



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل / كلية الهندسة

مثبط عضوي جديد
لحماية الفولاذ الكربوني في أوساط مختلفة

رسالة مقدمة إلى قسم هندسة المواد في كلية الهندسة / جامعة
بابل وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير علوم في
هندسة المواد

من قبل المهندسة

نوال محمد داود الكروي

بإشراف

الدكتور

كاظم فنطيل السلطاني

تموز ٢٠٠٦ م

الأستاذ الدكتور

عبد الواحد كاظم راجح البكري

جمادي الآخرة ١٤٢٧ هـ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ قل لو كان البحر مداداً لكلمت ربي
لنفد البحر قبل أن تنفذ كلمت ربي ولو
جئنا بمثله مدداً ﴾

صدق الله العلي العظيم

سورة الكهف آية (١٠٩)

الإهداء

إلى الذين من غيرهم لم أكن ولا أكون ..

إلى روح أبي الطاهرة ... رحمه الله ...

إلى أمي أمدّ الله في عمرها ...

إلى من تضحياتهم وحبهم بلا حدود ...

أخواتي وأخي

نوال

شكر وتقدير

وأنا أنهى بحثي هذا وبعد شكر الله تعالى، لا يسعني إلا أن أتقدم بوافر الشكر وعميق التقدير إلى أستاذي الفاضلين الأستاذ الدكتور عبد الواحد كاظم راجح والدكتور كاظم فنطيل لما أبدياه من رعاية علمية وتوجيهات سديدة طيلة فترة البحث . إن واجب الوفاء يحتم علي تسجيل شكري واعتزازي إلى عمادة كلية الهندسة والى منتسبي قسم هندسة المواد .

كما أتقدم بالشكر الجزيل إلى كل من أبدى المساعدة من منتسبي مختبر المعادن ومختبر المواد الالمعدنية في قسم هندسة المواد ، منتسبي مختبر الصحية في قسم الهندسة المدنية والى منتسبي مختبر التحليل الآلي في قسم علوم الكيمياء . كما أتقدم بجزيل الشكر إلى كل من أبدى المساعدة في قسم هندسة المواد ، قسم الإنتاج والمعادن في الجامعة التكنولوجية وقسم علوم الكيمياء في جامعة بغداد . وأخيرا ، أتوجه بالشكر إلى كل من ساهم في إظهار هذا البحث والله ولي التوفيق .

قائمة الرموز والمختصرات

الوحدة	المصطلح	الرمز
kJ/mole	التغير بالطاقة الحرة	ΔG
	عدد إلكترونات التكافؤ	n
coul (amp.sec)	ثابت فراداي	F
Volt	جهد القطب للمعدن	E
mil/year	معدل التآكل	R(mpy)
mg/(dm ² .day)	معدل التآكل	R(mdd)
amp/cm ²	كثافة تيار التآكل	$I_{corr.}$
Volt	جهد التآكل	$E_{corr.}$
g/cm ³	كثافة المعدن	ρ
g/mole	المكافئ الكيميائي الوزني للمعدن	e
	القطب العامل	E_w
	القطب المساعد	E_a
	قطب المرجع	E_r
	الأس الهيدروجيني	pH
	جزء لكل مليون	ppm
g	التغير في الوزن	ΔW
cm ²	المساحة	A

(%)	كفاءة التثبيط	IE
	مثبطات الطور البخاري	VCI
	الفحص بمطياف الامتصاص الذري	AAS
(%)	النفاذية	T
	مايكرو متر	μm
	ساعة	hr
cm^{-1}	العدد الموجي	v
(%)	درجة التغطية	θ

قائمة المصطلحات

المصطلح	المعنى
Adsorption	امتزاز
Aeration	تهوية
Auxiliary Electrode	قطب مساعد
Chemisorption	امتزاز كيميائي
Corrosion	التآكل
Corrosion Inhibitors	مثبطات التآكل
Cracking	التشققات

الترسيب الكيميائي البخاري	Chemical Vapor Deposition
ازالة الخارصين	De-zincification
ازالة الهواء	De-aeration
درجة التغطية	Degree of Coverage
حاجز فعال	Diffusion Barrier
السلسلة الكهروكيميائية	Electrochemical Series
موصلية كهربائية	Electrical Conductivity
إظهار	Etching
قانون فراداي	Farady's Law
مثبطات صديقة	Friendly Inhibitors
الفعل الكلفاني	Galvanic Action
التصاقية جيدة	Good Adhesion
تيار خارجي	Impressed Current
كفاءة المثبط	Inhibitor Efficiency
فولاذ واطئ الكربون	Low Carbon Steel
نظرية الجهد المزدوج	Mixed-potential theory
الفحص المجهرى	Microscopic Examination
كاسحات الاوكسجين	Oxygen Scavenger
امتزاز فيزيائي	Physisorption
طريقة الاستقطاب	Polarization Method

المصطلح	المعنى
Porous	مسامي
Quenching	الآخماد
Reference Electrode	قطب مرجع
Sacrificial Anode	التضحية الانودية
Simple Immersion	الغمر البسيط
Surface Roughness	الخشونة السطحية
Tafel Extrapolation	استكمال تافل
Thermal Shock	الصدمة الحرارية
Toxic Inhibitors	مثبطات سامة
Transmittance	النفاذية
Vapor Corrosion Inhibitors	مثبطات الطور البخاري
Wave Number	العدد الموجي
Weld Decay	انحلال اللحام
Weight Loss	الوزن المفقود
Weight change	التغير بالوزن
Working Electrode	قطب عامل

قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
الفصل الأول - التآكل		
١	المقدمة	١-١
١	التآكل	١-٢
٢	التآكل الكهروكيميائي	١-٢-١
٣	حساب معدل التآكل	١-٣
٣	طريقة قياس معدل التغير بالوزن	١-٣-١
٤	طريقة تافل الاستقرائية	١-٣-٢
٤	انواع التآكل	١-٤
٤	التآكل المنتظم	١-٤-١
٥	التآكل النقري	١-٤-٢
٥	التآكل الكلفاني	١-٤-٣
٥	التآكل بين الحبيبات	١-٤-٤
٦	التآكل الفجوي	١-٤-٥
٦	التآكل بالنزع الانتقائي	١-٤-٦
٦	التشقق الناتج بتأثير البيئة	٧١-٤-
٦	التآكل بالتعرية	٨١-٤-
٩	التآكل بالاحياء المجهرية	١-٤-٩
٩	اضرار التآكل	١-٥
الفصل الثاني - الحماية من التآكل		

