



تحضير مادة بوليمرية مقاومة للتآكل ذاتية التصلب لتغليف قواعد الخزانات النفطية

زيدون خلف كريم* ، د.قيس مثني اموري، بثينة خليل ابراهيم، هدى قاسم جبر، ميس محمد عبد الكريم،

حيدر مظفر مجيد

وزارة النفط/ مركز البحث والتطوير النفطي

*Corresponding Author E-mail: zaydoon05@yahoo.com

الخلاصة:

تعتبر قواعد الخزانات المستخدمة في خزن النفط الخام والمشتقات النفطية من اكثر المناطق عرضة لمشاكل التآكل حيث انها المنطقة الاكثر تماسا مع الاوساط المسببة لتآكل المعدن رغم وجود الحماية الكاثودية وكذلك طبقة التغليف وهذا ما تم رصده ميدانيا في مستودعات الخزانات النفطية المنتشرة في عموم العراق حيث بدأت مشاكل التسربات النفطية من الخزانات والتي لوحظت بشكل واسع في قواعد الخزانات ومن هذا المنطلق تم تحضير مادة بوليمرية ذاتية التصلب مشتقة من مواد اولية غير الايبوكسي (ضمن عائلة الفينولات) وذات مقاومة عالية في الاوساط الحامضية والحرارة العالية وذلك بتحضير راتنجات الريسول سينول- فورمالديهايد باستخدام عامل مساعد قاعدي من هيدروكسيد الصوديوم NaOH مع زياده من الفورمالديهايد نسبة للريسول سينول مع المحافظة على الدالة الحامضية للتفاعل وبدرجة حرارة (40 °C) وازضافة مادة ملدنة تعمل على اعطاء المرونة للبوليمر. تم تشخيص البوليمر المحضر بواسطة طيف الاشعة تحت الحمراء FT-IR وطيف الرنين النووي المغناطيسي H-NMR و ¹³C-NMR. كذلك تم اجراء فحص التحليل الحراري الوزني والتفاضلي للبوليمر TGA/DTA لمعرفة بعض خواصه الفيزيائية. وتم دراسة سطح البوليمر باستعمال قياسات تقنية المجهر الالكتروني الماسح SEM ومجهر القوة الذرية AFM لغرض معرفة طوبوغرافية سطح البوليمر وتركيبه. من أهم اهداف هذه الدراسة هو تطبيق البوليمر المحضر لتغليف قواعد الخزانات النفطية وحمايتها من التآكل. تمت دراسة كفاءة ومقاومة البوليمر المحضر بأجراء عدة اختبارات في كل من الاوساط الحامضية والقاعدية والمذيبات وكذلك تحمل البوليمر للضغط والدرجات الحرارة حيث اثبتت من خلال التجارب المختبرية ان النسبة الاكثر كفاءة وفعالية واقل كلفة هي نسبة 1:3 وبسمك (0.6 mm) وذلك بتحمل ضغط 5226.4 N ومقاومتها لدرجة حرارة تصل إلى 170 °C وللمواد العضوية واللاعضوية وكذلك لحمض H₂SO₄ بتراكيز (60%، 80% و 98%) وايضا تم دراسة الكلفة الاقتصادية لمادة التغليف المحضر حيث وجد ان كلفة تغطية قاعدة خزان بمساحة 706.5 m² يقدر بـ (4669.965) دولار امريكي تقريبا.

Synthesis of Rapid Curing- High Resistance Polymeric Coating for Oil Tank Bases

Abstract:

Bottom base tank used in the storage of crude oil and oil derivatives are among the most exposure to the corrosion because its contact with corrosive media that causing corrosion of the metals despite the existence of cathodic protection this was monitored in most of the oil tanks spread throughout Iraq. In this sense, a polymeric self- hardening material derived from non epoxy primers was prepared it has high resistance to acid and high temperature by prepared resolsenol formaldehyde resin in basic media of sodium hydroxide and using plasticizer to give the elasticity to the polymer. The new polymer that synthesized identified by various spectral methods; such as FT-IR, ¹H-NMR, ¹³C-NMR and thermal gravimetric analysis TGA/DTA. Topographic of the surface polymer also study by scanning electron microscope SEM and atomic force microscope AFM. One of the most important goals of this study was used the rapid curing high resistance polymer for bottom base oil tank coating. The efficiency and resistance of synthesized polymer were studied in several tests in acidic and basic media. Laboratory experiments have proven that the most efficient, effective and low cost is 1:3 and thickness 0.6 mm and resistance the pressure 5226.4 N and resistance to temperature up to 170 °C and resistance to acidic solution such as H₂SO₄ in different concentration. The economic cost of packing material was also studied where it was found that the cost of covering the base of a tank area 706.5 m² estimated 4669.965 \$.

