تـأثير الأوساط المـائية المختلفة علي سلوك تـآكل الفولاذ المتوسط الكربون

د. نجيب علي يحيى ، د. مطيعة محمد أحميدة ، م. ايمن جمعة الأوسطي ، م. عبدالسميع حسين شلغوم
قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية– كلية الهندسة
جامعة الزاوية

ملخص البحث:

يُعد التآكل من المشاكل المهمة التي تحدث للمنشآت الهندسية و الصناعية وخاصة لـــبعض أجزاء المكائن والمعدات بعد تصنيعها وعند الاستخدام نتيجة تعرضها لأوساط أكالة، ومـــن أهـــم المعادن التي تتعرض لهذه المشكلة الفولاذ الكربوني إذ يستخدم بكثرة في الصـــناعة والتطبيقـــات الهندسية.

لذا تم اعتماد أحد أنواع الفولاذ الكربوني الأكثر استخداما في الصناعة ليكون موضوع الدراسة وهو الفولاذ المتوسط الكربون وأُخذت عينات من هذا الفولاذ وتم تجهيزها وذلك باستخدام القطع والتجليخ والتنظيف وكانت أوساط التآكل المستخدمة في البحث هي ماء المطر وماء الشرب وماء البحر.

حيث تم تحديد زمن التعرض للأوساط المائية (30، 60، 90، 120) يوم، وباستخدام طريقة الفقدان في الوزن لمعرفة معدلات التآكل والمقارنة بين النتائج المتحصل عليها.

وبينت النتائج المتحصل عليها أن معدل التآكل في الفولاذ المتوسط الكربون في الماء المالح يكون أعلي مما هو عليه في ماء الشرب وماء المطر. ووجد أيضا أنه كلما كان زمن التعرض لوسط التآكل أطول كان معدل التآكل أقل مع بقاء استمرار الزيادة في فقدان الوزن.

1. المقدمة

1.1 ظاهرة التآكل

أهم التغيرات التي تتأثر بشكل كبير بالبيئة المحيطة بالمعادن هي ظاهرة التآكل والتي نالت اهتمام الباحثين بشكل واسع ويعد الفولاذ وسبائكه من المعادن والسبائك الواسعة الاستخدام في التطبيقات المختلفة حيث يستخدم في صناعة السيارات والسفن والجسور والمطارات والآلات والخزانات والمبادلات الحرارية وأعمدة نقل الطاقة وغيرها.

من الأمثلة الشائعة لعملية التآكل هو شكل الصدإ على الحديد، إن معظم عمليات التآكل هي ذات طبيعة كهروكيميائية تنشأ من حدوث التفاعلات على سطح المعادن. يسبب التآكل خسائر سنوية تقدر بملايين الدولارات، فالتآكل يحول المنشآت الجديدة إلى هياكل محطمة والماكينات والمحركات إلى أكوام غير صالحة للاستعمال[1].

وتعتبر ظاهرة التآكل من أخطر المشاكل التي تواجه الصناعات، إذ أنه لا غنى في الصناعات عن الأكسجين والماء والحوامض وغيرها التي تعتبر من المسببات الرئيسية لظاهرة التآكل.

لذا فإن التآكل هو أحد أكثر العوامل الإتلافية التي يجب علينا التصدي لها من خلال الحماية من التآكل بواسطة عدة طرق منها الحماية الكاثودية، الأنودية أو بواسطة التغطية بطبقة معدنية مثل الزنك أو الحماية باستعمال مانعات التآكل وغيرها [2].

ولذلك تعتبر ظاهرة التآكل جديرة بالأهمية وأصبحت من ضمن التخصصات المهمة للدراسة الهندسية والأعمال البحثية ومازال البحث متواصل في هذا المجال.

2.1 أهمية الفولاذ المتوسط الكربون واستخداماته

الفولاذ المتوسط الكربون يحتوي علي كربون بنسبة من 0.25 % إلي 0.6 % يتم معالجة هذا النوع من الصلب بعمل تبريد سريع له حيث يؤدي ذلك إلي تحسين في خواصه الميكانيكية كما يضاف إليه بعض العناصر لتكوين سبائك مختلفة ذات خواص ميكانيكية جيدة من هذه العناصر الكروم والمولبيدنيوم.كما يمكن زيادة مقاومة الصدأ بإضافة عنصر الألمنيوم أو السليكون وهما عنصران يذوبان في الحديد ويكونان في أثناء التسخين قشرة واقية من الاكاسيد[3].

يستخدم الفولاذ في صناعة الأدوات التي لا تتعرض للصدمات مثل : أنابيب المياه وأنابيب الغاز، ويستخدم في صنع المغناطيسات الكهربائية المؤقتة المستخدمة في الأجهزة الكهربائية، كما يستخدم في صناعة قضبان التسليح المستخدمة في البناء، وكذلك تستخدم في صناعة السفن وقضبان سكك الحديد والجسور.

