

كفاءة مثبطات التآكل والتكلس لبولي فينيل الكحول المطعم في أنظمة تبريد المياه

الدكتور موسى المحمد*

(تاريخ الإيداع 13 / 5 / 2011. قُبِلَ للنشر في 22 / 6 / 2011)

□ ملخص □

يعرض هذا البحث نتائج دراسة قدرة مضاد تكلس جديد من البولي فينيل الكحولي (PVA) المطعم بحامض الاكرليك (AAC) وفينيل الأميدازول في حل المشاكل الموجودة في أنظمة تبريد المياه، وتأثير تركيز البوليمير، ودرجة حرارة الماء، وزمن المعالجة في انحلال الفولاذ الكربوني في بيئة مياه تبريد صناعية. وتبين نتائج الدراسة أن البوليمير الجديد بوصفه مضاد تقشر أو تكلس يستطيع أن يخفض نمو بناء القشور تحت ظروف التجربة. إن نسبة انخفاض تشكل القشور باستخدام تركيز 15PPm من المادة البوليميرية كانت 89 و84 و80% بعد 21 يوماً من حضانة المادة مع الماء عند درجات حرارة 30، 70، 95 درجة مئوية على التوالي. كما أن الدراسة تشير إلى أن البوليمير الجديد يعمل مثبطاً تآكل من النوع الأنودي على الفولاذ الصلب، وبالتالي يقلل انحلال المعدن. حيث إن كفاءة تثبيط البولي فينيل الكحولي المطعم وصلت إلى 97% عند 15PPm من المادة البوليميرية.

الكلمات المفتاحية: التآكل، التكلس، البولي فينيل الكحولي، كفاءة المثبطات، أنظمة تبريد المياه.

* أستاذ مساعد، قسم المعدات والآليات، كلية الهندسة التقنية، جامعة تشرين، طرطوس، سورية.

Corrosion and Scale Inhibitions Efficiencies of the Grafted Polyvinyl Alcohol in Cooling Water Systems

Dr. Mosa Almohmmad*

(Received 13 / 5 / 2011. Accepted 22 / 6 / 2011)

□ ABSTRACT □

This work presents the results of a study that was undertaken to investigate the ability of a new antiscaling, polyvinyl alcohol-grafted-amidazol/acrylic acid in solving problems found in cooling water systems. The effect of the polymer concentration, heat of water and treatment time on C-steel dissolution in synthetic cooling water environment were studied. The results obtained from this study show that the new antiscaling polymer can decrease scale build-up growth under experimental Conditions. Percent scale reduction using polymer at 15 ppm concentration was found to be 89%, 84% and 80% after 21 days incubation at 30, 70 and 95°C respectively. The study also indicates that the polymer acted as an anodic type corrosion inhibitor on C-steel, thus reducing metal dissolution. The inhibition efficiency of the grafted polyvinyl alcohol reached to 97% at 15PPm of polymer concentration.

Keywords: Corrosion, scale, polyvinyl alcohol, inhibitions efficiency, cooling water systems.

* Associated Professor, Department of Equipments and Machines, Faculty of Technician Engineering, Tishreen University, Tartrous, Syria.

المقدمة:

تعد نوعية المياه عنصراً أساسياً في العديد من الأنظمة الصناعية، مثل وحدات التدفئة المركزية، المراجل، المبادلات الحرارية، أبراج التبريد، وحدات التكيف. وتلعب نوعية المياه دوراً مؤثراً في كفاءة المرجل وأنظمة البخار، وتحتوي مصادر المياه المختلفة على شوائب متنوعة مثل الغازات الذائبة، والمواد الصلبة العالقة والذائبة، وتعتمد عمليات معالجة المياه إما على إزالة تلك المواد أو تخفيض تركيزها إلى المستوى الذي يحد من تأثيرها السلبي، وإما على إضافة مواد أخرى للحصول على النتائج نفسها. تهدف المعالجة إلى:

- منع تكون القشور في المراجل (scales) وفي المعدات الملحقة بها، والتي تؤدي إلى انخفاض كفاءتها وحدوث أضرار جسيمة بها.
- الحد من تكون الرغوة، وتجنب تلوث البخار بالمواد التي تحويها مياه المرجل.
- الحد من تآكل جسم المرجل بسبب الأكسجين الذائب في مياه التغذية، وتآكل مواسير شبكة البخار بسبب وجود ثاني أكسيد الكربون.

هناك طريقتان أساسيتان في معالجة المياه: **المعالجة الخارجية والمعالجة الداخلية [1]:**

1- المعالجة الخارجية للمياه:

تعتمد هذه الطريقة على إزالة الشوائب الموجودة في المياه أو تخفيض تركيزها قبل دخولها إلى المرجل. وتستخدم هذه الطريقة في حالة ارتفاع نسبة بعض الشوائب في المياه إلى الحد الذي لا يستطيع معه نظام المرجل التعامل معها. وأكثر الطرق شيوعاً في المعالجة الخارجية للمياه هي التبادل الأيوني (ion exchange) ونزع الغازات من المياه (dearation) ونزع المعادن (demineralization).