١٠	المقدمة	٢-١
١٠	اساليب الحماية من التاكل	٢-٢
١٠	اختيار المواد	٢-٢-١
١٠	التصميم	٢-٢-٢
١١	التغطيات	٢-٢-٣
١١	الطرق الكهروكيميائية	٢-٢-٤
١١	الحماية الكاثودية	٢-٢-٤-١
١٢	الحماية الانودية	٢-٢-٤-٢
١٢	تعديل الوسط الاكال	٢-٢-٥
١٢	ازالة الاوكسجين المذاب من الماء او المحاليل الطبيعية	٢-٢-٥-١
١٣	استخدام مثبطات التاكل	٢-٢-٥-٢
١٣	مثبطات التاكل	٢-٣
١٤	اختيار مثبطات التاكل	٢-٣-١
١٤	الخواص	٢-٣-١-١
١٤	الكلفة	٢-٣-١-٢
١٤	السمية	٢-٣-١-٣
١٥	توفر المثبطات	٢-٣-١-٤
١٥	كفاءة التثبيط مع سهولة التطبيق	٢-٣-١-٥
١٥	العوامل المؤثرة في كفاءة مثبطات التاكل	٢-٣-٢
١٥	درجة الحرارة	٢-٣-٢-١
١٦	سرعة الوسط	٢-٣-٢-٢

١٧	تركيز المثبط	٢-٣-٢-٣
١٨	انواع مثبطات التاكل	٢-٤
١٩	مكونات الاغشية	٢-٤-١
١٩	مكونات الطبقات الممتازة	٢-٤-١-١
٢١	اللية عمل المثبطات العضوية	٢-٤-١-١-١
٢٢	التركيب الكيميائي للمثبطات العضوية	٢-٤-١-١-٢
٢٢	العوامل المؤثرة في كفاءة المثبطات العضوية	٢-٤-١-١-٣
٢٣	درجة التغطية	٢-٤-١-١-٤
٢٣	نظريات الامتزاز	٢-٤-١-١-٥
٢٣	المثبطات المسببة للخمولية	٢-٤-١-٢
٢٤	مثبطات الطبقات المتحولة	٢-٤-١-٣
٢٤	كاسحات (قانسات) الاوكسجين	٢-٤-٢
٢٦	كاسحات (قانسات) الهيدروجين	٢-٤-٣
٢٦	المثبطات المتنوعة	٢-٤-٤
٢٧	مادة الهيدرازين المائية	٢-٥
٢٧	الخواص الفيزيائية لمادة الهيدرازين	٢-٥-١
٢٨	الهيدرازين كمثبط للتاكل	٢-٥-٢
٢٨	كبريتيت الصوديوم	٢-٦
٢٩	الخواص الفيزيائية والكيميائية لكبريتيت الصوديوم	٢-٦-١
٣٠	كبريتيت الصوديوم كمثبط للتاكل	٢-٦-٢
٣٠	البايروكالول	٢-٧

٣١	الخواص الفيزيائية والكيميائية لمادة البايروكالكول	٢-٧-١
٣٢	البايروكالكول كمثبط للتاكل	٢-٧-٢
٣٢	تنشيط التاكل بواسطة المنتجات الموجودة في الطبيعة	٢-٨
٣٣	اهم البحوث السابقة حول المثبطات العضوية	٢-٩
٣٦	الهدف من البحث	٢-١٠
<p>الفصل الثالث : الجزء العملي</p>		
٣٧	المقدمة	٣-١
٣٧	النماذج المستخدمة	٣-٢
٣٩	تحضير سطوح العينات	٣-٣
٣٩	مستلزمات عملية التنشيط	٣-٤
٣٩	المواد الكيميائية المستخدمة	٣-٤-١
٤٠	استخدام المثبطات	٣-٤-٢
٤٠	تأثير الغمر المسبق في محلول المثبطات في كفاءة عملية التنشيط	٣-٤-٣
٤٠	قياس الاس الهيدروجيني والموصلية الكهربائية للمحاليل	٣-٤-٤
٤٢	الكشف عن المجاميع الفعالة في المسحوق النباتي النقي	٣-٤-٥
٤٢	تعيين كفاءة المثبط	٣-٤-٦
٤٣	تعيين درجة التغطية	٣-٤-٧
٤٣	الاختبارات	٣-٥

٤٣	اختبارات التاكل	٣-٥-١
٤٣	اختبار الغمر البسيط	٣-٥-١-١
٤٤	تأثير درجة الحرارة	٣-٥-١-١-١
٤٤	الطريقة الكهروكيميائية	٣-٥-١-٢
٤٧	الفحص بمطياف الامتصاص الذري	٣-٥-١-٣
٤٧	اختبار التاكل بالتعرية	٣-٥-٢
٤٨	اختبار الصدمة الحرارية	٣-٥-٣
٤٨	اختبار الخشونة السطحية	٣-٥-٤
٤٩	اختبار الفحص المجهرى	٣-٥-٥

الفصل الرابع : النتائج

٥٠	المقدمة	٤-١
٥١	الكشف عن المجاميع الفعالة في المسحوق النباتي	٤-٢
٥٢	اختبارات التاكل	٤-٣
٥٢	طريقة الغمر البسيط	٤-٣-١
٥٢	ماء الحنفية الاعتيادي	٤-٣-١-١
٥٧	تأثير درجة الحرارة	٤-٣-١-١-١
٦٠	المحلول الملحي	٤-٣-١-٢
٦٢	المحلول الحامضي	٤-٣-١-٣
٦٤	الطريقة الكهروكيميائية	٤-٣-٢
٦٤	ماء الحنفية الاعتيادي	٤-٣-٢-١

٦٦	المحلول الملحي	٤-٣-٢-٢
٦٨	المحلول الحامضي	٤-٣-٢-٣
٧٠	الفحص بمطياف الامتصاص الذري	٤-٣-٣
٧٠	ماء الحنفية الاعتيادي	٤-٣-٣-١
٧١	المحلول الملحي	٤-٣-٣-٢
٧١	المحلول الحامضي	٤-٣-٣-٣
٧٣	اختبار التاكل بالتعريية	٤-٤
٧٣	ماء الحنفية الاعتيادي	٤-٤-١
٧٤	اختبار الصدمة الحرارية	٤-٥
٧٥	اختبار الخشونة	٤-٦
٧٥	ماء الحنفية الاعتيادي	٤-٦-١
٧٦	المحلول الملحي	٤-٦-٢
٧٦	المحلول الحامضي	٤-٦-٣
٧٧	الفحص بالمجهر الضوئي	٤-٧
٨٣	تأثير تركيز المثبط في درجة التغطية السطحية	٤-٨
الفصل الخامس : المناقشة		
٨٦	الكشف عن المجاميع الفعالة في المسحوق النباتي	٥-١
٨٦	اختبارات التاكل	٥-٢
٨٦	طريقة الغمر البسيط	٥-٢-١
٨٦	ماء الحنفية الاعتيادي	٥-٢-١-١