الفولاذ الكربوني(carbon steel) المستخدم في هذا البحث من الفريت (Ferrite) والبرليت (Pearlite)، حيث يمثل الفريت طورًا أحاديا (Single phase) ، أمّا البرليت فيمثل طورين مختلفين (Two phases) هما الفريت والسمنتيت، ويعطي الطوران المختلفان خواص ميكانيكية متميزة لكنهما أكثر عرضة للتآكل من البنية المجهرية ذات الطور الأحادي، إذا تتشكل خلايا التآكل (Micro- galvanic corrosion cell) الجلفاني المجهرية بسبب اختلاف الجهد المتوقع بين الطورين المجهريين، ويعد الفولاذ الكربوني أكثر عرضة للتآكل ؛ وذلك بسبب كثرة تطبيقاته واستخداماته الهندسية والصناعية. ويؤدي التآكل بواسطة الماء دورًا هامًا في العديد من المنشآت الهندسية والصناعية منها ،أنابيب نقل المياه والنفط، ومعدات تسخين الماء وخزانات الماء، والمصانع، والجسور، والمنشآت البحرية، والسفن، والطائرات، ووسائط النقل البري [4].

ويشبه سلوك الماء كوسط تآكل سلوك المحيط الجوي من حيث توافر محلول مائي موصل للكهرباء بصورة دائمة وتوافر عامل مؤكسد وهو الأوكسجين المذاب، لذا فإن التآكل بواسطة الماء يصنف كنوعٍ من نوعاً التآكل الكهروكيميائي.

تم التركيز في هذه الدراسة على سلوك التآكل في الفولاذ المتوسط الكربون الذي يحتوي نسبًا مختلفة من الكربون، وذلك لمعرفة مدى تأثير البنية المجهرية للفولاذ المتوسط الكربون في مقاومة التآكل؛ وذلك باختيار أوساط التآكل الآتية:

ماء الشرب (Drinking water) وماء المطر (Rain water) والماء المالح (Salt water)

3.1 الدراسات السابقة:

إن للتآكل علاقة وثيقة بنوعية المادة المعرضة للتآكل وبنوعية الوسط المسبب للتآكل، وهناك عدد كبير من الأوساط المساعدة على التآكل التي تظهر منها أنواع مختلفة من التآكل، لعل

أهم تلك الأوساط المحيط الجوي والماء والتربة والأحماض والأملاح، وعند إجراء الفحوصات والاختبارات الخاصة بظاهرة التآكل في وسط ما ولمعدن معين، لابد أولاً من التحليل الدقيق لكل من الوسط والمعدن، وذلك لغرض تحديد نوع التآكل الذي سوف يسببه، وبناء عليه يتم استنتاج الطرق الكفيلة للحماية منه. ولأهمية الفولاذ الكربوني واستخداماته في عدة أوساط بيئية مختلفة وفي الإنشاءات الصناعية فهناك العديد من الأبحاث المنشورة الخاصة بدراسة التآكل وتأثير زمن التآكل ومعدلاته.

حيث قام الباحث (خالد عثمان شرف) [3] بدراسة سلوك الفولاذ الكربوني في الأوساط المائية واستخدم عدة انواع من الفولاذ في أوساط التآكل الأكثر شيوعا وهي الماء المالح وماء الشرب وغمر العينات في مدد زمنية مختلفة وباستخدام طريقة الوزن المفقود تم حساب معدل التآكل وكذلك دراسة محتوى الكربون وتأثيره على معدلات التآكل حيث استنتج ان ازدياد نسبة الكربون يزيد معدل التآكل وأيضا معدل التآكل في الماء المالح أعلى من ماء الشرب.

وقام الباحث (Takasaki S.) [5] وزملاؤه بدراسة تأثير زمن التعرض للتآكل في معدلات التآكل للفولاذ الكربوني الطري (Mild steels) وقد استنتج أن زيادة زمن التعرض للتآكل يقلل من معدلات التآكل، واستنتج أيضا أن معدلات التآكل تزداد بازدياد تركيز الأيونات. كما درس الباحث (Wall F.) [6] وزملاه تأثير زمن التعرض للتآكل في معدل التآكل، حيث وجد تناقصًا في معدلات التآكل بمرور الوقت، وعللوا ذلك بوجود الصدأ وطبقات التآكل التي تميل إلى تخفيض معدل التآكل، وقد تشكل هذه الطبقات أغشية واقية تقلل من تفاعل سطح المعدن مع وسط التآكل.