تكون القشور:

تحتوي المياه على نسب متفاوتة من بيكربونات وكلوريدات وكبريتات ونترات الكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم، بالإضافة إلى السيليكا وبعض آثار الحديد والمنغنيز والألمنيوم. تتسبب أملاح الكالسيوم والمغنسيوم في عسر المياه، أما معظم قشور المراجل والترسبات الأخرى في أنظمة التبريد فتتسبب فيها مركبات الكالسيوم والمغنسيوم. ويمكن تقسيم أملاح الكالسيوم والمغنسيوم إلى مجموعتين:

- بيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم التي تتسبب في العسر القلوي للمياه (العسر المؤقت أو عسر الكربونات) ويسهل التخلص منها بالتسخين، فيتحرر غاز ثاني أكسيد الكربون، مما يؤدي إلى تكثف البخار الحمضي الذي يرتبط بمشاكل التآكل في شبكة توزيع البخار.
- كبريتات وكلوريدات ونترات الكالسيوم والمغنسيوم التي تتسبب في العسر غير القلوي (non-alkaline hardness) (العسر الدائم)، ولا يمكن التخلص من هذه الأملاح بالغليان.

إن استخدام المياه الخام مباشرة في المرجل ينتج عنه تكون القشور الصلبة التي تلتصق بأسطح التسخين. وتتميز هذه القشور بانخفاض موصلتها الحرارية ($W/m.c^0$) (1.15 - 3.45)، مما يؤدي إلى تركيز الحرارة في نقاط النقش، فيلين، وتحدث به نتوءات وانبعاجات و شقوق عند الضغط المرتفع مما قد يتسبب في نتائج خطيرة [2].

وتعد أكثر الأجزاء تأثراً بهذه الظاهرة أنابيب المياه التي تتعرض للإشعاع الحراري، أو مواسير الأفران في الغلايات ذات الغلاف الخارجي، حيث تكون معدلات انتقال الحرارة وبخر المياه مرتفعة. أما المواسير المعرضة للحرارة بواسطة الحمل الحراري أو التوصيل فإنها تستطيع تحمل سمك أكبر من القشور المترسبة قبل توقفها عن العمل. و

تقدر الخسارة المباشرة في الحرارة أو في الوقود نتيجة ترسب القشور بـ 2% أو أقل في غلايات مواسير المياه، بينما تصل إلى 5 أو 6% في مراحل مواسير اللهب، حيث تكون أسطح التسخين أصغر حجماً. وتمثل الغازات الذائبة نوعاً آخر من المشكلات، إضافة إلى مشكلات ترسب الحمأة والقشور. فتتسبب غازات ثاني أكسيد الكربون والأكسجين الذائبة وثنائي أكسيد الكربون، الذي يتحرر عند تسخين المياه التي تحتوي على البيكربونات في تآكل الموفرات ومكونات الغلاية الأخرى. أن البخار المتولد يحتوي أيضاً على هذه الغازات الذائبة، كما أن مياه تكثيفه تؤدي كذلك إلى تآكل المواد المعدنية. إن البخار المتولد وتحت ظروف معينة، قد يحمل بعض الأملاح والمواد الصلبة العالقة إلى شبكة توزيع البخار والآلات التي تستخدم البخار، فتترسب بها تلك الأملاح والمواد الصلبة.

(أ) التبادل الأيوني [3]:

يهدف التبادل الأيوني إلى خفض درجة عسر المياه، أو تيسير المياه. وكما هو معروف فإن العديد من التفاعلات الكيميائية، مثل عمليات الترسيب، تعتمد في الأساس على التفاعل بين الأيونات المختلفة في المحاليل. مثال ذلك التبادل الأيوني في بعض المعادن (الزيوليت zeolites) وخاصة سليكات صوديوم الألمنيوم (sodium aluminium silicates). وعند تخلل المياه الخام لطبقة متدرجة من الزيوليتات يتم إحلال أيونات الصوديوم محل أيونات الكالسيوم والمغنسيوم، وبالتالي تتخفض درجة عسر المياه. أيضاً المواد الراتنجية (الراتنجات resins) تتفوق على الزيوليت في تيسير المياه. والراتنجات المصنوعة بتكثيف الفينولات و الفورمالدهيد تتميز بقدرة فائقة على التبادل الأيوني. وقد تم تطوير أنواع حديثة من الراتنجات، وبالخصائص نفسها مثل البولي ستيرين (polysterene) والراتنجات الكربوكسيلية (carboxylic resins).