1- المقدمة:

أن السبب الرئيسي للكثير من المتاعب التي تجابه العمليات التشغيلية للصناعة النفطية هو تآكل الخزانات بانواعها الذي تعتبر ظاهرة طبيعية بالغة الأهمية في الصناعات الكيماوية ولا سيما الصناعة النفطية. تحصل عملية التآكل عند حدوث تفاعل كيميائي او الكتروكيميائي بين المعدن ومحيطه وبخاصة اذا كان محيط المعدن او السبيكة المعدنية يحتوي على ماء مما يؤدي الى حصول التخریب (Destruction) ونقصان متواصل في كفاءة الأجهزة الصناعية والى تسرب الوقود من الصمامات والأنابيب والخزانات، وهذا يؤدي الى خسائر اقتصادية كبيرة اضافة الى خطورة حصول حرائق وانفجارات [1]. ولخطورة هذه الظاهرة لا بد من اتباع سبل وتقنيات لغرض السيطرة عليها ومن ابرز تلك التقنيات التي ظهرت تقنية تغطية سطوح المعادن Metal

surface coating والتي اصبحت من أكثر الطرق المستخدمة شيوعاً للتصدي لظاهرة التآكل في الخزانات [2].

يعتبر التغليف من أكثر الطرق المستخدمة شيوعاً للتصدي لعملية التآكل الفلزي، و يتلخص عمل التغليف في الحد من عملية التآكل الفلزي في أنها تقوم بعزل الفلز عن الوسط التآكل كلياً أو أنها تؤخر حدوث التفاعل بين كل من الفلز المراد تغليفه ووسط التآكل. وحالياً توجد انواع تغليف كثير منها عبارة عن خلأط من مكونات ونسب مختلفة لتحقيق خصائص معينة وتباع تحت أسماء تجارية مختلفة. وأيضاً تعتبر مادة التغليف هي مادة بوليمرية تعرف على انها مركبات كيميائية ذات اوزان جزيئية عالية وذات سلاسل طويلة [3].

حيث يحقق الطلاء الاهداف التالية: [2, 3]

- انتاج طبقة طلاء أولية على سطح المعدن المطلي حيث تلتصق بشدة على السطح وهذه الطبقة تسمى بالطلاء الاولي.
- انتاج طبقة اساسية من الطلاء على سطح المعدن بعد الطلاء الاولي لاكسابه خواصاً ميكانيكية وكيميائية افضل ولتحسين مظهره الخارجي.
- طبقات الطلاء تضمن العزل للمواد او المركبات المسببة لعوامل التآكل.
- تقوم طبقات الطلاء هذه على التقليل من قوى الاحتكاك مع المعدن المطلي.

تعد الراتنجات الفينولية واحدة من أهم البوليمرات المتصلبة حرارياً وأولى البوليمرات المحضرة صناعياً وذلك بسبب خصائصها المميزة كالاستقرار الحراري والقوة الميكانيكية وخواص العزل الكهربائي، وتستعمل في مختلف التطبيقات التجارية والصناعية والصناعات التحويلية. ان الهدف الرئيسي من عملية تحويل الراتنجات الفينولية هو تقليل هشاشة هذه البوليمرات وزيادة متانتها ومرونتها وتحسين بعض من خصائصها الفيزيائية وتحسين خصائص الالتصاق وتكنولوجيا قولبة المواد.

وصف البحث:

- 1- يهدف هذا البحث الى تحضير بوليمر مقاوم للتآكل ذاتي التصلب لتغليف قواعد الخزانات النفطية.
- 2- تشخيص البوليمر العضوي المحضر بطيف الاشعة تحت الحمراء FT-IR وكذلك تشخيصه بواسطة طيف الرنين النووي المغناطيسي H-NMR و $^{13}\text{C-NMR}$.
- 3- دراسة بعض الصفات الفيزيائية للبوليمر المحضر ومنها التحليل الحراري التفاضلي والوزني TGA/DTG والمقاومة الميكانيكية للبوليمر.
- 4- تم دراسة سطح البوليمر المحضر باستعمال قياسات تقنية المجهر الالكتروني الماسح SEM ومجهر القوة الذرية AFM.