واستنتج الباحث(Corvo F.) [7] وزميله أن سبب اختلاف معدلات التآكل للفولاذ الكربوني في الأوساط الجوية هي التي تسبب تعجيل اختلاف تركيز أيونات الكلوريدات معدلات

التآكل ولاسيما المناطق المتعرضة للأمطار ولأوقات مستمرة أو في المناطق البحرية، و تؤدي زيادة تركيز أيونات الكلوريدات إلى زيادة الموصلية التي تزيد من معدل التفاعل الكهروكيميائي، وبذلك يزداد معدل التآكل .واستنتج الباحث [8](Garcia K.) وزملاؤه أن زيادة تركيز أيونات الكلوريدات سيزيد من الفقدان في الوزن للفولاذ الكربوني وكذلك معدلات التآكل و الموصلية أيضًا.

2. تجهيز عينات الاختبار:

- تم أخذ قطع من الفولاذ المتوسط الكربون ونظرا لوجود بعض الترسبات والصدأ على سطح القطعة فقد تم إجراء عملية التجليخ وكذلك عملية التنظيف باستخدام الفرشاة.
- بعد الانتهاء من عملية التنظيف أجريت عمليات التشغيل الميكانيكي التي تضمنت القطع والتجليخ، إلى أن تم الحصول على العينات جميعها بشكل متوازي المستطيلات بأبعاد (30*20*5mm).
- تم ثقب العينات بواسطة المثقاب الكهربائي من إحدى الزوايا بقطر (3 mm) لغرض تعليقها في أوساط التآكل.
- تم تنظيف العينات بواسطة ورق السنفرة الناعم والخشن معا حيث تم استخدام الورق نوع (AA-400) و (AA-80).
- وبعد الانتهاء من كل العمليات التنظيف والقص والثقب تغسل النماذج بالماء المقطر وتجفف باستخدام المجفف الكهربائي، ويتم وزن كل عينة علي حدة بواسطة الميزان الحساس المستخدم في وزن الذهب والفضة وكتابة الوزن على كل عينة.
- تم تصنيف العينات بحيث تم اختيار كل أربعة عينات مع بعضها بحيث تكون متقاربة في وزنها وكتابة رقم العينة عليها كما موضحة بالشكل (1) والجدول (1).

الشكل(1) تصنيف وترقيم العينات

الجدول (1) يوضح وزن كل عينة قبل الغمر في الاوساط المائية المختلفة.

زمن الغمر	ماء المطر		ماء الشرب		ماء البحر	
	رقم العينة	وزن العينة (جم)	رقم العينة	وزن العينة (جم)	رقم العينة	وزن العينة (جم)
30 يوم	A11	21.4	B11	21.2	C11	21.9
	A12	21.4	B12	21.0	C12	21.9
	A13	21.5	B13	21.1	C13	21.7
	A14	21.3	B14	21.1	C14	21.4
60 يوم	A21	22.3	B21	22.8	C21	22.8
	A22	22.3	B22	22.8	C22	22.9
	A23	22.3	B23	22.5	C23	22.9
	A24	22.7	B24	22.0	C24	22.9
90 يوم	A31	23.1	B31	23.2	C31	24.5
	A32	23.1	B32	23.1	C32	24.1

زمن الغمر	ماء المطر		ماء الشرب		ماء البحر	
	رقم العينة	وزن العينة (جم)	رقم العينة	وزن العينة (جم)	رقم العينة	وزن العينة (جم)
	A33	23.2	B33	23.0	C33	24.8
	A34	23.3	B34	23.1	C34	24.8
120 يوم	A41	20.6	B41	20.5	C41	19.2
	A42	20.9	B42	20.8	C42	18.8
	A43	20.8	B43	20.7	C43	18.9
	A44	20.8	B44	20.6	C44	19.1

3. اختبار العينات

3-1 مدد التعرض لوسط التآكل:

- المدة الزمنية الأولى: ثلاثون يومًا (720 ساعة)
- المدة الزمنية الثانية: ستون يومًا (1440 ساعة)
- المدة الزمنية الثالثة : تسعون يومًا (2160 ساعة)
- المدة الزمنية الرابعة : مئة وعشرون يومًا (2880 ساعة)

3-2 أوساط التآكل (Corrosive media):

الوسط الأول : الماء المالح (Salt water): تم الحصول علي الماء المالح من البحر مباشرة قبالة السواحل في مدينة الزاوية

الوسط الثاني : ماء الشرب (Drinking water): الماء المستخدم كوسط تآكل هو ماء الشرب المتناول في منطقة الطويبية.

الوسط الثالث : ماء المطر (Rain water) : الماء المستخدم كوسط تآكل هو ماء المطر المتحصل عليه من سقوط الأمطار.

3-3 طريقة إجراء اختبار التآكل

أُجريت اختبارات التآكل لعينات الفولاذ الكربوني المعدة سابقًا، وذلك بغمرها بشكلٍ كاملٍ في أوساط التآكل المختارة بحيث تكون معلقة بخيوط عازلة للكهرباء ومغمورة تمامًا في الحوض الزجاجي الذي يحوي على أوساط التآكل المختلفة، وبعد تعليقها بشكل عمودي في أحواض زجاجية معدة لهذا الغرض تركت الأحواض مفتوحة أي معرضه للهواء خلال المدة الزمنية المحددة، ولقد أُجريت اختبارات التآكل جميعها في درجة حرارة المعمل كما موضح بالشكل (2).