(ب) نزع الهواء (deaeration):

تتم خلال هذه العملية إزالة الأكسجين من المياه عن طريق التسخين، فقابلية الأكسجين للذوبان في المياه تتخفض بارتفاع درجات الحرارة. وبذلك يمكن التخلص من الأكسجين في المياه برفع درجة حرارتها إلى درجة الغليان عند مستوى ضغط التشغيل (operating pressure). وهناك تصميمات خاصة بالضغط، والتفريغ تستخدم لهذا الغرض. في أنظمة نزع الهواء التي تعتمد على الضغط، يتم ضخ البخار الساخن في المياه لإزالة الأكسجين ورفع درجة حرارة مياه تغذية الغلاية في الوقت نفسه. أما وحدات التفريغ فتستخدم في الحالات التي لا تتضمن تسخيناً للمياه. وتقوم معدات نزع الهواء البخارية (steam deaerators) بنشر المياه على شكل رذاذ أو غشاء رقيق جداً يدفع من خلاله البخار لطرد الغازات الذائبة مثل الأكسجين أو ثاني أكسيد الكربون. ويمكن بهذه الطريقة خفض محتوى المياه من الأكسجين إلى أدنى من $0.005 \text{ cm}^3/\text{liter}$. ويعكس ارتفاع الأس الهيدروجيني للمياه كفاءة نظام نزع الغاز، حيث يؤدي التخلص من ثاني أكسيد الكربون الذائب إلى ارتفاع الأس الهيدروجيني للمياه.

(ج) ترسيب المعادن (Demineralization) [4]:

تعتمد أساليب نزع المعادن على تمرير المياه خلال مبادلات للأيونات الموجبة و السالبة. ففي عمليات التبادل الكاتيوني (cation exchange) تحل أيونات الهيدروجين محل كافة الأيونات الموجبة، أما في عمليات التبادل الأنيوني (anion exchange) فيحل الهيدروكسيد محل كافة الأيونات السالبة. وينتج بالتالي عن هذه العمليات مياه تتكون أساساً من أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد، أي الماء. وهناك مبادلات أيونية مختلطة (mixed-bed process) يتم خلط مبادلات الأيونات الموجبة ومبادلات الأيونات السالبة في وحدة واحدة. أما في النظام متعدد

الطبقات لنزع المعادن فيتم تمرير المياه خلال مجموعات متنوعة من مبادلات الأيونات الموجبة، ومبادلات الأيونات السالبة الضعيفة والقوية وأنظمة نزع الغازات (degasifiers).

2- المعالجة الداخلية للمياه [5]:

تعتمد المعالجة الداخلية على التخلص من الشوائب الموجودة بالمياه في داخل الغلاية. وتتم المعالجة إما في خطوط مياه التغذية أو داخل الغلاية نفسها. ومن الممكن الاعتماد فقط على المعالجة الداخلية للمياه، كما يمكن الجمع بين المعالجة الداخلية والخارجية. ويصمم نظام المعالجة الداخلية للمياه للتغلب على مشكلات عسر مياه التغذية، والتحكم في التآكل، والتخلص من الأكسجين الذائب، والحد من الجسيمات المحمولة مع تيار المياه. ومن خلال هذا النظام يتم التخلص من العسر القلوي للمياه الخام وترسيب الأملاح المسببة للعسر عن طريق التسخين. أما العسر المستديم فيتم ترسيبه في الغلاية عن طريق إضافة بعض القلويات مثل كربونات الصوديوم والصور الكاوي، وفوسفات الصوديوم.

3- تكييف (تلطيف) مياه تغذية المرجل: (conditioning of boiler feed water) [6]:

يتضمن تلطيف مياه تغذية المرجل إضافة بعض المواد الكيميائية مثل: كربونات الصوديوم، الصور الكاوي، الفوسفات، المركبات الكلابية، مضادات الرغوة، الأمينات المعادلة، كبريتيت الصوديوم، الهيدرازين، نترات الصوديوم ومزيلات الحمأة.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث الحالي إلى تصنيع مواد جديدة ورخيصة ذات كفاءة عالية في منع تشكل الرواسب الملحية، ومقاومة التآكل في المبادلات الحرارية وكافة ملحقاتها، وتبيان مدى فعاليتها بوصفها مادة مثبطة لتآكل الفولاذ الكربوني والتكلس الناتج الاستخدام في أنظمة مياه التبريد عند درجات حرارة مختلفة.

طرائق البحث ومواده:

تم إجراء البحث على عينات من الفولاذ الكربوني المستخدم في أنظمة مياه التبريد. ويبين الجدول (1) التركيب الكيميائي للحديد المستخدم، حيث أجري اختبار التحليل الكيميائي باستخدام جهاز التحليل الطيفي للمعادن في مخبر مقاومة المعادن في كلية الهندسة التقنية بجامعة تشرين، حيث تم أخذ ثلاث قراءات وأخذ المتوسط للقراءات الثلاث.

