XRD) أن طبقات السليكات الفردية قد فصلت وتشتت في راتنج الأيبوكسي، وأن مقاومة التآكل للحديد الكربوني المطلي تم تحليله بواسطة الطيف الكهروكيميائي لمقاومة التحليل الطيفي والطيف الكهرو كيميائي (Electrochemical Spectrum)، إذ أظهرت الدراسة أن دمج الطين أو الطين المدعم مصفوفة الأيبوكسي يعمل على تحسين كبير في خصائص الطلاء، وإن مقاومة التآكل في الحديد المغطى برانتج الأيبوكسي الذي يحتوي على الطين المدعم كانت أعلى من تلك التي لا تحتوي على الطين غير المعدل.[22]

- قام الباحث (**Kadum et al.) سنة (2009)** بدراسة تأثير الحامض ودرجة الحرارة على تآكل الصلب منخفض الكربون في وسط حامضي (HCl) إذ تناولت هذه الدراسة تفسير تأثير درجة الحرارة بتطبيق معادلة (Arrhenius) ، بينما تم تفسير تأثير تركيز الحامض باستخدام معادلات حركية تفاعلية، والتأثير المشترك لكل من الحرارة وتركيز الحامض باستخدام الانحدار غير الخطي، وقد بينت النتائج أن طاقة التنشيط(E) والطاقة الكامنة لـ (ΔH) تزداد بانخفاض تركيز الحامض وبالتالي انخفاض في معدلات التآكل، وإن قيمة طاقة الانتروبي (ΔS) تكون منخفضة مع زيادة تركيز الحامض وتشير إلى أن المركب الفعال كان اكثر انتظاماً[23] .

- تمكن الباحث **(زهير) سنة (2009)** من دراسة تأثير درجة الحرارة على السلوك التآكلي للسبيكة (AL- 2Cu – 2Mg) في المحلول الحامضي ، باستخدام طريقة الغمر البسيط في محلول حامضي (HCl) بنسبة 3% ، وقد اظهرت النتائج التي تم التوصل إليها من خلال دراسة تأثير الدرجة الحرارية على سلوك التآكل للسبيكة في محلول الحامضي زيادة واضحة في معدل التآكل مع ارتفاع الدرجة الحرارية للمحلول [24].

- قامت الباحثة **(شيماء) سنة (2010)** بدراسة تأثير إضافة البولي استر غير المشبع في السلوك التآكلي للفولاذ واطئ الكربون في المحاليل التآكلية وذلك باستخدام طريقة الغمر البسيط في محاليل تآكلية (ملحية وحامضية)، وقد اثبتت النتائج أن معدل التآكل انخفض بشكل كبير وبكفاءة تثبيط وصلت إلى (96.4%) في المحاليل الحامضية و (93.7%) في المحاليل الملحية وذلك عند إضافة نسبة 1% [25] .

- قامت الباحثة **(Nadia Hammouda et al.) سنة (2011)** بدراسة أساليب الحماية من التآكل بالخارصين المدعم بالأيبوكسي في المحلول المائي لكلوريد الصوديوم إذ تم استخدام الطريقة الكهروكيميائية (EIS) في نطاق تردد (100 KHz – 10 KHz) كطريقة كهروكيميائية رئيسة في دراسة سلوك الحماية للتآكل الخارصين مطلي بالأيبوكسي في محلول مائي ملحي لكلوريد الصوديوم، وقد اظهرت القياسات للتيار الكلفاني وللتيار متردد أن تأثير الحماية الكاثودية للطلاء يستغرق بعض الوقت لتحقيقه، ويعزى فقدان الحمادية الكاثودية إلى التأثير المزدوج لانخفاض نسبة منطقة (الخارصين/ الحديد) بسبب تآكل الخارصين وفقدان الاتصال الكهربائي بين الخارصين وحبيباته [26].

- استطاع الباحث **(باسم) سنة (2011)** من دراسة تأثير الملح المزدوج $KAl(SO_4)_2.12H_2O$ في سلوك التآكل للفولاذ واطئ الكاربون بأستخدام طريقة الغمر البسيط في المحاليل المائية للملح المزدوج بنسب مختلفة وقد أظهرت النتائج بأن أضافة الملح المزدوج إلى الماء الاعتيادي يزيد معدل التآكل، كما تنخفض مقاومة التآكل بزيادة نسبته في المحلول[27].