الشكل (2) يوضح العينات مغمورة في أوساط التآكل المختلفة

بعد انتهاء مدة التعرض لوسط التآكل، تم رفع العينات المحددة لتلك المدة من وسط التآكل ثم تنظيفها من طبقات الصدأ، والترسبات باستخدام فرشاة ناعمة وماء أولاً، ثم باستخدام محلول الكلور المخفف (HCl) لتنظيف الطبقات المتآكلة دون المساس بالمعدن.

حيث تم غسل العينات بالماء المقطر، ثم جففت بالمجفف الكهربائي بعد ذلك تم إعادة وزن كل عينة لإيجاد الوزن النهائي(Final weight) وذلك من أجل حساب الوزن المفقود، الذي هو

عبارة عن الفرق بين الوزن الابتدائي (وزن العينة قبل إجراء اختبار التآكل) والوزن النهائي (وزن العينة بعد إجراء اختبار التآكل وإزالة مخلفات التآكل) كما موضح بالجدول (2).

الجدول (2) يوضح وزن كل عينة بعد الغمر وإزالة التآكل

زمن الغمر	ماء المطر		ماء الشرب		ماء البحر	
	رقم العينة	وزن العينة (جم)	رقم العينة	وزن العينة (جم)	رقم العينة	وزن العينة (جم)
30 يوم	A11	21.3	B11	21.1	C11	21.8
	A12	21.2	B12	21.0	C12	21.9
	A13	21.2	B13	21.0	C13	21.5
	A14	21.1	B14	21.1	C14	21.1
60 يوم	A21	22.1	B21	22.6	C21	22.4
	A22	22.2	B22	22.7	C22	22.7
	A23	22.1	B23	22.3	C23	22.7
	A24	22.5	B24	21.9	C24	22.7
90 يوم	A31	22.9	B31	22.9	C31	23.9
	A32	22.9	B32	22.8	C32	23.9
	A33	22.8	B33	22.7	C33	24.5
	A34	23.0	B34	22.8	C34	24.5
120 يوم	A41	20.2	B41	20.2	C41	18.9
	A42	20.7	B42	20.5	C42	18.6
	A43	20.6	B43	20.4	C43	18.6
	A44	20.5	B44	20.3	C44	18.8

4. النتائج والمناقشة

1.4 حساب متوسط الوزن المفقود لعينات الاختبار

لقد استخدمت في هذا البحث طريقة فقدان الوزن **(Weight Loss)** لحساب معدل التآكل وهي الطريقة الأكثر استخداما وتدعى هذه الطريقة أحيانا بـ(الطريقة الوزنية) التي تستعمل بشكل واسع لإيجاد معدلات التآكل العام وخاصة تلك التي تسبب فقدان محسوس بالوزن في حين يصعب استخدام هذه الطريقة لإيجاد معدلات التآكل الموضعي الذي يصعب التحسس بالوزن المفقود القليل أو المعدوم.

الخطوات المتبعة لقياس معدل التآكل بطريقة فقدان الوزن:-

- إعداد العينات بأشكال هندسية معينة وأكثر هذه الأشكال استخدامًا هي المستطيلة.
- وزن العينات بميزان حساس ويحسب الوزن الأصلي لها (W_o) بالملغرام في العينات الصغيرة.
- تحسب المساحة السطحية المعرضة للمحلول (A) بالـ(سم^2).
- غمر العينات في الوسط (المحلول) لفترة زمنية كافية (T) تقاس بالأيام حتى يحصل التآكل.
- رفع العينات من الوسط (المحلول) الآكل ثم تغسل بالماء المقطر لإزالة آثار المحلول ثم تجفف وتنظف من نواتج التآكل.
- وزن العينات بعد الغمر (W) ثم يحسب مقدار التغير بالوزن.

ويتم حساب الوزن المفقود بالمعادلة التالية:

الوزن المفقود (ΔWi) = وزن العينة قبل الغمر – وزن العينة بعد الغمر

$$\Delta Wi = W_O - W$$

الجدول (3) يوضح وزن الفاقد لكل عينة.