2- الجزء العملي:

شملت عملية تشكيل راتنج التغليف على تحضير توليفتين منفصلتين بحيث تؤدي عملية مزج المادتين الى تكوين الراتنج الذي يستخدم لتغليف قاعدة الخزان النفطي.

i. تحضير التوليفة A

تم مزج نسبة 1:1 من 1 di hydroxyl benzene مع الماء وسخن المزيج بدورق زجاجي بدرجة حرارة 40 °C مع التحريك المستمر ولمدة 20 دقيقة للحصول على محلول متجانس بعدها تم إضافة الصودا الكاوية بشكل تدريجي وبدقة للحصول على رقم هايدروجيني يتراوح بين (6-8) مع استمرارية المزج والتسخين لمدة 10 دقائق اخرى ويترك المزيج ليبرد وبذلك يتم الحصول على المكون A من مكونات راتنج التغليف.



تحضير توليفة A



المنتج النهائي

الشكل (1) عملية تحضير توليفة A**ii. تحضير التوليفة B**

تم اخذ 3.67 مل من الفورمالين ووضع في دورق زجاجي محكم الغلق واطيف اليه 0.12غم من مادة اثلين داي امين تدريجيا مع المزج المستمر بدرجة حرارة الغرفة لمدة 10 دقائق حيث كان الناتج محلول متجانس هو المكون B.

iii. تشكيل راتنج التغليف

بعد الحصول على المكونين (A & B) تم مزج التوليفة A إلى B بنسبة 1:1 وزناً مع المزج التدريجي لمدة عشر دقائق وبسرعة متوسطة تجنباً لحدوث التشابك والتصلب نتيجة للحرارة المتولدة من احتكاك ريشة الخلاط بالسائل للحصول على محلول كثيف لزج نسبياً والذي ينشر على المساحة المطلوبة (قاعدة

الخزان) وفي الظروف القياسية لاجراء عملية التغليف (درجة حرارة الجو اكبر من 25 درجة مئوية ورطوبة نسبية اقل من 85%) مع مراعاة اجراء تهيئة السطح لقاعدة الخزان وفق المحددات القياسية.



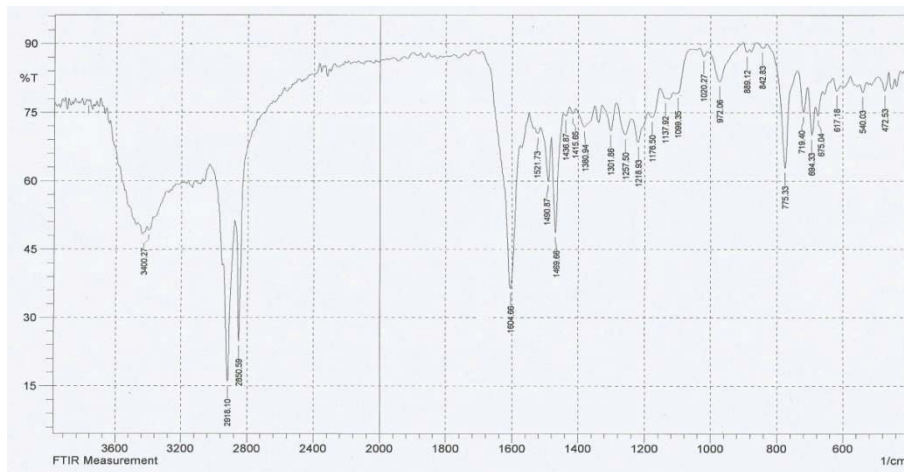
الشكل (2) مادة التغليف قبل وبعد عملية التصلب

3- النتائج والمناقشة:

1.3 نتائج التحضير والتشخيص العضوي:

• فحص مطيافية الاشعة تحت الحمراء FT-IR:

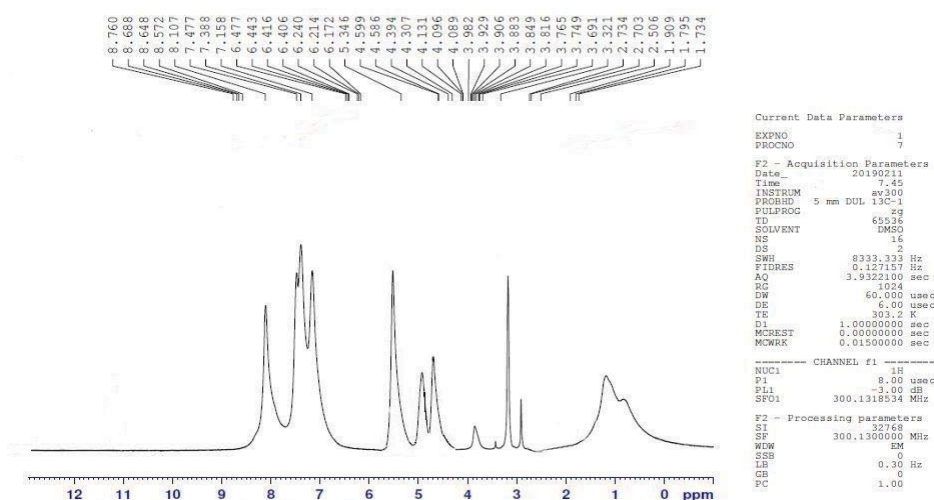
أظهر طيف FT-IR للبوليمر المحضر الامتصاصات الآتية: 3400.27 cm^{-1} تعود الى التردد الانبساطي للاصرة (O-H) ν ، 2918.1 cm^{-1} و 2850.59 cm^{-1} تعود لحركتي المط المتماثل وغير المتماثل لمجموعة المثلين ν (CH₂)، 1521.73 cm^{-1} و 1604.66 cm^{-1} تعود الى ν (C-C)، 1469.66 cm^{-1} تعود الى تردد الانحناء bending (C-H)، 1380.94 cm^{-1} تعود الى تردد الانحناء bending (C-C)، 1257.50 cm^{-1} تعود الى مط الاصرة ν (C-O)، والشكل (3) يوضح طيف FT-IR للبوليمر المحضر.



الشكل (3) طيف FT-IR للبوليمر المحضر

● فحص طيف الرنين النووي المغناطيسي $^1\text{H-NMR}$

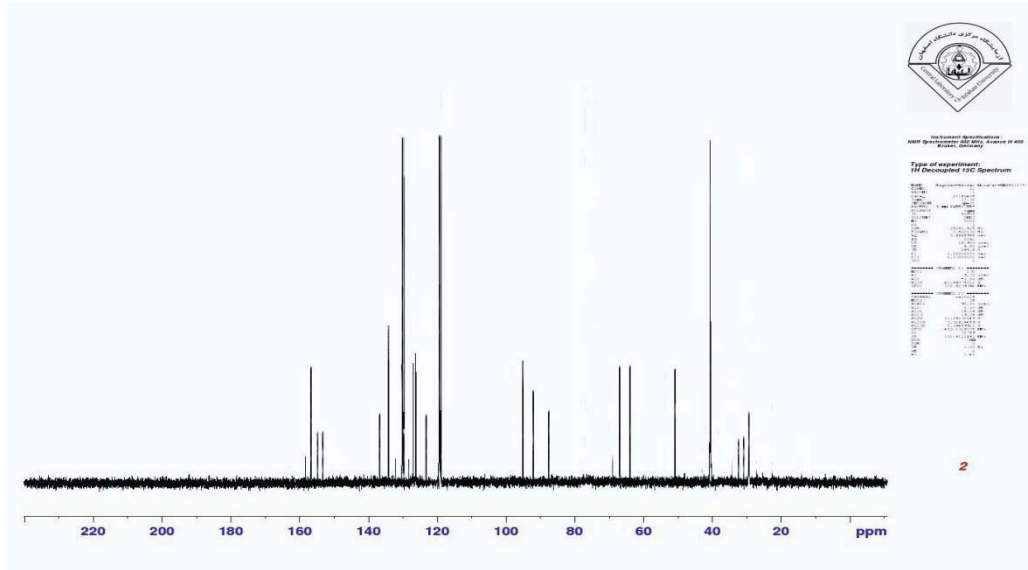
أظهر طيف $^1\text{H-NMR}$ للبوليمر المحضر الامتصاصات الآتية:
 multiplets 6.5-8.1 ppm تعود الى Ar-H البروتونات الاروماتية لحلقة البنزين، و 4.97-5.04 ppm و
 ether methylene groups (CH_2OH) و الرابطة الاثيرية 3.60-3.90 ppm
 H- linkages (CH_2OR)، تعود الى مجموعة الهيدروكسيل OH، ويوضح الشكل (4) طيف H-
 $^1\text{H-NMR}$ للبوليمر المحضر.