الجدول (1) التركيب الكيميائي للفولاذ المستخدم

العنصر	P	Mn	Si	C	S	Fe
النسبة المئوية	0.03	0.4	0.7	0.5	0.035	98.3

تصنيع بوليمر مضاد للتقشر والتآكل:

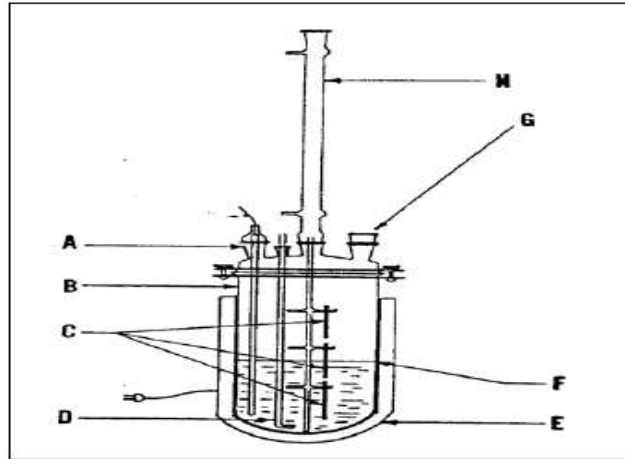
تم تحضير بوليمر مشترك مطعم من البولي فينيل الكحول ذي الوزن الجزيئي (Mol.Wt: 60000)، واستخدم لهذه الغاية تقانة التشعيع الغامي في تحضير بوليمر من البولي فينيل الكحولي (PVA) المطعم بحامض الاكريك (AAC) وفينيل الأميدازول (ZOL). نسبة (AAC/ZOL: 3/1) ونعبر عنه (PVA-g-AAC/ZOL) يملك درجة تطعيم (9%) [7].

تحويل البوليمر المشترك الى صيغة ملح :

جرت معالجة البوليمر المشترك المحضر مع محلول قلوي صودي يحوي (0.05N) من ماءات الصوديوم لتحويله إلى ملح صوديومي في الشكل (PVA-g-ZOL/AAC⁻ Na⁺)، ثم حل (1g) من الملح البوليمري في (1L) ماء مقطر، فيكون تركيز البوليمر (1000 PPM).

وحدة اختبار التآكل والترسيب:

يبين الشكل (1) وحدة اختبار التآكل والترسيب بالغمر المخبري والتي تتكون من: **A**- تيرمو متر للتحكم بدرجة الحرارة؛ **B**- حوالة زجاجية سعة (1000 مل)؛ **C**- عينات الفولاذ الصلب؛ **D**- مدخل الهواء؛ **E**- سخان؛ **F**- اختبار المحلول؛ **G**- مدخل البوليمير؛ **H**- مكثف عاكس.



شكل (1): وحدة اختبار التآكل والترسيب بالغمر المخبري

تحضير ماء صناعي

تم تحضير ماء صناعي يملك المواصفات وفق الجدول (2)، وذلك من أجل تقدير نسبة القشور أو الرواسب الملحية

جدول (2): مواصفات الماء الصناعي المستخدم

التركيز PPM	التركيز g/l	الرمز
الأيونات		
6700	6.7	NaHco ₃
30	0.03	Na ₂ SO ₄
36000	36	NaCL
الكتيونات		
12500	12.5	CaCL ₂
3700	3.7	MgCL ₂
36000	36	Nacl

تقدير القشور (التكلس):

تم وضع عينات من الفولاذ الكربوني في وحدة اختبار الترسيب، وذلك بغمرها في محلول الماء الصناعي المحضر سابقا بمزج 500mL من محلول الكتيونات، مع 500mL من محلول الاينيونات. أجريت الاختبارات قبل وبعد إضافة المادة البوليميرية إلى المحلول السابق وبتراكيز مختلفة.

لتقدير كفاءة المادة البوليميرية بوصفها مادة مثبثة لتشكيل القشور (التكلس) تم تحضير محلول عياري (0.01 M EDTA) ومشعر الميروكسيد، وذلك لمعايرة الماء قبل وبعد إضافة البوليمر إلى الماء بتراكيز مختلفة، وأزمنة مختلفة وذلك عند درجة حرارة مختلفة يتم حسابها من المعادلة التالية [7]:

$$\% \text{ Inhibition} = \frac{Ca_i - Ca_b}{Ca_c - Ca_b} \times 100$$

حيث:

%Inhabitation نسبة كفاءة تثبيط المادة البوليميرية لكاربونات الكالسيوم

Ca_i: تركيز ايونات الكالسيوم مع المثبط (المادة البوليميرية)

Ca_b: تركيز ايونات الكالسيوم مع الشاهد (بدون المادة البوليميرية)

Ca_c: تركيز ايونات الكالسيوم قبل الاختبار

كفاءة تثبيط المادة البوليميرية للتآكل

استخدم لهذه الغاية محلول حامضي من حمض كلور الماء تركيزه (0.5 N) كوسط تأكلي وذلك بغمر العينات لمدة 24 ساعة وذلك بوجود وعدم وجود المثبط البوليميري [8]. لمعرفة فعالية المادة البوليميرية بوصفها مادة مثبثة يتم استخدام المعادلة التالية:

$$\eta_w(\%) = \left(1 - \frac{W}{W_0}\right) \times 100$$

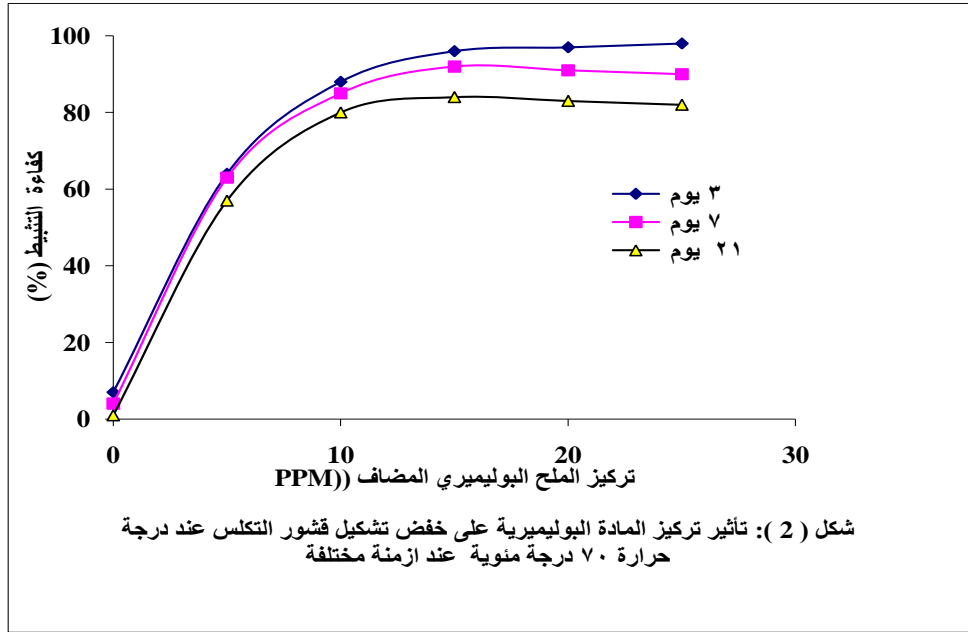
حيث يمثل (W) و (W₀) الفقدان في الوزن بوجود وعدم وجود المثبط على التوالي.

النتائج والمناقشة:

البوليميرات القابلة للذوبان في الماء تلعب دوراً مهماً بوصفها عوامل مضادة للتآكل ولترسيب الأملاح، وتستخدم في حقول وبيئات صناعية متعددة [10, 11, 12]. ولمعرفة مدى فعالية المادة البوليميرية بوصفها مادة مثبطة لتآكل الفولاذ الكربوني والتكلس درست البارامترات التالية:

1- دراسة تأثير تركيز المادة البوليميرية في تشكيل قشور

تمت دراسة تأثير تركيز المادة البوليميرية في تشكيل قشور وفق النموذج الاختباري، وذلك عند الدرجة 70°C ، وتم إجراء الاختبار لثلاث عينات عند كل تركيز وذلك بالمعايرة مع محلول عياري (0.01 M EDTA) قبل وبعد إضافة المادة البوليميرية، بوصفها مادة مضادة للتكلس وتشكل القشور. الشكل (1) يمثل العلاقة بين تركيز المادة البوليميرية وكفاءتها لمنع تشكيل قشور والتكلس عند درجة حرارة 70 درجة مئوية عند أزمنة مختلفة.



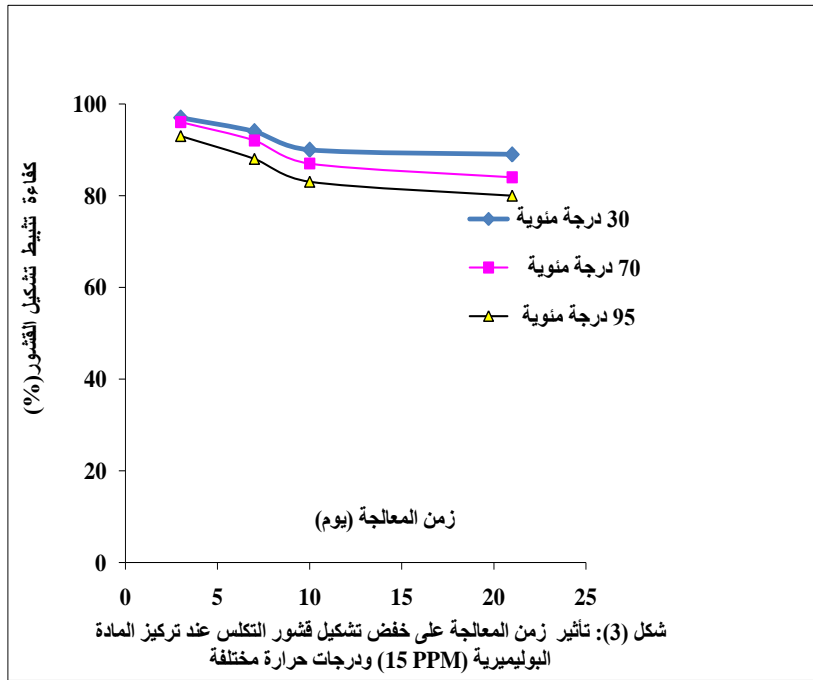
من الشكل نلاحظ انه كلما زاد تركيز المادة البوليميرية من $(\text{PVA-g-ZOL}/\text{AAC}^- \text{Na}^+)$ في محلول الغمر الملحي ازدادت كفاءتها في منع تشكيل التكلسات والقشور، لتصل إلى أعلى قيمة لها عند التركيز (15PPM) من المادة البوليميرية، التي توافق منع التكلسات بالنسب التالية 98% و 92% و 83% عند الأزمنة (3 و 7 و 10 يوم) على التوالي. وهذا يعود تفسيره إلى امتصاص شوارد الكالسيوم على السطوح المتسخة أو العوالق وينشأ عن ذلك اكتساب هذه الجزيئات شحن متماثلة يجعلها في حالة معلقة دون ترسيبها. إضافة إلى ذلك فان البوليمير يمكن أن يحطم بلورات الكلس ويمنع نموها الطبيعي وترسيبها بشكل منتظم على سطح المعدن [13].