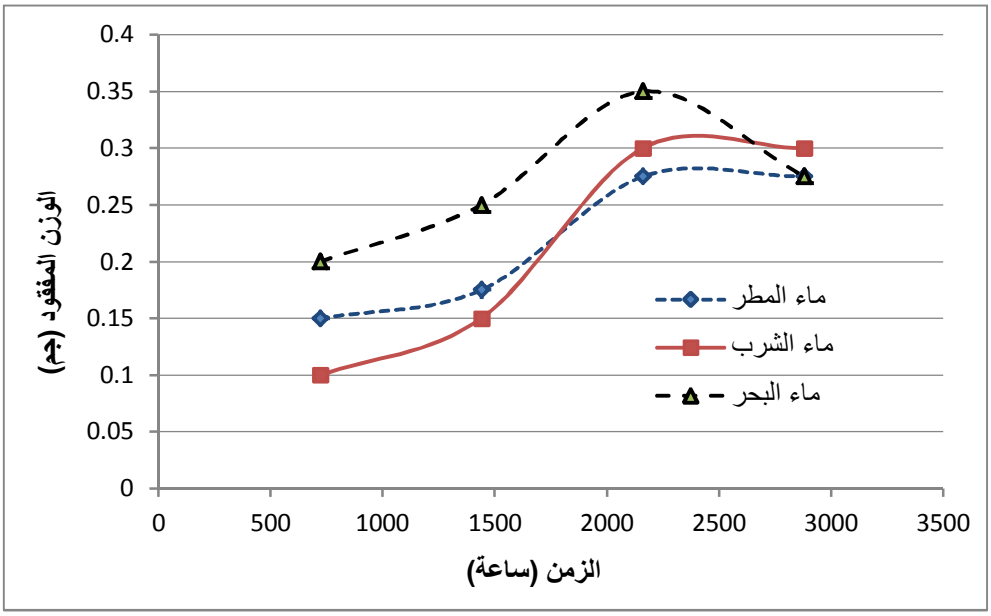
زمن الغمر	ماء المطر		ماء الشرب		ماء البحر	
	رقم العينة	الوزن المفقود (جم)	رقم العينة	الوزن المفقود (جم)	رقم العينة	الوزن المفقود (جم)
30 يوم	A11	0.1	B11	0.1	C11	0.1
	A12	0.2	B12	0.1	C12	0.2
	A13	0.2	B13	0.1	C13	0.2
	A14	0.1	B14	0.1	C14	0.3
60 يوم	A21	0.2	B21	0.2	C21	0.4
	A22	0.1	B22	0.1	C22	0.2
	A23	0.2	B23	0.2	C23	0.2
	A24	0.2	B24	0.1	C24	0.2
90 يوم	A31	0.2	B31	0.3	C31	0.6
	A32	0.2	B32	0.3	C32	0.2
	A33	0.4	B33	0.3	C33	0.3
	A34	0.3	B34	0.3	C34	0.3
120 يوم	A41	0.4	B41	0.3	C41	0.3
	A42	0.2	B42	0.3	C42	0.2
	A43	0.2	B43	0.3	C43	0.3
	A44	0.3	B44	0.3	C44	0.3

متوسط الوزن المفقود = مجموع الوزن المفقود لكل العينات / 4

$$\Delta W = \frac{\Sigma(\Delta W i)}{4}$$

الجدول(4) يوضح متوسط الفاقد في الوزن(ΔW)

زمن الغمر	ماء المطر	ماء الشرب	ماء البحر
	متوسط الفاقد في الوزن (ΔW)	متوسط الفاقد في الوزن (ΔW)	متوسط الفاقد في الوزن (ΔW)
30 يوم (720 ساعة)	0.15	0.1	0.2
60 يوم (1440 ساعة)	0.175	0.15	0.25
90 يوم (2160 ساعة)	0.275	0.3	0.35
120 يوم (2880 ساعة)	0.275	0.3	0.275



الشكل (4) يوضح العلاقة بين الوزن المفقود وزمن الغمر لجميع الأوساط

يتضح من النتائج المتمثلة بيانيا في الشكل (4) أن الوزن المفقود في ماء المطر يكون أعلى معدل فقد له في مدة 90 يوم وفي ماء الشرب يكون أعلى معدل فقد له في مدة 90 و120يوم بحيث يكون الفقد ثابتاً بين المدتين. أما بالنسبة لماء البحر فإن الوزن المفقود يعتبر الأعلى معدل فقد له في مدة 90 يوم ثم يقل تدريجيا عند مدة 120 يوم.

ومن خلال العلاقة نستنتج أن الوزن المفقود للعينات في ماء البحر أعلى مما هو عليه في ماء المطر والشرب خلال (90) يوم، ثم يقل تدريجيا وأن ماء الشرب يكون الوزن المفقود أعلى من ماء المطر.

2.4 حساب معدل التآكل:

وحدة قياس معدل التآكل (Corrosion rate) بالمليمتر لكل سنة وتكتب (ملم/سنة) او(mm/y)، بالاعتماد علي الدالة الرئيسية وهي الفقد في الوزن (ΔW)، في أثناء مدة الاختبار (T)، أما ثوابت الاختبار في هذا البحث فهي : كثافة الفولاذ (D) ، المساحة المعرضة للتآكل (A)، استخدمت المعادلة الآتية لحساب معدل التآكل [4].

$$CR = \frac{K * \Delta W}{D * A * T}$$

حيث ان:

CR : معدل التآكل (Corrosion rate).(mm/y)

K : قيمة ثابتة تساوى (87.6) حتي يصبح معدل التآكل يقاس ب (mm/y)

ΔW : الوزن المفقود (mg).