الشكل (4) طيف $^1\text{H-NMR}$ للبوليمر المحضر

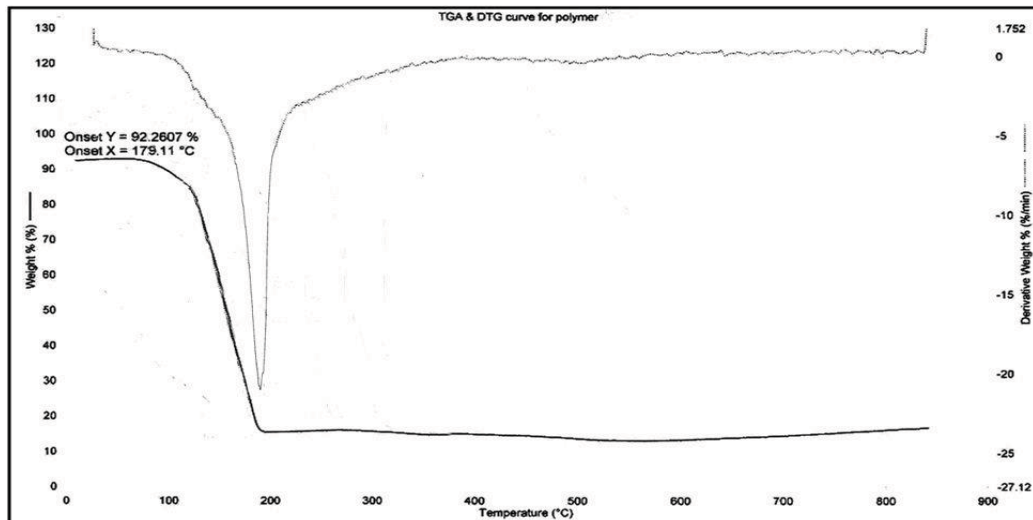
● فحص طيف الرنين النووي المغناطيسي $^{13}\text{C-NMR}$

أظهر طيف $^{13}\text{C-NMR}$ للبوليمر المحضر الامتصاصات الآتية: 30 PPM تعود الى Methylene
 free formaldehyde 85 PPM ، methylol groups 72 - 55 PPM تعود الى ، bridge
 ortho and para free 123-118 PPM ، hemiformal moiety 94 - 92 PPM ،
 aromatic carbon 135- 130 PPM تعود الى meta aromatic carbone 162 - 158 PPM
 الى phenolic carbon. ويوضح الشكل (5) طيف $^{13}\text{C-NMR}$ للبوليمر المحضر.

الشكل (5) يوضح طيف ^{13}C -NMR للبوليمر المحضر

● **فحص التحليل الحراري الوزني والتفاضلي Thermogravimetry and differential thermal analysis (TGA/DTA)**

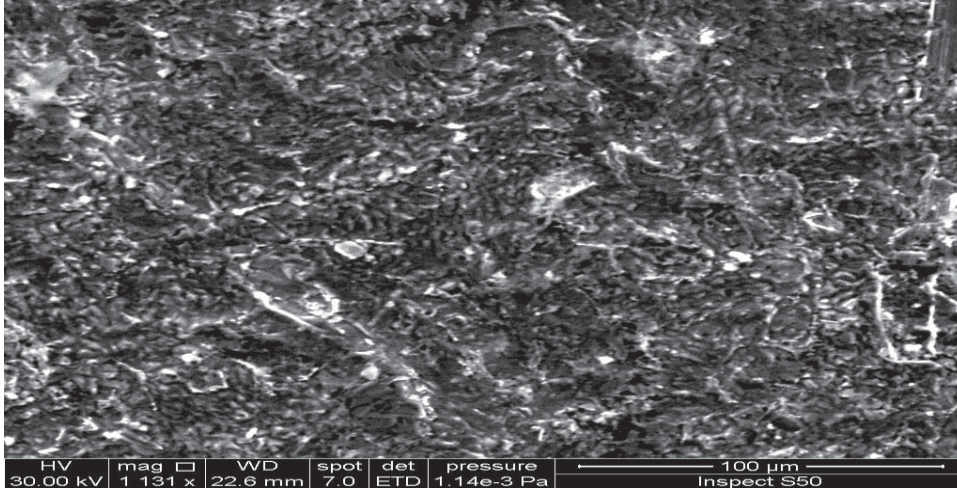
تم اجراء التحليل الحراري الوزني والتفاضلي للبوليمر المحضر بجهاز SHIMADZU:JAPAN بأخذ 10 ملغم من البوليمر ويتم الارتفاع التدريجي لدرجة الحرارة من درجة حرارة الغرفة الى 900 مئوية تقريباً بحيث يكون الارتفاع التدريجي لدرجة الحرارة 10 °C/min ووجو من غاز النيتروجين الخامل والشكل (6) يوضح التحليل الحراري الوزني والتفاضلي للبوليمر المحضر.