من جهة أخرى فان ازدياد زمن حضان المادة البوليميرية مع المحلول المائي الملحي لا يقلل من كفاءة المادة البوليميرية بمنع التكلسات. وان النسبة التي تتغير من 92% إلى 83% عند الأزمنة (7 و 21 يوم) على التوالي. وهذا يعود إلى إمكانية التحام بعض الجزيئات البوليميرية المشحونة مع بعضها، وازدياد نصف قطرها وهذا يقلل من كفاءتها بوصفها مادة مشتتة لتكوين التكلسات نسبيا مقارنة مع زمن معالجة قصير.

2- تأثير درجة حرارة المرجل

تمت دراسة كفاءة تثبيط المادة البوليميرية على تشكيل قشور وفق النموذج الاختباري عند درجات حرارة مختلفة للمرجل وأزمنة مختلفة مع تركيز ثابت للمادة البوليميرية (15PPm). اجري الاختبار لثلاث عينات عند كل درجة حرارة، وإتباع الخطوات نفسها الواردة سابقاً والشكل (3) يمثل العلاقة بين كفاءة تثبيط المادة البوليميرية على تشكيل قشور وزمن المعالجة عند درجات حرارة مختلفة.

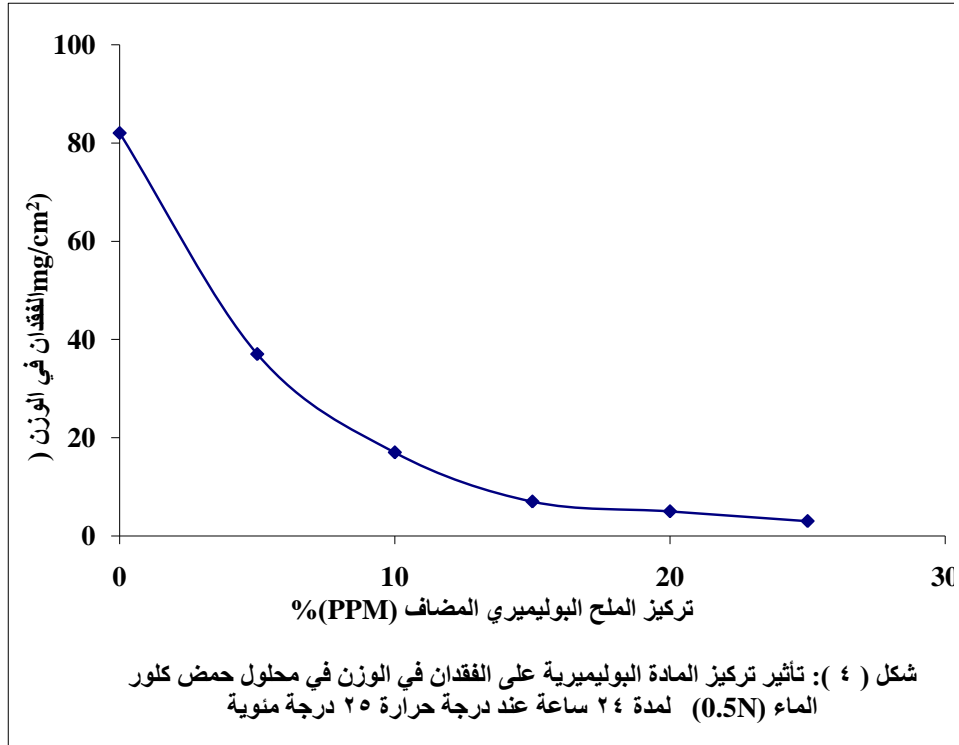
من الشكل (3) يتضح أن ازدياد زمن حضانة المادة البوليميرية مع المحلول الملحي لا يقلل من كفاءة المادة البوليميرية بمنع التكلسات عند درجات حرارة أعلى من 70 درجة مئوية. وهذا يعود إلى إمكانية تحرير كربونات الكالسيوم عند درجات حرارة قريبة من درجة الغليان.