D : كثافة الفولاذ.(g/cm^3)

A: المساحة السطحية المعرضة للتأكل (cm^2).

T : زمن التعرض للتأكل بالساعة (hours)

ويتم حساب مساحة السطح المعرض للتأكل بالمعادلة الاتية:

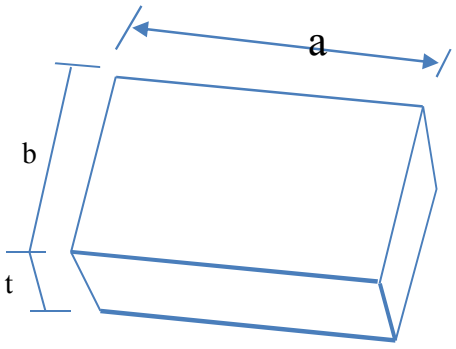
$$A = 2 * [(a * b) + (b * t) + (a * t)]$$

حيث :

a : طول العينة.

b : عرض العينة.

t : سمك العينة.



وعند قياس ابعاد كل العينات تم اخذ متوسط القيمة لكل من طول العينة وعرضها وارتفاعها كما موضح بالشكل والتعويض في معادلة حساب مساحة سطع العينة للحصول على قيمة ثابتة لاستخدامها في المعادلات الحسابية التي استخدمت في حساب معدل التآكل.

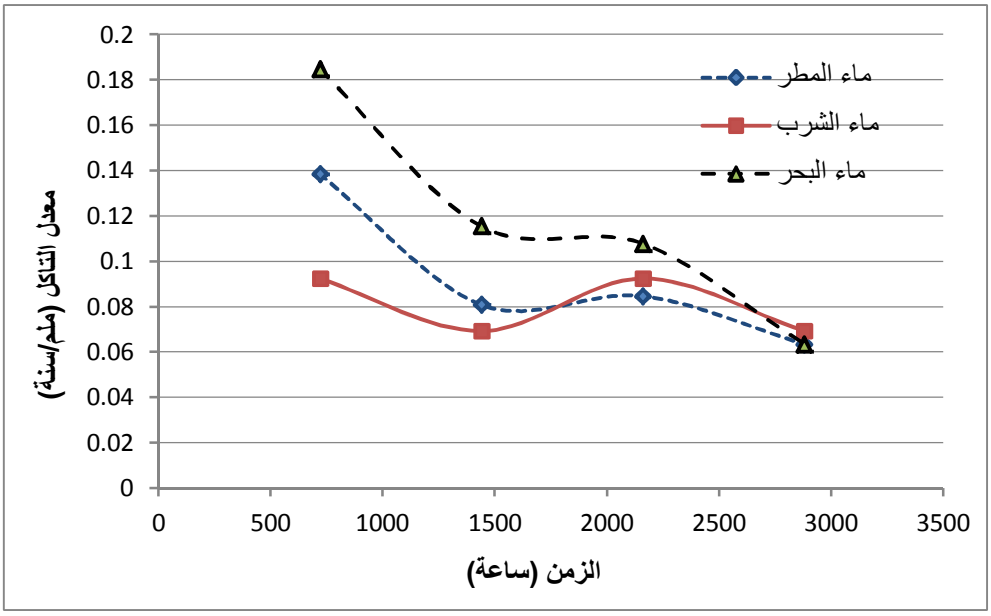
$$A = 2 * [(3 * 2) + (2 * 0.5) + (3 * 0.5)] = 17\ cm^2$$

الجدول (5) يوضح معدل التآكل CR

زمن الغمر	ماء المطر	ماء الشرب	ماء البحر
	معدل التآكل CR (mm/y)	معدل التآكل CR (mm/y)	معدل التآكل CR (mm/y)
30 يوم (720 ساعة)	0.138519	0. 09234	0. 18469
60 يوم (1440 ساعة)	0. 080803	0. 06926	0.11543
90 يوم (2160 ساعة)	0. 08457	0. 09235	0. 10763
120 يوم (2880 ساعة)	0. 06349	0. 06926	0. 06349

النتائج الممثلة في الشكل (5) توضح أن معدل التآكل في ماء المطر قد سجلت له أعلى نسبة في مدة 30 يوماً ثم هبطت تدرجيا إلى أقل نسبة له في مدة 60 يوم ثم زادت النسبة في

90 يوماً وتناقصت عند 120 يوماً. وأما ماء الشرب فقد سجلت له أعلى نسبة في مدة 30 يوماً، وارتفع قليل في مدة 90 يوماً، وأقل نسبة له خلال مدة 60 و120 يوماً. وكذلك وتوضح النتـــائج أن معدل التآكل في مياه البحر قد سجلت له اعلي نسبة في مدة 30 يوم ثم هبطت تدريجيا وأقــل نسبة معدل للتآكل سجلت في مدة 120 يوماً.