- قام الباحث **(S. A. Ajeel et al.) سنة (2011)** بدراسة (تأثير تركيز حامض الكبريتيك وحامض الهيدروكلوريك على مقاومة التآكل للصلب منخفض الكربون المحمي) أذ تم في هذا البحث تتبع سلوك التآكل للكربون محمي وغير محمي باستخدام الكربنة والطلاء بالكروم في تراكيز مختلفة لكل من (H_2SO_4) و(HCl) اذ استخدمت طريقة الفقدان بالوزن لتقدير معدل التآكل، وقد بينت النتائج أن معدل التآكل يزداد مع زيادة نسبة تركيز الحامض من (1– 5M) لنوع المحاليل الحامضية المستعملة، وبينت نتائج أن محلول (HCl) أيضاً كان وسطاً تآكلياً أكثر تأثيراً من محلول(H_2SO_4) في الظروف نفسها [28].

- قام الباحث **(فراس) سنة (2012)** بدراسة (تقييم مقاومة التآكل لفولاذ متوسط الكربون باستخدام أساليب حماية مختلفة) إذ قام باستخدام طرق حماية مختلفة كالطلاء الكهربائي بعنصري الكروم والقصدير وكذلك استخدام المثبطات والحماية الكاثودية في أسلوب الأنود المصعدي وهو الخارصين جهدهُ (E_{zn}= 0.76 V)، وقد بينت نتائج معدل التآكل بأن استخدام طريقتي الطلاء وإضافة المثبطات تعطي نتائج جيدة في زيادة مقاومة التآكل في حين أن استعمال حماية الكاثودية اعطت نتائج إيجابية اعتماداً على نوع القطب المضحى به [29].

- قام الباحثون**(حواس ومجموعته) سنة (2012)** بدراسة تطبيق بعض طرق الحماية على مقاومة التآكل الكهروكيميائي لفولاذ عالي الكربون CK80 إذ تم تحضير عينات من المعدن المستخدم بأبعاد cm^3 (1.5 × 1.5 × 0.2) لغرض اختبار التآكل ثم استخدام عدد من طرق الحماية منها الطلاء الكهربائي إذ تم الطلاء بعنصري الكروم والمنغنيز وكذلك استخدام المثبطات والحماية الكاثودية من اجل بيان تأثير هذه الطرائق على معدل التآكل الكهروكيميائي، ثم استخدام طريقة المجهاد الساكن في اختبار التآكل إذ تم إمرار تيار كهربائي بخلية كهربائية ويمثل قطب الموجب معدن أما قطب السالب بلاتين عند جهد تم تقديره من خلال إمرار تيار كهربائي في دائرة مفتوحة وأن هذا الجهد تم موازنته مع الجهد للمعدن للسلسلة كهروكيميائيه تم بعدها إغلاق الدائرة ومن ثم إمرار تيار عند هذا جهد مع زيادة تقدر بـ (+100، - 100) وإيجاد تيار التآكل من خلال ممسكات التقاطع للقطب الأنودي والكاثودي وفق طريقة (Tafel) وحساب معدل التآكل، ولوحظ أن جميع هذه الطرائق اسهمت في تقليل التآكل [30] .

- قام الباحثان **(خالد وشذى) سنة (2012)** بدراسة تحسين المواصفات الحرارية لمتراكب الأيبوكسي (EP-Taic Powder) باستخدام تقنية التحليل الميكانيكي الحراري Thermo mechanical analysis) TMA) ، إذ تم تحديد خواص مهمة للبوليمرات كدرجة انتقال الزجاج(T_g) ونقطة الغليان (T_m) وتأثيرات الاجهاد على (T_g) ومعامل التمدد الحراري وقد أظهرت نتائج فحص درجة الانتقال الزجاج تحسن القيم وزيادة درجة الانتقال كلما زادت نسبة وجود مادة التآكل في المتراكب البوليمري [31].

- قام الباحث **(Yongchun, et al.) سنة (2013)** تأثير اضافة تراكيز الالمنيوم النانوي في مقاومة التآكل لطلاء الايبوكسي. إذ جرى فحص الطلاء المتراكب باستخدام اختبارات الغمر

ورش الملح. وتم تشخيص الطلاء باستخدام التحليل الطيفي بالممانعة الكهروكيميائية (Electrochemical impedance spectroscopy)، كذلك فقد اجريت الفحوصات التركيبية الاخرى كفحص حيود الاشعة السينية الـ (XRD) واخذ الصور المجهرية باستخدام جهاز الـ (SEM) فضلاً عن فحص ال (X-ray photoelectron spectroscopy) للعينات المعينة. فقد بينت نتائج الفحص ان نسبة اضافة (5%) من مسحوق الالمنيوم للايبوكسي حسنت وبنحو ملحوظ مقاومة التآكل للطلاء المتراكب. ومن الجدير بالذكر ان هنالك تأثيرين لإضافة مسحوق الالمنيوم النانوي، الاول هو ان مسحوق الالمنيوم هو من سيتآكل اولاً حماية الـ (Substrate) من التآكل، ومن ثم يحدث تشكل لأوكسيد الالمنيوم وهيدروكسيد الالمنيوم كنتيجة لهذا التآكل وهذا الامر سيعمل على اعاقة انتقال الوسط الآكل للطلاء [32].