٨٨	تأثير درجة الحرارة	٥-٢-١-١-١
٨٩	المحلول الملحي	٥-٢-١-٢
٨٩	المحلول الحامضي	٥-٢-١-٣
٩٠	الطريقة الكهروكيميائية	٥-٢-٢
٩٠	ماء الحنفية الاعتيادي	٥-٢-٢-١
٩١	المحلول الملحي	٥-٢-٢-٢
٩٢	المحلول الحامضي	٥-٢-٢-٣
٩٢	الفحص بمطياف الامتصاص الذري	٥-٢-٣
٩٣	ماء الحنفية الاعتيادي	٥-٢-٣-١
٩٣	المحلول الملحي	٥-٢-٣-٢
٩٣	المحلول الحامضي	٥-٢-٣-٣
٩٤	اختبار مقاومة التآكل بالتعرية	٥-٣
٩٤	ماء الحنفية الاعتيادي	٥-٣-١
٩٥	اختبار الصدمة الحرارية	٥-٤
٩٦	اختبار الخشونة	٥-٥
٩٦	ماء الحنفية الاعتيادي	٥-٥-١
٩٦	المحلول الملحي	٥-٥-٢
٩٧	المحلول الحامضي	٥-٥-٣
٩٧	العلاقة بين تركيز المثبط ودرجة التغطية السطحية	٥-٦
الفصل السادس : الاستنتاجات والتوصيات		

٩٨	الاستنتاجات	٦-١
٩٩	التوصيات	٦-٢
١٠٠	المصادر	

الخلاصة

نظراً للطبيعة السمية والكلف العالية لبعض المواد الكيميائية المستخدمة كمثبطات للتآكل (في أنظمة تبريد المياه ، أصبح من الضروري اكتشاف **Corrosion Inhibitors**) مثبطات تآكل تكون أكثر فعالية وأقل كلفة من المواد المتواجدة حالياً كمثبطات وأخيراً أسهل أداء وأكثر كفاءة عند التطبيق .

البحث الحالي درس إمكانية استخدام المستخلص المائي (Equeous Extracts) لأحد أجزاء نبات طبيعي متوفر بكثرة في العراق (هذه الدراسة مقدمة للجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية للحصول على براءة اختراع) في تثبيط تآكل الفولاذ الكربوني في أوساط الكتروليتية مختلفة . ان المثبط الجديد ، يعد من المثبطات العضوية (Organic Inhibitors) .

أجريت اختبارات عديدة لتقويم أداء هذا المثبط الجديد . شملت هذه الاختبارات ، قياس مقاومة التآكل بطريقة الغمر البسيط (Simple Immersion Test) في محلول ماء الحنفية الاعتيادي ، المحلول الملحي والمحلول الحامضي وعند تراكيز مختلفة من المثبط الجديد ، علماً إن هذا الاختبار تم إجراؤه عند درجة حرارة الغرفة وقد وصلت كفاءة التثبيط (Inhibitor Efficiency) عند تركيز (٣%) حجماً من هذا المثبط الى ٨٦.٦٦% في محلول ماء الحنفية الاعتيادي و ٧٨.٩٤% ، ٩٨.٤٧% في المحلول الملحي والحامضي على التوالي .

تم دراسة تأثير ارتفاع درجات الحرارة (٦٠-٤٠)°C على كفاءة الأداء للمثبط الجديد في ماء الحنفية الاعتيادي وعند تراكيز مختلفة من المثبط الجديد وقد وجد ان كفاءة الأداء وعند التراكيز العالية من المثبط ، تزداد مع ارتفاع درجات الحرارة وقد وصلت كفاءة هذا المثبط في محلول ماء الحنفية الاعتيادي وعند درجات حرارة (٦٠,٥٠,٤٠)°C وفي تركيز (٣%) حجماً من المثبط الجديد الى ٨٨.٨٨% ، ٧١.٤٢% ، ٣٣.٣٣% على التوالي .

كما تم دراسة تأثير الغمر المسبق ولمدة (٢٤) ساعة في محلول المثبط الجديد وعند تراكيز مختلفة منه وأهمية هذه المعاملة في زيادة كفاءة عملية التثبيط ، عن طريق إتاحة الوقت الكافي لامتراز جزيئات المثبط الجديد على سطح المعدن وتكوين طبقة حماية تمنع اتصال سطح

المعدن بالوسط الأكال . ان كفاءة التثبيط للنماذج التي أجريت لها عملية الغمر المسبق في محلول (٣%) حجما من المثبط الجديد والتي أعيد غمرها في محلول ماء الحنفية الاعتيادي والمحلول الملحي والمحلول الحامضي المحتوية على المثبط الجديد وبنفس التركيز السابق ، قد ارتفعت الى ٩٣.٣٣% بالنسبة للنماذج المغمورة في ماء الحنفية الاعتيادي و ٩٤.٧٣% ، ٩٨.٨٥% بالنسبة للنماذج المغمورة في المحلول الملحي والحامضي على التوالي .

استخدمت طرق أخرى لقياس معدل التآكل ، مثل قياس كثافة تيار التآكل بطريقة الاستقطاب (Polarization Method) وقد وصلت كفاءة التثبيط في محاليل ماء الحنفية الاعتيادي ، المحلول الملحي والمحلول الحامضي وعند تركيز (٣%) حجما من المثبط الجديد الى ٨٣.٣٣% ، ٥٨.٨٢% ، ٩٤.١٩% على التوالي .

كما استخدمت في هذه الدراسة طريقة الفحص بمطياف الامتصاص الذري (AAS) وذلك للكشف عن تركيز ايونات الحديد المتواجدة في المحاليل الالكتروليتيّة المثبّطة وغير المثبّطة المذكورة سابقا ولتقييم أداء هذا المثبط الجديد في الأوساط المتحركة (ماء حنفية اعتيادي) ومقارنته مع أداء مثبّطات أخرى مثل الهيدرازين وكبريتيت الصوديوم وفي الوسط نفسه ، فقد اجري اختبار مقاومة التآكل بالتعرية (Corrosion-Erosion Test) وبأسلوب التقنية الدورانية وقد وصلت كفاءة الأداء للمثبط الجديد عند تركيز (٠.٥%) حجما الى ٨٨.٢٣% ، في حين وصلت كفاءة الأداء لكل من الهيدرازين وكبريتيت الصوديوم وعند تركيز (٣%) وزنا الى ٨٢.٣٤% ، ٥٢.٩٤% على التوالي .

أخيرا أجريت اختبارات إضافية لتقييم أداء هذا المثبط مثل اختبار الصدمة الحرارية (Thermal Shock Test) ، اختبار فحص الخشونة السطحية (Surface Roughness Test) وأخيرا اختبار الفحص المجهرى (Microscopic Examination) . أظهرت النتائج ان المثبط الجديد لم يكن بديلا للمثبّطات التقليدية فحسب ، بل كان دوره أفضل في شتى الاختبارات التي أجريت لتقييم الأداء ، فهو اقل كلفة كونه مادة طبيعية متواجدة بكثرة في القطر وأعلى كفاءة من بقية المثبّطات . إن أهم ما يميز المثبط الجديد انه سهل التطبيق ، غير ملوث للوسط وغير سام مقارنة مع المثبّطات التقليدية كالهيدرازين وكبريتيت الصوديوم التي تعد مثبّطات سامة ومسرطنة .



Abstract

Because of toxic nature and high cost of some chemicals currently in use as corrosion inhibitors in water cooling system . It is necessary to develop environmentally acceptable and less expensive inhibitors , natural products can be considered as a good source for this purpose.

This study represents an attempt to using the aqueous extracts of some parts of natural plant as corrosion inhibitor to protect carbon steel in different mediums . The new inhibitor is organic inhibitor .