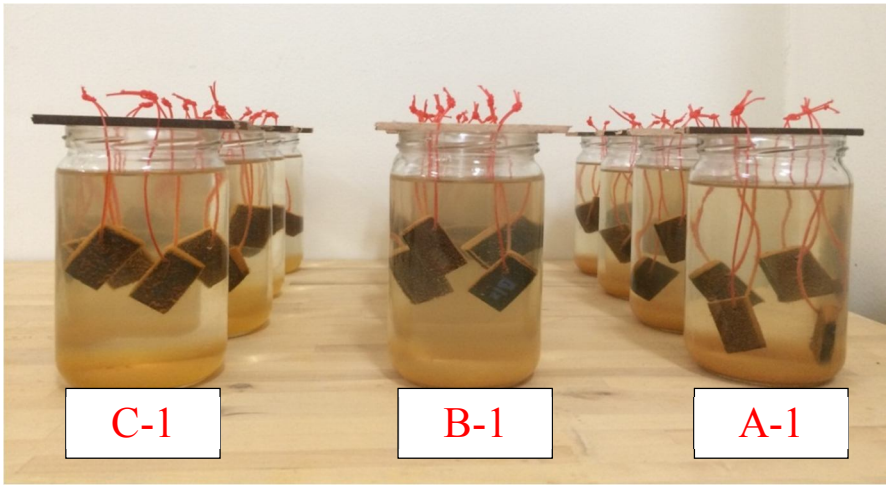
الشكل (5) يوضح العلاقة بين معدل التآكل وزمن الغمر لجميع الاوساط المائية

توضيح التغير في لون الوسط المائي طيلة مدة الغمر:

- ماء المطر:

بحلول نهاية الشهر الأول أظهرت قطعة الفولاذ (العينة) بقع من التآكــل رماديــة مــع تراكم جزيئات الصدأ علي معظم العينة ذات لون بني فاتح كما في الشكل (A -1) وفي الشــهر الثاني والثالث أصبحت البقع أكثر سوادًا وأصبح لون الماء بني مائل إلى الاصفرار وفي الشــهر

الرابع أصبح الماء ذا لون بني داكن وتساقط جزيئات الصدأ في قاع الإناء الزجاجي حيث نسبة إنَّ التآكل في ماء المطر أكثر من ماء الشرب نظرا لوجود نسبة عالية من الأملاح والكبريت في مياه المطر مما يساعد علي التآكل (الصدأ) كما في شكل (4- A)[9] .



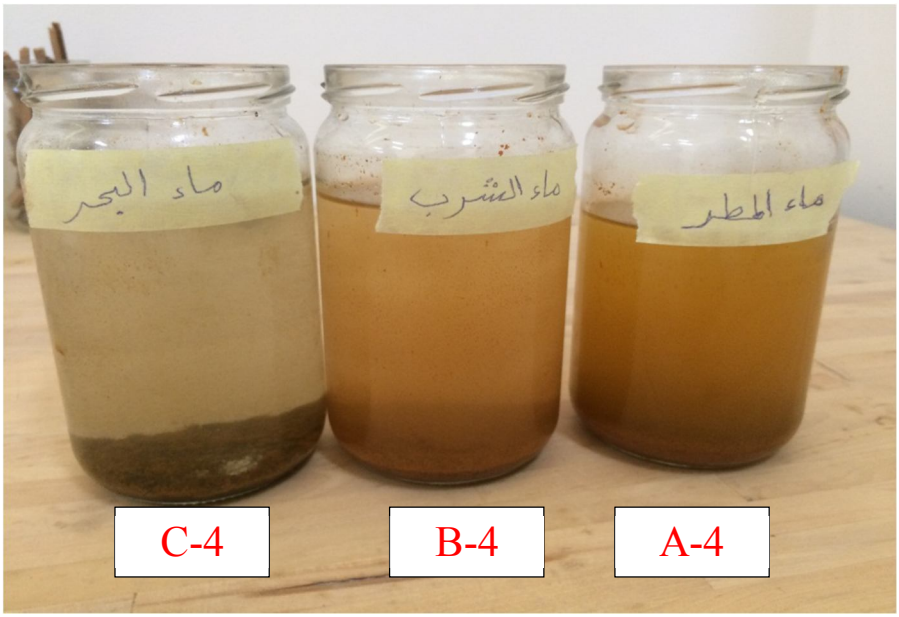
الشكل (6) يوضح التغير في لون الماء خلال الشهر الاول