الشكل (6) التحليل الحراري الوزني للبوليمر المحضر

• فحص المجهر الالكتروني الماسح SEM:

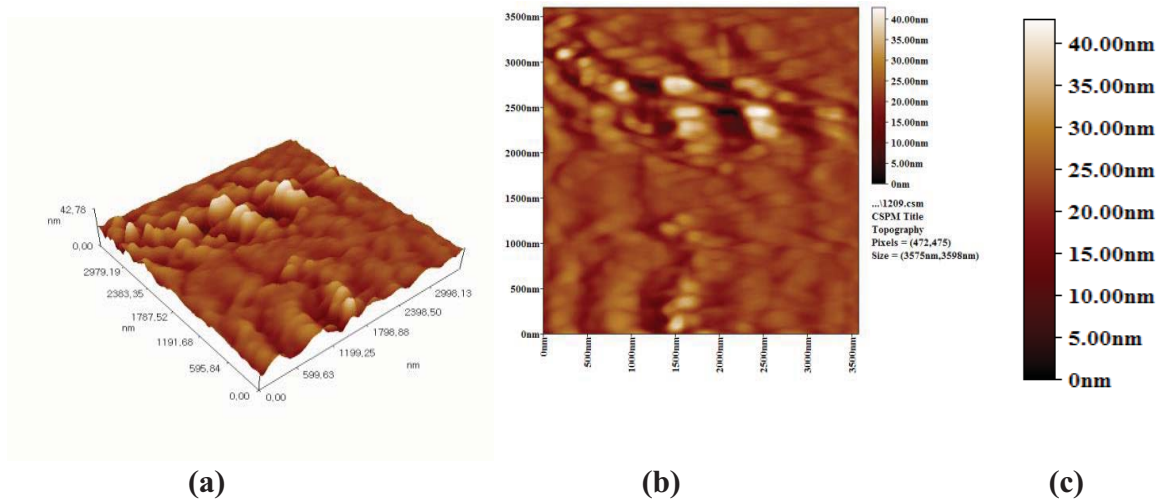
تم فحص سطح للبوليمر المحضر بواسطة المجهر الالكتروني الماسح SEM لمعرفة طوبوغرافية وتركيب السطح، والشكل (7) يوضح طوبوغرافية سطح البوليمر المحضر بواسطة فحص SEM.

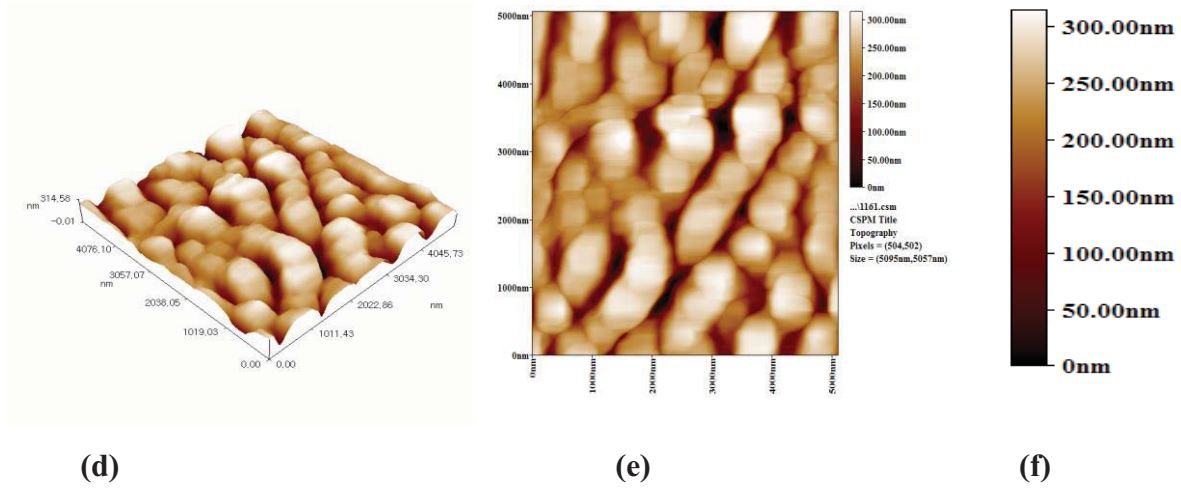


الشكل (7) طوبوغرافية سطح البوليمر المحضر بواسطة فحص SEM

• فحص مجهر القوة الذرية AFM:

تم اجراء فحص سطح البوليمر المحضر بواسطة مجهر القوة الذرية AFM حيث تبين الصور a,b,c سطح المعدن قبل استخدام البوليمر لتغطيته بينما توضح الصور d,e,f سطح المعدن بعد تغطيته بالبوليمر ويوضح الشكل (8) طوبوغرافي سطح المعدن قبل وبعد استخدام البوليمر المحضر بواسطة فحص AFM.