3- تأثير تركيز المادة البوليميرية في تثبيط التآكل

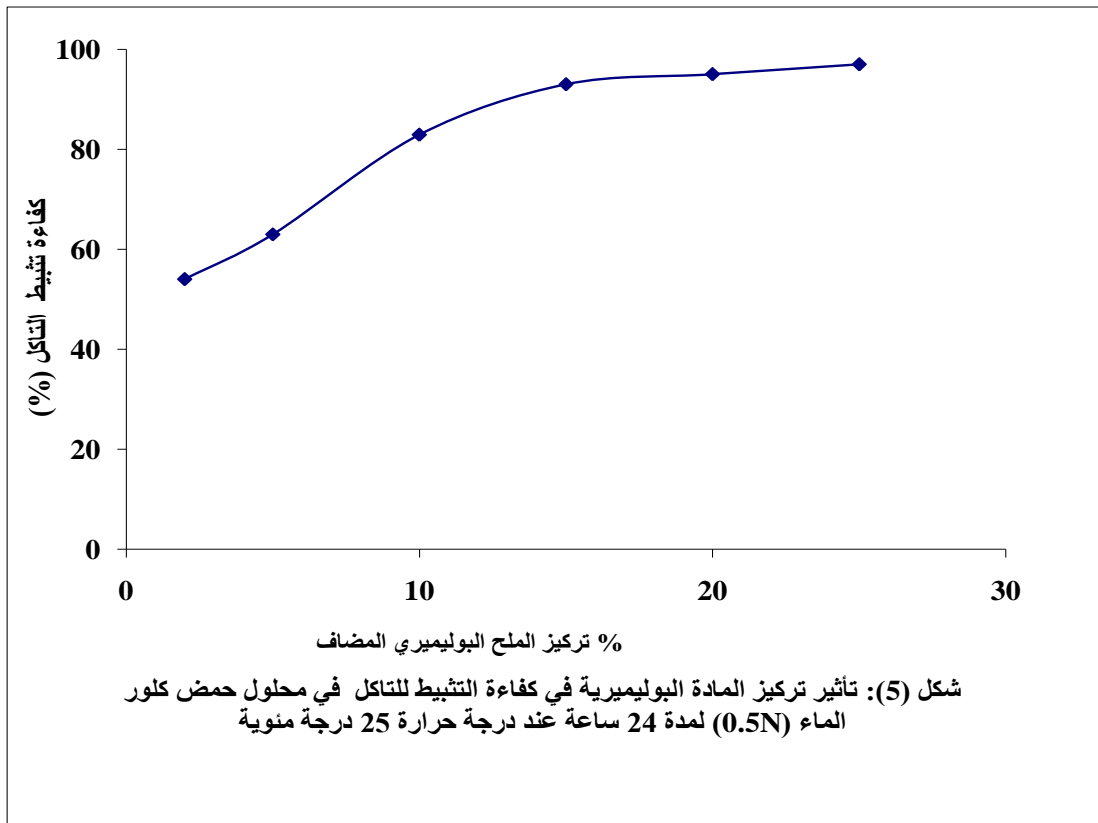
تمت دراسة تأثير تركيز المادة البوليميرية في تثبيط التآكل لعينات الفولاذ الكربوني في وسط حامضي، وتم إجراء الاختبار لثلاث عينات عند كل تركيز، وذلك بطريقة فقدان الوزن قبل وبعد إضافة المادة البوليميرية بوصفها مادة مضادة لحدوث التآكل. والشكل (4) يمثل العلاقة بين تركيز المادة البوليميرية وكفاءتها بمنع حدوث التآكل. من الشكل نلاحظ أن معدل فقدان الوزن في الحديد يتناقص بزيادة تركيز المادة البوليميرية، وهذا يعني بان للمادة البوليميرية قدرة عالية على تثبيط التفاعل الانودي بشكل كبير.

أيضاً يمكن تفسير ذلك بامتصاص أو امتزاز جزيئات البوليمير على سطح الحديد الصلب الكربوني بشكل مباشر عن طريق حدوث تفاعلات بين الكترولونات الرابطة (II) في ذرة الأكسجين من البوليمير ومدارات (d) في ذرات سطح الحديد، وهذا يؤدي إلى استبدال جزيئات الماء من سطح معدن الحديد، ومشاركة الالكترولونات بين ذرات الأكسجين والسطح المعدني [14].



4- العلاقة بين تركيز المادة البوليميرية وتشبيط التآكل

لتوضيح العلاقة بين تركيز المادة البوليميرية وكفاءة التشبيط بمنع حدوث التآكل تم تطبيق المعادلة السابقة. والشكل (5) يوضح العلاقة بين تركيز المادة البوليميرية وكفاءة التشبيط. يلاحظ من الشكل (5) أنه بزيادة تركيز المادة البوليميرية تزداد كفاءة التشبيط. أيضا نلاحظ أن كفاءة عملية التشبيط تصل إلى 97% عند التركيز (15PPm) من المادة البوليميرية وهذا يمكن تفسيره بان الجزيئات العضوية البوليميرية التي تمتص على سطح المعادن تمتلك عزم ثنائي قطب عالٍ، تستطيع أن تؤثر في الخواص العازلية لجزيئات الماء. والأكثر من ذلك فإن الزيادة في كفاءة التشبيط عند تراكيز عالية من المادة البوليميرية يعود إلى سهولة انتقال الالكترونات من مجموعات الاميدازول والكاربونيل في البيوليمر المحضر إلى مدارات (d) في سطح معدن الحديد [14]. وبكلمات أخرى فإن المادة البوليميرية تجعل المعدن مشحوناً بطبقة الكترونية من الشحنات السالبة.



الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- كلما زاد تركيز المادة البوليميرية من (PVA-g-ZOL/AAC⁻Na⁺) في محلول الغمر الماء الملحي ازدادت كفاءتها في منع تشكيل الترسبات والقشور، لتصل إلى أعلى قيمة لها عند التركيز (15PPm) من المادة البوليميرية، والتي توافقت مع الترسبات بالنسب التالية 98% و 92% و 83% عند الأزمنة (3 و 7 و 21 يوم) على التوالي.
- 2- إن ازدياد زمن حضانة المادة البوليميرية مع المحلول المائي الملحي لا يقلل من كفاءتها بمنع الترسبات. وإن نسبة التغير من 92% إلى 83% عند الأزمنة (7 و 21 يوم) على التوالي.
- 3- إن نسبة انخفاض تشكل القشور باستخدام تركيز 15PPm من المادة البوليميرية كانت 89 و 84 و 80% بعد 21 يوماً من حضانة المادة مع الماء عند درجات حرارة 30، 70، 95 درجة مئوية على التوالي.
- 4- إن معدل فقدان الوزن في الحديد يتناقص بزيادة تركيز المادة البوليميرية، وهذا يعني بان للمادة البوليميرية قدرة عالية على تثبيط التفاعل الانودي بشكل كبير.
- 5- يشير تحليل النتائج إلى إمكانية استخدام هذه المادة البوليميرية على المستوى الصناعي في معالجة مياه المراجل وأنظمة تبريد المياه والمبادلات الحرارية، لكفاءتها العالية، واقتصاديتها في منع ظهور الترسبات على أسطح التسخين وتثبيط التفاعلات الآكلة.

المراجع العلمية:

- [1]. **Spiegler. K, Laird A.** "*Principles of Desalination*". New York, NY: Academic Press; 1980; p. 970.
- [2]. **Gunn. D. & Horton. R.,** "*Industrial Boilers*", Longman Scientific & Technical, 1989; p.540.
- [3]. **Elliot. M.** "*Scale control by threshold treatment*". Desalination 1999; N 36.p-221.
- [4]. **Xiao JX, Zhang Y, Wang .C.** *Adsorption of cationic-anionic surfactant mixtures on activated carbon.* Carbon 2005;N-43.p-12.
- [5]. **Yang. Q, Liu Y, Gu A, Ding J, Sheen Z.** "*Investigation of calcium carbonate scaling inhibition and scale morphology by AFM*". J Coll Interface Sci 2001;N- 240: p-21.
- [6]. **Smith, B.R. and Huilin, Y.,** "*Water Treatment*", N-7 (1992).p- 51.
- [7]. **AJII, Z., and ALI, A.** "*Preparation of poly (vinyl alcohol) membranes grafted with N-vinyl imidazole / acrylic acid binary monomers*". NIBM,2005.N12.p-56.
- [8]. **D. A. Skoog & D. M. West,** "*Principles of Instrumental Methods of analysis*", Sixth edition, Holf Rinehart & Wiston, New York(1991). p-200.
- [9]. **ASTM.** "*Standard practice for preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens*". Annual book of ASTM standards 2000; p. 15–21.
- [10]. **Mishra S, Patil I.** "*Effect of polyacrylic acid as antiscaling on heat exchangers*". Chem Eng Technol 2002; N-25. p- 573.
- [11]. **Bereket G.A, Yurt A, Turk H.** "*Inhibition of corrosion of low carbon steel in acidic solution by selected polyelectrolytes and polymers*". Anti-Corrossion Methods Mater 2003; N-50. p-422.
- [12]. **Shakkthivel P, Ramesh D, Sathiyamoorthi R, Vasudevan T.** "*Water soluble copolymers for calcium carbonate and calcium sulphate scale control in cooling water systems*". J Appl Polym Sci 2005; N-96. p 1451.
- [13]. **Knudsen. J.** "*Drew Principles of Industrial Water Treatment*". 1st ed. New Jersey: Drew Korea 1988. p-522.
- [14]. **Rajendran S., Apparao B., Palaniswamy N.** "*Synergistic and antagonistic effects existing among polyacrylamide*", phenyl phosphonate and Zn^{2+} on the inhibition of corrosion of mild steel in a neutral aqueous environment. Electrochim Acta 1998; N-44. p 533.
- [15]. **Donahue. F, Nobe K.** "*Theory of organic corrosion inhibitors*". J; Electrochem Soc 1965; N-112. p-886.