- **ماء الشرب**

بحلول نهاية الشهر الأول أظهر قطعة الفولاذ (العينة) بقع من التآكل ما بين الرمادي والأسود وأصبح الماء ذا لون بني فاتح مائل للأصفر كما في الشكل (1- B) وفي الشهر الثاني والثالث ازداد لون البقع بحيث أصبحت سوداء أكثر وأصبح لون الماء أكثر غمقاً مع تراكم جزيئات الصدأ علي قطع الفولاذ وفي نهاية الشهر الرابع ظهر الماء الأصفر الداكن مع بقع التآكل البني في قاع الاناء الزجاجي لأن نسبة الأملاح في ماء الشرب أقل من نسبة الأملاح في ماء المطر ولذلك نسبة التآكل أقل كما في شكل (4- B) [9].

- ماء البحر:

بحلول نهاية الشهر الأول أظهرت قطعة الفولاذ (العينة) تراكم الصدأ علي سطح العينة بحيث تكون نسبة الصدأ أكثر في الجوانب من وسط سطح العينة وظهور بقع من الصدأ لونها ما بين الرمادي و الأسود وأصبح لون الماء أصفر كما هو موضح بالشكل (C -1) وفي الشهر الثاني والثالث تغطي معظم القطع المعدنية (العينة) بالصدأ وأصبحت البقع سوداء أكثر ولون الماء أصبح بنياً مصفراً وفي الشهر الرابع أصبح لون الماء أسود فاتح مع تساقط جزيئات بنية من الصدأ في قاع الإناء الزجاجي وذلك لأن نسبة الأملاح أكثر [9] كما هو موضح بالشكل (C -4).



الشكل (7) يوضح التغير في لون الماء خلال الشهر الرابع

5. الخلاصة

من خلال الدراسة التي تم اجراؤها في هذا البحث نستنتج النقاط الآتية:

- تتغير معدلات تآكل الفولاذ الكربوني باختلاف وسط التآكل وقد بينت النتائج أن معـــدلات التآكل في ماء البحر كانت الأعلى مقارنة بمعدلات التآكل في مياه المطر ومياه الشرب.
- تنخفض معدلات تآكل الفولاذ المتوسط الكربون مع زيادة زمن التعرض للتآكل، أي كلمـــا ازدادت المدة الزمنية للغمر ازدادت مقاومة الفولاذ الكربوني للتآكل والصدأ بسبب تشـــكيل غشاء أو طبقات من مخلفات التآكل مثل الأكاسيد وكذلك بسبب نفاذ الاكسجين المذاب في وسط التآكل.
- تم الحصول على أقل معدلات للتآكل خلال زمن تعرض لوسط التآكل مدته ثلاثون يومًا، أما أعلى معدلات للتآكل فقد تم الحصول عليها خلال مدة تعرض مدتها تسعون يومًا.

المراجع:

[1] *Biola, O. and Oforka, M" ،.Inhibition of the corrosion of mild steel in hydrochloric acid by (4-amino-2-methyl-5-pyrimidinyl methylthio) aceticacidan its precursor "،American Journal of Materials Science (4),2,111-117,2014 ..*

[2] *Rayeev P., Surendranathan A.O. and Murthych S.N" ،.Corrosion mitigation of the oil well steel using organic inhibitors "،J. Mater. Environ. Sci. (3),5, 856-869, 2012 .*

[3] خالد عثمان شرف، "دراسة سلوك تآكل الفولاذ الكربونـي في الأوساط المائية،" مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية (28) 1، 2012.

[4] *Stephen C.D ،.Galvanic Corrosion ،University of Delaware, U. S. A., 2003.*

[5] *Takasaki S., and Yamada Y" ،.Effects of Temperature and Aggressive Anions on Corrosion of Carbon Steel in Potable Water "،Journal of Corrosion Science, (40), 240-247, 2007 .*

[6] *Wall F. D., Martinez M. A., and Missert N. A" ،.Characterizing Corrosion Behavior Under Atmospheric Conditions Using Electrochemical Techniques "،Journal of Corrosion Science,(47), 17-32, 2005 .*

[7] *Corvo F., and Minotas J" ،.Changes in Atmospheric Corrosion Rate Caused by Chloric Ions Depending on Rain Regime "،Journal of Corrosion Science,(47), 883 .2005 ،892 –*

[8] *Garcia K.E. and etal H" ،.Lost Iron and Iron Converted in to Rust in Steels Submitted to Dry-Wet Corrosion Process "،Journal of Corrosion Science, (50), 763-772, 2008 .*

[9] *هيثم محمد وعد الله العبيدي، و طارق خالد عبدالرزاق، "دراسة تأثير نسبة الكاربون علـــى معدل التآكل في الصلب الكربوني،" المجلة الهندسة والتكنولوجيا (28)، 4، 2010.*