Several test were conducted to evaluate the performance of new inhibitor . The tests include corrosion resistance by simple immersion in tap water , salt solution and acidic solution . Inhibitor efficiency in tap water , salt solution and acid solution at (3%) concentration of new inhibitor reached (86.66)% , (78.94)% , (98.47)% respectively .

The effect of temperature on the rate of corrosion of steel in tap water solution containing various concentration of new inhibitor were studied in the temperature ranges (40-60)°C for 24 hr . The result shows that at (3%) concentration of new inhibitor in tap

water at (40, 50, 60)°C the inhibition efficiency reached (33.33)% , (41.42)% , (88.88)% respectively .

The effect of (storage period) for 24 hr. at room temperature in various concentration of new inhibitor solution were studied also. The result show that this treatment increased the inhibition efficiency of new inhibitor , due to formation of a barrier film which prevent the attack of the environment on the metal surface.

Another tests have been carried out to evaluate the corrosion rate such as : Determination of corrosion current by polarization method , Atomic absorption spectroscopy test has been used to determine the concentration of (Fe²⁺) ions in solutions (inhibited and uninhibited).

In order to evaluate the new inhibitor efficiency in movement environments (tap water) , Erosion / Corrosion test has been carried out by using rotating technique. The new inhibitor efficiency at (0.5%) concentration reached (88.23%), while in the case of hydrazine , sodium sulfite at (3%) concentration , the inhibition efficiency reached (82.34)% , (52.94)% respectively .

And finally additional tests have been carried out to evaluate the performance of new inhibitor such as : thermal shock test , surface roughness test and microscopic examination test .

The result shows , that the new inhibitor is not only equivalent to commercially corrosion inhibitors , but has greatly improved properties such as: low cost , high efficiency and the important properties is easily to apply , non-toxic and nonpolluting as compared with commercially inhibitors (hydrazine , sodium sulfite) , which is considered toxic and cancering inhibitors.



Republic of Iraq
Ministry of Higher Education
and Scientific Research

University of Babylon

**New Organic Inhibitor
For protection of carbon Steel
in different Environments**

A Thesis

*Submitted to the College of Engineering of
University of Babylon in Partial Fulfillment of
Requirements for the Degree of Master of Science in
Materials Engineering*

By

Nawal Mohammed Dawood Al – Kurwi

(B.Sc.)

Supervised by

Dr. A. K. AL-Bikri

Dr. K. F. AlSultani

(July , ٢٠٠٦)

المقدمة Introduction

يعرف التآكل (Corrosion) بأنه تلف المعادن أو فقدانها لخواصها الكيميائية والفيزيائية عند تعرضها لوسط خارجي معادي أكال ، تعد عملية التآكل معضلة العصر ، إذ إن ما يتلف من أدوات ومعدات ومنشآت سنوياً بسبب عملية التآكل يقدر بالمليارات من عملات الدول الصناعية [١،٢،٣] .

تزداد مخاطر التآكل في الأنظمة الصناعية التي تستخدم المياه في أغراض التبريد أكثر من أي أغراض أخرى فالمكثفات ، المبادلات الحرارية ، المحركات والى آخره كلها تحتاج إلى المياه ، إن صيانة هذه الأنظمة مكلفة جداً ما لم يتم معاملة المياه وذلك لحماية الأنظمة من التآكل المتسبب للرواسب والنمو البايولوجي . من الطرق الشائعة لتقليل خطر التآكل في مثل هذه الأنظمة ، إستخدام المواد غير المعدنية أو السبائك المقاومة للتآكل (فولاذ مقاوم للصدأ) لصناعة المعدات التي تدخل في تركيبها ، أو تنقية مياه العمل كإستخدام المياه الأيونية بدلاً من المياه غير المعالجة [٤] .

تعد معاملة المياه من العمليات المهمة جداً في أنظمة التبريد (Cooling Systems) ، حيث أن هذه الأنظمة صممت من اجل تغيير نوعية المياه مع الإحتفاظ بكمياتها الكافية لمنع إحتمال التآكل (Corrosion) والتقشر (Scaling) بالإضافة إلى مواد أخرى لتحسين خواص المياه ضد نمو الأحياء ، أنظمة التبريد ممكن أن تصنف إلى مغلقة (Closed Systems) أو مفتوحة (Open Systems) إعتياداً على كون هذا النظام مغلقاً أو مفتوحاً بالنسبة للجو الخارجي [٥،٦،٧] .

من أكثر الطرق الإقتصادية شيوعاً في الحماية من التآكل في أنظمة التبريد ، هي إضافة مثبطات التآكل (Corrosion Inhibitors) وهي عبارة عن مواد عضوية أو لاعضوية أو عضوية معدنية (Organo-metallic) تضاف بكميات قليلة إلى المحيط الأكال وتؤدي إلى تخفيض سرعة التآكل بشكل ملحوظ وتحمي المعادن من التآكل . إن وظيفة المثبطات تتم بواسطة تكوين طبقة رقيقة على سطح المعدن ، أو بواسطة التداخل مع التفاعل الأنودي ، الكاثودي أو كلاهما [٦،٨،٩،١٠] ، خلال السنوات الماضية أصبحت لمثبطات التآكل أهمية كبيرة في حماية المعادن والسبائك من التآكل في مختلف نظم تبريد المياه ، ومع هذا مثبطات تآكل مطورة ذات تأثير قوي وشديد لازالت مفقودة ، هناك العديد من مثبطات التآكل قد أستخدمت للسيطرة على التآكل في أنظمة التبريد ، مثلاً الكرومات CrO_4^{2-} والتي تعد مثبط تآكل أنودي مقبول للمعادن الحديدية في الكثير من التطبيقات التجارية بسبب أداءها المتميز في الأوساط الغنية بالأوكسجين

والأوساط الخالية من الأوكسجين ، لكن السمية الكبيرة للكرومات وكلفته المرتفعة نوعاً ما قد قللت أو أعاققت إستخدامه في السنوات الأخيرة وبالنتيجة كان الإهتمام كبيراً في إكتشاف مثبطات تآكل تكون أكثر قبولاً من قبل الوسط المعني [٥,٦,٧,٩] .

المثبطات العضوية (Organic Inhibitors) تعد طريقة جيدة ، تستخدم بشكل واسع لحماية الحديد والفولاذ من التآكل في الأوساط الحامضية ، لكن مؤخراً المثبطات العضوية الحديثة والتي تم إكتشافها تجريبياً ، أظهرت تفوقاً واضحاً في المحاليل المتعادلة أو المحاليل الملحية ، المركبات العضوية وبشكل خاص الممتازة منها (Adsorbent) تقلل معدل التآكل ، أما بواسطة التداخل مع تفاعل التآكل ، أو بواسطة تكوين طبقة ممتزة تعيق المواقع الفعالة على سطح المعدن وتعمل كطبقة حماية [١١,١٢] .