- قامت الباحثة **(رشا)** سنة **(2013)** بدراسة حماية التآكل لبعض الفلزات والسبائك بالماء المالح باستعمال طلاء بمواد نانوية، إذ تم دراسة تأثير مثبط لمواد نانوية جديدة وهي أوكسيد الخارصين وأوكسيد الألمنيوم وباستعمال جهاز مجهاد ساكن تم الحصول على قيم جهد التآكل وقيم تيار التآكل والذي من خلاله تم حساب معدل التآكل لكل من العينات المغطاة وغير المغطاة، وأظهرت فحوصات مجهر القوة الذرية (AFM) والمجهر الماسح الضوئي (SEM) وحيود الأشعة السينية (XRD) معلومات جيدة حول الجسيمات والأشكال وتم التوصل إلى أن بزيادة الدرجات الحرارية تؤدي إلى زيادة عالية بتيار تآكل [33].

- قام الباحثان **(خالد ورفعت) سنة (2014)** بدراسة الخواص الميكانيكية لمتراكب (Epoxy – MgO) وذلك بتحضير مادة متراكبة ذات اساس بوليميري بطريقة الصب اليدوي وقد حضرت المادة المتراكبة من راتنج الأيبوكسي كمادة اساس مدعم بمسحوق أوكسيد المغنسيوم(MgO) وبنسب وزنية مختلفة(0% ,5%,10%,15%,20% ,25%) وقد أجرى اختبار الانحناء ثلاثي النقط للعينات المحضرة من مادة الأيبوكسي Ep بعد اضافة دقائق المادة السيراميكية(MgO) بنسب وزنية مختلفة إذ اظهرت النتائج زيادة قيمة اجهاد الكسر وهذا يعود إلى قوة الترابط بين المادة الاساس والتقوية [34].

- قامت الباحثة **(طيبة) سنة (2016)** بدراسة تأثير المواد النانوية على الخصائص الفيزيائية لخلائط الأيبوكسي إذ حضرت خلائط بوليمرية مكونة من مطاط الأيبوكسي مع مطاط البولي بيوتان بنسب **(% 5-95)،(% 10-90) ،(% 15-85)،(% 20-80)،(% 25-75)** إذ اظهرت النتائج العملية أن الخلائط المدعمة بأوكسيد النحاس النانوي تمتلك أفضل الخصائص في الظروف الاعتيادية بالموازنة مع بقية العينات المحضرة إذ كانت أعلى قيمة لمقاومة الصدمة والصلادة ومعامل يونك [35].

- درست الباحثة **(نور) سنة (2016)** تثبيط تآكل الفولاذ الكربوني في وسط حامضي باستعمال مستخلص أوراق النارنج إذ تم استخدام طريقة الفقدان بالوزن لحساب معدلات التآكل، وبينت النتائج أن معدل التآكل بوجود المادة المانعة يقل بزيادة تركيز المادة المانعة والعكس صحيح عند ثبوت درجة الحرارة [36].

- درس الباحث **(محمد) سنة (2017)** امكانية تثبيط التآكل في الانابيب النفطية اذ تم استعمال الحماية بطريقة طلاء متراكب بولي استر غير مشبع والمدعم بالكاولين عند نسب تدعيم وزنية مختلفة، اذ تم اختيار نسبة وزنية (20%) لانها تمثل نسبة مثالية من الخواص الميكانيكية الجيدة، واظهرت النتائج الفحوصات بان هنالك تحسناً بخواصها الميكانيكية وعزل حراري للطلاءات متراكبة للنماذج موازنة بالنماذج غير المدعمة لتوفير طبقة حماية للفولاذ من خطر التآكل[37].

(1-8) **هدف البحث** (Aim of Resarch)

تهدف الدراسة الحالية الى تقليل او الحد من مخاطر تآكل الحديد الكربوني بأستعمال طلاء حديث مكون من راتنج الأيبوكسي المدعم بأوكسيد المغنيسيوم (MgO) ذو التركيب النانوي المحضر كيميائياً بطريقة المحلول الغروي(Sol-Gel) ومن خلال حساب معدل التآكل عند ظروف حامضية متغيرة وتراكيز ملحية متغيرة وعند درجات حرارية متغيرة ايضاً ودراسة بعض الخواص التركيبية والميكانيكية والحرارية لهذا الطلاء.