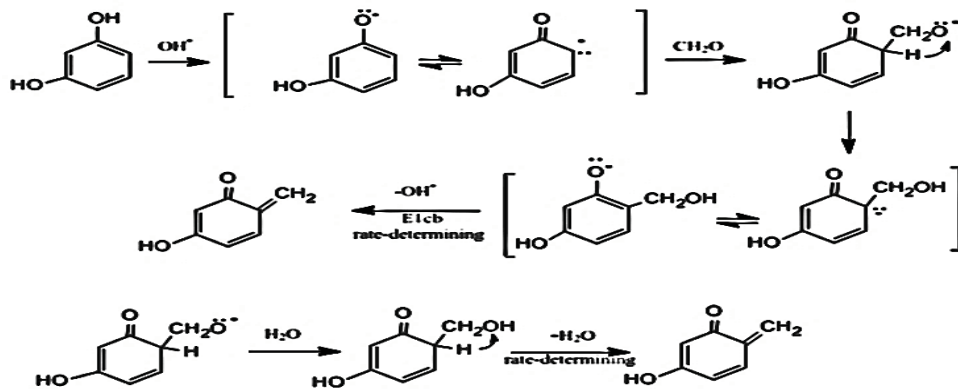


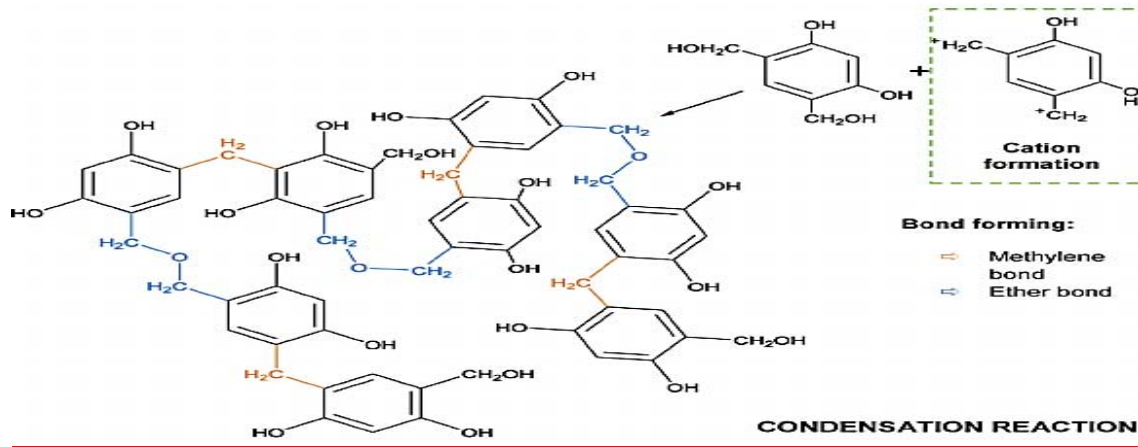


الشكل (8) طوبوغرافية سطح المعدن قبل وبعد استخدام البوليمر المحضر بواسطة فحص AFM

❖ ميكانيكية تكون الراتنج [13]

ان آلية تفاعل المكونين A و B الموضحة في الشكل (9) تتضمن تفاعلا تكاثفيا خطويا حيث يتفاعل 1، 3 di hydroxyl benzene مع زيادة من الفورمالدهايد بوجود الصودا الكاوية لغرض تنشيط الحلقة وتكوين ايون الريسوكسايد حيث يسلك 1، 3 di hydroxyl benzene سلوك باحث عن النواة تجاه الكواشف الباحثة عن الالكترين (الالدهايد) حيث يقوم ايون الريسوكسايد بمهاجمة ذرة الكربون C مجموعة الكربونيل بسبب كون هذه المجموعة هي مجموعة مستقطبة لكون السالبة الكهربائية لذرة الاوكسجين O اكبر من السالبة الكهربائية لذرة الكربون C حيث تتضمن المرحلة النهائية تكوين Cation الموجب الذي بدوره يتفاعل مع ريسوكسايد لتكوين جسر مثلين يربط بين حقتين.