الطبيعة السمية والكلف العالية للعديد من المثبطات العضوية المتواجدة حالياً ، دفعت الباحثين إلى تطوير مثبطات تآكل تكون أكثر قبولاً وأقل كلفة والمنتجات الطبيعية (Natural Products) ممكن إعتبارها مصدراً جيداً لهذا الغرض ، فالمنتجات الطبيعية ذات الأصل النباتي تحتوي العديد من المركبات العضوية مثلاً الصبغات (Pigments) ، الدباغة (Tannins) ، وأشباه الفلويديات (Alkaloids) وأخيراً الحوامض الأمينية والعضوية (Organic and Amino Acids) وأغلب هذه المواد تمتلك فعلاً تثبيطياً مناسباً [٩] .

١-١ المقدمة Introduction

تعد عملية التآكل من المشاكل الأساسية المهمة التي تواجه المهندس في ميدان العمل ، إذ إنّ المعدات التي تتلف سنوياً بسبب عملية التآكل تقدر بمليارات الدولارات ، لذا فمن الضروري دراسة هذه الظاهرة وبيان العوامل المسببة لحدوثها والأساليب الكفيلة للسيطرة عليها [٨,١٠] .

١-٢ التآكل Corrosion

تآكل المعادن ممكن أن يعرف بطرق عديدة منها :

إنه التفاعل الحاصل بين المعدن والمحيط والذي يؤدي إلى انحلال المعدن والتأثير في خواصه الميكانيكية والفيزيائية [١] ، أو يعرف في بعض الأحيان بأنه فشل يصيب المعدن ، ينتج

بسبب عوامل كيميائية أو كيميائية تساعدها عوامل ميكانيكية متوفرة في الوسط الذي يعمل فيه المعدن [١٣,١٤,١٥] .

وأخيراً يعرف التآكل بأنه العملية العكسية لاستخلاص المعدن من خاماته أي عودة المعدن إلى أصله . فعند استخلاص المعادن النقية من خاماتها لا بد من بذل مقدار من الطاقة ، كذلك فإن المعدن النقي سوف يكون مجبراً على التواجد في حالة تختلف عن الحالة التي كان عليها في الطبيعة كما هو الحال في أكسيد الحديد ، في حين نجد المعادن الثمينة لا تنزع إلى التآكل بل تبقى في حالتها النقية مثل الذهب والبلاتين [١,١٦] .

إنّ للمحيط دوراً كبيراً في حصول التآكل ، إذ إنّ قوانين علم الديناميكية الحرارية (Thermodynamic Principles) تحدد ميل المعدن للتآكل في أي وسط ولكنها لا تستطيع أن تحدد معدل تآكل المعدن في هذا الوسط ، ويمكن تحديد ميل المعدن للتآكل في أي وسط من العلاقة الآتية :

$$\Delta G = - nFE \dots\dots\dots (١-١)$$

إذ إنّ :

ΔG = التغير في الطاقة الحرة .

n = عدد الالكترونات المشتركة في التغير .

F = ثابت فراداي .

E = جهد القطب للمعدن .

فإذا كان التغير بالطاقة الحرة المصاحبة للتفاعل مقداراً سالباً ، فهذا يعني إن التفاعل تلقائي ويصاحب حدوثه تحرير طاقة كما في المغنيسيوم والنحاس . أما إذا كان التغير بالطاقة الحرة المصاحبة للتفاعل مقداراً موجباً فهذا يعني أن التفاعل لا يحصل بشكل تلقائي ولأجل حدوثه يحتاج إلى طاقة مثل الذهب والبلاتين [١٧,١٨] .

يصنف التآكل بطرق عديدة ومختلفة ومن هذه التصنيفات :

- التآكل الكيميائي المباشر (التآكل الجاف) .
Direct Chemical Corrosion (Dry Corrosion)
- التآكل الكهروكيميائي (التآكل الرطب) .
Electrochemical Corrosion (Wet Corrosion)

فالتآكل الجاف يحدث بوجود وسط غازي محيط بالمعدن ويترافق دائماً مع درجات الحرارة العالية . أما التآكل الرطب فيكون الوسط المحيط محاليل مائية أو الكتروليتات ، وناتج التآكل في التفاعل الكهروكيميائي يكون أكثر خطورة من ناتج التآكل في التفاعل الجاف .

إن نواتج التآكل لها تأثير كبير على معدل التآكل فهي تحدد استمرار أو توقف التآكل حيث إنها تكون بمرور الزمن طبقة كثيفة على المعدن [٣,٨] .

١-٢-١ التآكل الكهروكيميائي *Electrochemical Corrosion*

هذا النوع من التآكل يتسبب عن تفاعل كيميائي حقيقي بين الوسط والمعدن أو التركيب مصحوباً بانتقال الإلكترونات بين موقعين على السطح أحدهما ذو كثافة الكترونية عالية وموقع آخر ذو كثافة واطئة ، أو بين نقطتين أحدهما ذات جهد كهربائي واطيء والأخرى ذات جهد كهربائي عالٍ ووجود محيط أو محلول الكتروليتي هو المحيط الآكل ، في هذا النوع من التآكل يتحول المعدن إلى أيوناته ويذوب في المحيط (عند الأنود) طبقاً للتفاعل الآتي [٨] :



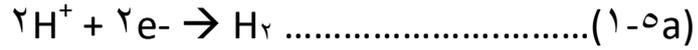
تنتقل الإلكترونات الناتجة إلى منطقة الكاثود حيث تكتسب أيونات المعدن أو أيون الهيدروجين الإلكترونات المتجمعة عند الكاثود وتختزل عند سطحه فيتحرر الهيدروجين أو تترسب المعادن أو يختزل غاز الأوكسجين كما في المعادلات التالية [٨] :



معدل التفاعل الأنودي والكاثودي يجب أن يتساوى طبقاً إلى قانون فراداي (Faraday's Law) ويمكن تخمينها بواسطة السريان الكلي للإلكترونات والذي يدعى بتيار التآكل (Corrosion Current) [١٩] .

أغلب تفاعلات التآكل هي كهروكيميائية في طبيعتها ، وأهم التفاعلات الكهروكيميائية في تآكل الحديد تتمثل بما يلي :





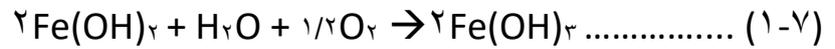
أو



تفاعل (1-5a) هو التفاعل الشائع في الحوامض . عند قيم pH تتراوح بين (6.5-8.5) التفاعل الكاثودي الأكثر أهمية هو اختزال الأوكسجين (1-5b) . في هذه الحالة ، التآكل يكون مصحوباً بنواتج التآكل الصلبة .



هيدروكسيد الحديدوز $Fe(OH)_2$ الذي هو أحد أنواع الصدأ ، يكون لونه أبيض في حالته النقية ، لكن وجود كمية ضئيلة من الأوكسجين المذاب في الماء يؤدي إلى تأكسد هيدروكسيد الحديدوز إلى هيدروكسيد الحديد $Fe(OH)_3$ والذي يؤدي بدوره إلى تلويين الصدأ باللون الأسود أو البني الداكن أو الأخضر وذلك يعتمد على كمية أيونات الحديد (Fe^{+3}) في هذا المركب [٢,١٩,٢٠] .



الصدأ المترسب نتيجة تفاعل (1-7) يكون مسامياً وغير حامي ولذلك فهو يكون غطاءً مؤذياً يشجع استمرار التآكل [٢,٢٠] .

٣-١ حساب معدل التآكل Calculation of Corrosion Rate

هناك وسائل عديدة لقياس معدل التآكل منها حساب معدل التغير في الوزن لوحدة المساحة في وحدة الزمن . إن قيمة معدل التآكل لها أهمية كبيرة من الناحية الهندسية ، حيث ان ذلك يساعد على تحديد العمر الفعال للقطعة المستخدمة في وسط ما تحت ظروف محددة .

يمكن معرفة ميل المعدن للتآكل في وسط ما باستخدام السلسلة الكهروكيميائية (Electrochemical Series) لكن هذه الجداول والبيانات لا تعطي قيمة رقمية لمعدل التآكل . في حالات كثيرة ممكن استخدام العلاقة (1-1) المذكورة سابقاً لإيجاد ميل التآكل . ان معدلات

التآكل تبلغ قيمة ممكن العمل بها من خلال قياس معدل التآكل بإحدى الوسائل الكهروكيميائية كقياس تيار التآكل أو طريقة تافل وفي هذه الحالة يعبر عن معدل التآكل بمقدار كثافة التيار (Current Density) [٣] .

ان معرفة معدل التآكل معبر عنه بـ (mdd) تؤدي إلى معرفته معبراً عنه بـ (mpy) والعكس صحيح أيضاً ، ويتطلب ذلك معرفة الكثافة النسبية للمادة أو الوزن النوعي وحسب القانون الآتي [١٤] :

$$R(\text{mpy}) = (1.44/\rho) \times R(\text{mdd}) \dots\dots\dots (١-٨)$$

١-٣-١ طريقة قياس معدل التغير بالوزن *Weight Change Method*

تتلخص هذه الطريقة بغمر عينة موزونة وذات مساحة معلومة من المعدن في الوسط التآكلي لفترة معلومة من الزمن ثم وزنها بعد مضي هذه الفترة وذلك بعد رفعها من الوسط التآكلي وغسلها جيداً بالماء المقطر والكحول بقصد تجفيفها ، يحسب الفرق في وزن المعدن قبل وبعد غمره في الوسط التآكلي ممثلاً الكمية الذائبة نتيجة لعملية التآكل ، تم إجراء هذا الاختبار في درجة حرارة الغرفة [١٥،١٧،٢١] .

١-٣-٢ طريقة تافل الاستقرائية *Tafel Extrapolation Method*

استخدمت طريقة استكمال تافل لقياس معدل التآكل من قبل واكنر (Wagner) و تراود (Traud) لإثبات نظريتهما وهي نظرية الجهد المزدوج (Mixed-potential Theory) . هذه الطريقة تعتمد على القراءات التي يمكن الحصول عليها من كلا منحنى الاستقطاب المصعدي (Anodic Polarization) والمهبطي (Cathodic Polarization).

ولرسم منحنيات الاستقطاب عملياً يتطلب بناء دائرة كهربائية تتضمن استخدام أجهزة خاصة منها جهاز المجهاد الساكن (Potentiostat) والقطب المساعد (Auxiliary Electrode) الذي يكون عادة من معدن نبيل مثل البلاتين والقطب المرجع (Reference Electrode)

(Electrode) من الكالوميل المشبع ، إضافة إلى القطب العامل (Working Electrode) وهو النموذج المراد قياس معدل التآكل له في الوسط المعني . ويتم امرار التيار المصعدي أو المهبطي من خلال قطب يدعى القطب المساعد أما جهد القطب العامل فيقاس بالنسبة إلى القطب المرجع. إن دقة قياس معدل التآكل باستكمال تافل تكون في أغلب الأحيان مقاربة لطريقة فقدان بالوزن التقليدية ، مع أنها تفضل على طريقة فقدان بالوزن من حيث أنها تمكنا من قياس معدلات تآكل منخفضة جداً إضافة إلى التآكل الموضعي . أما تحديدات استخدام هذه الطريقة فهي إنها لا تكون صحيحة إلا عندما تتضمن عملية التآكل تفاعلاً مهبطياً واحداً ، كذلك المدى الواسع من الجهد الذي يجب تسليطه للحصول على منطقة تافل [١٧، ١٤، ٨، ١] .

٤-١ أنواع التآكل Types of Corrosion

هناك أنواع رئيسية للتآكل تتخذ أشكالاً مختلفة تعتمد على نوع وظروف الوسط ولكل نوع سبب يختلف عن بقية الأنواع ، واهم هذه الأنواع :

٤-١-١ التآكل المنتظم *Uniform Corrosion*

إن هذا النوع هو أكثر الأنواع شيوعاً ، إذ يحصل فيه تآكل لجميع أجزاء سطح المعدن بنفس المعدل تقريباً ، إذ من الممكن أن يحدث هذا التآكل في الظروف الرطبة أو الظروف الجافة .

هذا النوع من التآكل أقل خطورة من بقية الأنواع من الناحية التكنولوجية ، حيث إنه بالإمكان تقدير عمر القطعة المعدنية أو الجزء الذي يتعرض للتآكل بدقة والأمثلة على هذا النوع متعددة منها انحلال الفولاذ الكربوني في حامض الهيدروكلوريك المخفف (HCl) وفقدان فلز الفضة لبريقه وعملية إظهار البنية المجهرية (Etching) [١٧، ١٥، ١] .

١-٤-٢ التآكل النقري *Pitting Corrosion*

هو عبارة عن تآكل موضعي شديد ، يؤدي إلى حصول حفر أو ثقوب في سطح المعدن مما يؤدي إلى خشونة السطح . يعد هذا النوع من التآكل خطيراً بسبب صعوبة الكشف عن النقر لصغر حجمها إضافة إلى تغطيتها بنواتج التآكل مثل تنقر الألمنيوم والفولاذ المقاوم للصدأ في محاليل الهالوجينات بتأثير الكلورين [٢٣, ١٨, ١] .

١-٤-٣ التآكل الكلفاني (التآكل بين معدنين) *Galvanic Corrosion*

هذا النوع من التآكل هو تآكل موضعي ، يعود سببه إلى وجود معدنين مختلفين يكونان على تماس مع بعضهما البعض مع وجود وسط ناقل للكهربائية . في هذه الحالة يزداد معدل تآكل أحدهما ويقل معدل تآكل الآخر وذلك بالنسبة إلى معدل تآكل كل منهما عندما يتعرضان منفردين إلى هذا الوسط ويكون المعدن الذي يزداد معدل تآكله بعد التماس مصعداً (أنوداً) والمعدن الذي انخفض معدل تآكله بعد التماس مهبطاً (كاثوداً) ويصبح معدل تآكل المهبط في هذه الحالة منخفضاً جداً أو معدوماً . إن وجود فرق في الجهد الكهربائي بين المعدنين يؤدي إلى نشوء التيار الكلفاني المسبب لهذا النوع من التآكل [١٦, ١٨, ٢٢] . تؤثر مساحة المصعد والمهبط في هذا النوع من التآكل ، لذا يفضل أن تكون مساحة المهبط صغيرة جداً بالنسبة لمساحة المصعد [٨] .

يمكن ملاحظة الفعل الكلفاني (Galvanic-Action) وذلك بحدوث زيادة واضحة في معدل التآكل بالقرب من الوصلات بين فلزين مختلفين ومثال على هذا النوع تآكل جهاز قياس خط التوتر المصنع من معدن الألمنيوم المربوط بحلقة من الفولاذ المقاوم للصدأ الاوستنايتي نوع (٣٠٤) .

١-٤-٤ التآكل بين الحبيبات *Intergranular Corrosion*

هو نوع من أنواع التآكل الموضعي الذي يحصل على طول منطقة حدود الحبيبات ، يحصل هذا النوع من التآكل نظراً لوجود اختلاف في الخواص الميتالورجية لهذه المنطقة عن المناطق الأخرى فتكون حدود الحبيبات أكثر نشاطاً للتفاعل مع الوسط من مناطق الحبيبات نفسها [٢٢, ٢٤] .

مثال ذلك تآكل منطقة التأثير الحراري للفولاذ المقاوم للصدأ S.S ٣٠٤ (٨ نيكل/١٨ كروم) الملحوم والتي تعرف بظاهرة انحلال اللحام (Weld Decay) وذلك بسبب ترسب الكربيدات عند مناطق حدود الحبيبات في هذه المنطقة [٢٢, ٢٤] .

١-٤-٥ التآكل الفجوي (التصدعي) *Crevice Corrosion*

هو تآكل موضعي شديد يتراوح من نخر صغير إلى منطقة متآكلة واسعة ، ينشأ هذا النوع من التآكل بسبب التصميم غير الجيد مع وجود اختلاف في طبيعة الوسط في المنطقة المتآكلة عن بقية أجزاء سطح المعدن مسبباً نشوء خلايا تركيزية متباينة ينشأ عنها قطبا التآكل من نفس المعدن ومثال ذلك تآكل المنطقة المغطاة بالطين أو الترسبات على بعض المعادن [١, ١٦] .

١-٤-٦ التآكل بالنزع الانتقائي *Selective Leaching Corrosion*

هو انحلال إحدى مكونات السبيكة وهو العنصر الأكثر نشاطاً وبقاء العنصر أو العناصر الأخرى وهذا يؤدي إلى فشل موضعي ومثال ذلك إزالة الخارصين من سبيكة البراص وبقاء النحاس وتدعى هذه الظاهرة عندئذ (De-zincification) [١, ٣, ١٨] .

٧-٤-١ التشقق الناتج بتأثير البيئة

Environmental Assisted Cracking

هو عبارة عن تآكل موضعي يتميز بظهور شقوق على سطح المعدن تؤدي إلى الكسر أحياناً بسبب تعرض المعدن إلى إجهادات شد داخلية أو خارجية في وسط يساعد على تخليق ونشر هذه الشقوق ومثال على ذلك المناطق المجهدة في الفولاذ الكربوني عند تعرضه إلى محاليل الصودا الكاوية أو تشقق الفولاذ المحمي كاثودياً بسبب تغلغل الهيدروجين الذري أو حصول التشقق ثم الكسر بسبب وجود الاجهادات المتكررة في وسط التآكل . من الأمثلة عليه التشقق الاجهادي (Corrosion Stress) ، الكلال التآكلي (Corrosion Fatigue) ، والتقصيف الهيدروجيني (Hydrogen Embrittlement) [١,٣,٢٢] .

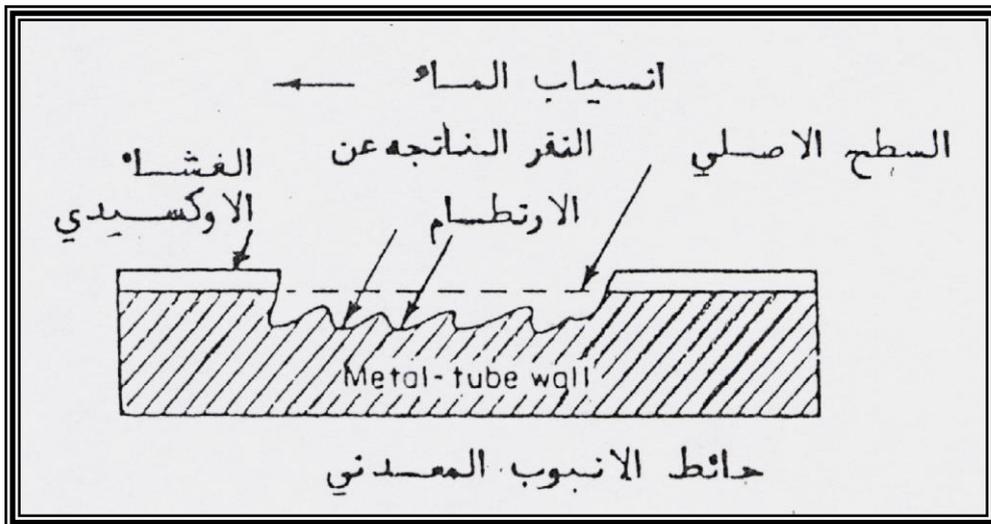
٨-٤-١ النّآكل بالتعرية *Corrosion Erosion*

هو تآكل موضعي يسببه التأثير الميكانيكي مع الطبيعة الكهروكيميائية لوسط التآكل ، يتضمن انحلال المعدن من السطح بشكل أيونات ذائبة ، وقد تشكل هذه الايونات نواتج تآكل راسبة تنجرف بعيداً عن سطح المعدن ، ومثال على ذلك التآكل الحاصل في أنبوب مبادل حراري يتعامل مع الماء ، أو انفجار فقاعات بخار الماء على سطح المعدن ، أو التآكل بسبب الحركة الاهتزازية بين سطحي المعدنين ، من حالاته الخاصة التلف التجويفي (Cavitation Damage) والتآكل بالحك (Fretting Corrosion) [١,٣,١٤] والشكل (١-١) يوضح التآكل بالتعرية بسبب الفعل الارتطامي في منطقة انحناء الأنبوب (المرفق) [١,١٤] .



الشكل (١-١) : التآكل بالتعرية بسبب الفعل الارتطامي في منطقة انحناء الأنبوب [١٥١٤] .

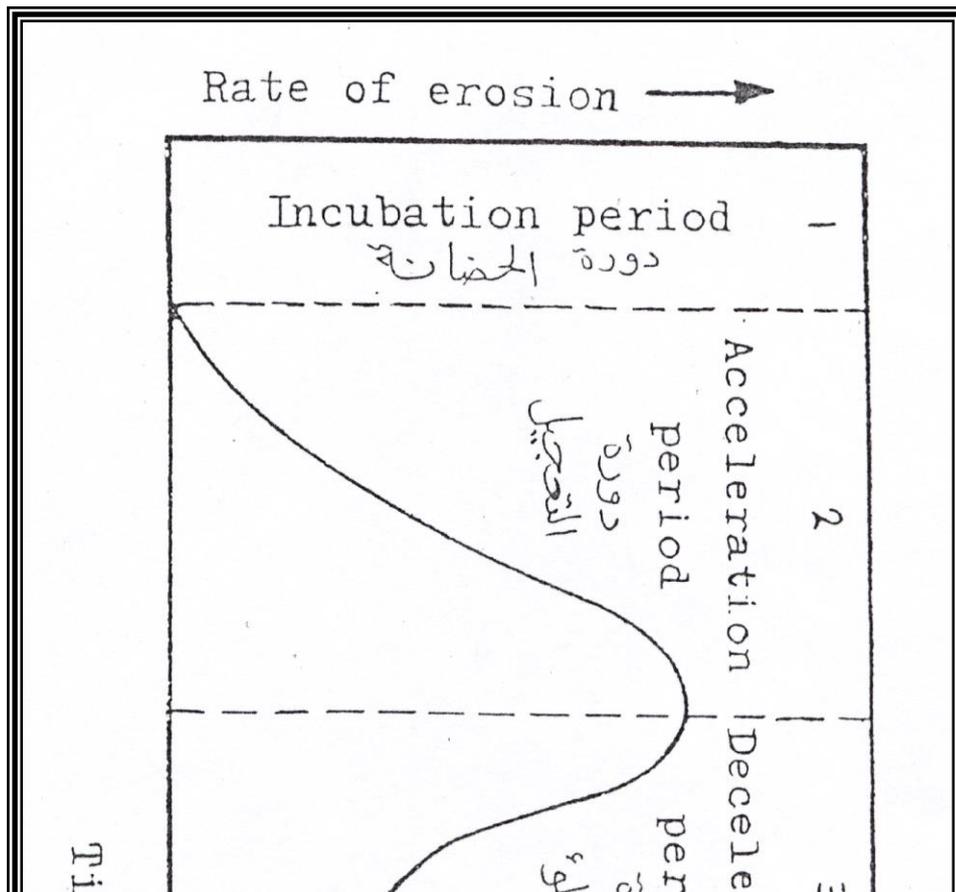
التآكل بالتعرية ممكن أن يتفاقم نتيجة التشغيل الخاطيء مثلاً ، التكتلات المتروكة في نهايات تقاطع الأنابيب والتي ممكن أن تعكس مجرى المياه ، مسببة اضطراباً موضعياً وسرع جريان عالية والتي تؤدي إلى التآكل بالتعرية ، كما إن مصاحبة التآكل للتعرية ممكن أن يؤدي إلى معدلات تنقر عالية [١٠] . إن الميكانيكية الأساسية للتعرية هي إزالة المعدن بواسطة تشوه لدن ناتج من الجريان المضطرب (Turbulent Flow) للغاز أو البخار أو السائل أو انهيار فقاعة وإحداث فجوة أو تجويف [٢٥] . يوصف شكل التآكل المصاحب للتعرية بظهور نتلمت وأخاديد أو تموجات أو حفر مستديرة [١،١٥،٢٥] كما في الشكل (١-٢) [١٤] .



الشكل (١-٢) : التآكل بالتعرية في جدار أنبوب مكثف [١٤].

أما العوامل التي تؤثر في التآكل بالتعرية فهي طبيعة المعدن أو السبيكة من حيث الصلادة ، التركيب الكيميائي ونوع طبقة الاوكسيد المتكون إضافة إلى سرعة السائل وطبيعة الجريان والتصميم . إن الأوساط التآكلية التي تسبب التآكل بالتعرية كثيرة أهمها الغازات ، المحاليل المذابة ، المواد العضوية والمعادن المصهورة . وتعد الأجسام الصلبة العالقة بالسوائل عوامل مساعدة لحدوثه . أما الأجزاء التي تتعرض لهذا النوع من التآكل فهي أنابيب المبادلات الحرارية ، ريش التوربين ، فتحات مجاري المياه والأجهزة المعرضة للرداذ وغيرها [١٥] .

الباحث (Thiruvengadan) يبين أن سلوك المعادن في أوساط غير أكالة يمكن تمثيله في الشكل (١-٣) [٢٦] . وكما مبين بالشكل هناك أربعة مناطق في المنحني هي فترة التريث يتبعها تعجيل معدل فقدان حتى يصل إلى القيمة العليا ثم يبدأ بالانخفاض والتباطيء إلى أن يصل إلى مرحلة الاستقرار [٢٥,٢٦] .



٩-٤-١ النّآكل بالأحياء المجهرية *Microbiological Corrosion*

وهو التآكل الناتج عن نشاط وحركة أحياء مجهرية (Micro-Organisms) وكمثال على ذلك النشاط البكتيري في ماء البحر يمكن أن يؤدي إلى زيادة مستوى كبريتيد الهيدروجين (H_2S) المذاب في الماء وهذا يمكن أن يؤدي إلى مجموعة من التأثيرات التآكلية على الفولاذ [٣, ١٧] .

٥-١ أضرار التآكل Corrosion Damage

أضرار التآكل كثيرة ومتنوعة وتأثيراتها السلبية على السلامة وكفاءة عمل الأجهزة أو تركيبها تكون غالباً أكثر أهمية من فقدان البسيط في وزن المعدن ، فالفشل يكون بأشكال مختلفة ومن ثمّ الاحتياج إلى بدائل تكون عادة عالية الثمن لا بد منه حتى إذا كان مقدار الفشل في المعدن صغيراً ، بعض التأثيرات المؤذية للتآكل ممكن اختصارها كما يلي [١٩, ٢٧] .

١. الأخطار والجروح التي تصيب البشر نتيجة فشل الوحدات (التراكيب) أو عطلها (مثلاً الجسور ، السيارات والطائرات) .
٢. التقليل في سمك المعدن يؤدي إلى التقليل من مقاومته الميكانيكية ومن ثمّ فشل الوحدة أو عطلها .
٣. التقليل من قيمة البضائع نتيجة تدهور مظهرها .
٤. تلوث الموائع في الأنابيب والأوعية نتيجة الكميات الصغيرة من المعادن الثقيلة التي تتسرب إليها بفعل التآكل .
٥. ثقب الأوعية والأنابيب ومن ثمّ تسرب محتوياتها والتي من المحتمل أن تلوث المحيط ، مثلاً مياه البحر الأكلة ممكن أن تدخل المراحل أو محطات الطاقة إذا كانت أنابيب التكثيف مثقوبة .
٦. الاحتياج إلى مزيد من الطاقة لضخ الموائع داخل الأنابيب نتيجة زيادة مقاومة الاحتكاك بفعل الزيادة في درجة خشونة السطح الداخلي للأنابيب بفعل التآكل .

٧. التلف الميكانيكي للصبامات والمضخات ، إلى آخره أو إعاقة الأنابيب (Pipes) بواسطة نواتج التآكل الصلبة .

٨. ضرورة تطبيق الصيانات الدورية الضرورية ، كالطلاء بالبويات وهذا يتطلب تكاليف مستمرة .