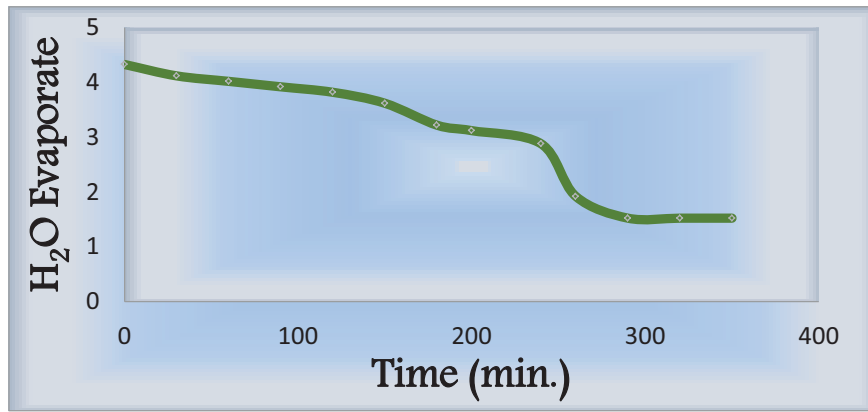


الشكل (9) ميكانيكية تكوين الراتنج

بعد اكتمال التفاعل بين المادتين (1، 3 di hydroxyl benzene والفورمالدهايد) وتكون البوليمر النهائي لوحظ تغير في الوزن قبل وبعد عملية تصلب البوليمر ويعزى ذلك الى اولا لوجود الماء في الفورمالين وثانيا للتشابك البوليمري الحاصل لتكوين الراتنج كما موضح في الشكل رقم (10) حيث ان اي تفاعل بلمرة تكاتفية ينتج عنها الماء كنتاج عرضي وعندما تكون كمية الماء عالية تتوقف عملية تكوين البوليمر وذلك لحصول حالة توازن Equilibrium State وحسب المعادلة:

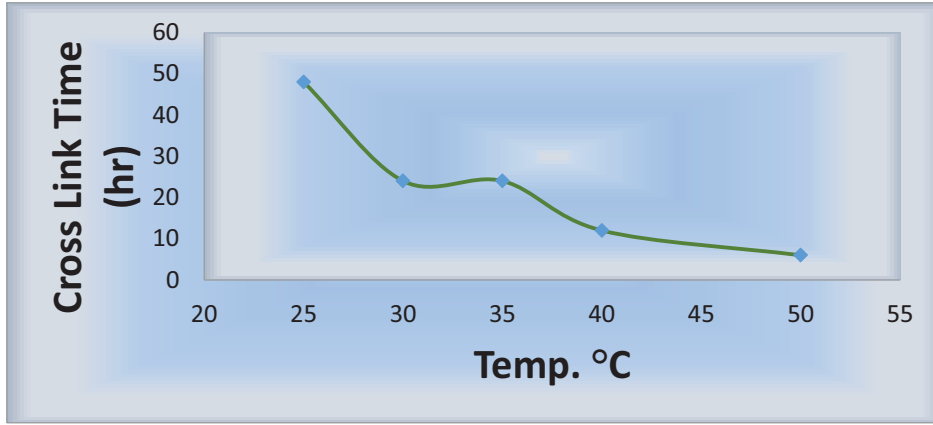


ولغرض الاخلال بحالة التوازن لابد من سحب الماء الناتج من البلمرة كنتاج عرضي وذلك بتبخيره وبهذا يتم توجيه التفاعل باتجاه عملية تكوين الراتنج (1) وذلك بتعرض المزيج للجو وبدرجة حرارة 25°C ولمدة يومان. ولوحظ ان وزن المزيج قل وهذا النقص بالوزن المفقود هو ناتج تبخر الماء من مزيج البلمرة والذي يؤدي الى زيادة في تشابك البوليمر، ويوضح الشكل رقم (11) تأثير الزمن على تصلب مادة التغليف.



الشكل (10) تأثير الزمن على تصلب مادة التغليف

وايضا تمت دراسة تغيير درجات الحرارة مع مرور الزمن، حيث لوحظ ان تصرف مادة التغليف مع تغير درجات الحرارة يتناسب عكسيا مع الزمن حيث كلما زادت درجات الحرارة كان وقت التصلب اقل. ويوضح الشكل رقم (11) تأثير الحرارة على معدل تصلب مادة التغليف بمرور الزمن.



الشكل (11) تأثير الحرارة على تصلب مادة التغليف

❖ دراسة تصرف راتنج التغليف

بعد الحصول على الشكل النهائي للراتنج (مادة التغليف) من الضروري دراسة تصرف تلك المادة ومدى كفاءتها تجاه ظروف الوسط المحيط والذي يكون في حالة تماس مع المادة حيث تم إخضاع مادة التغليف بشكلها النهائي إلى اختبارات حرارية وكيميائية وميكانيكية لبيان مدى مقاومتها لتلك الظروف.

i. المقاومة الميكانيكية لمادة التغليف

يبين الجدول (1) تصرف المادة المحضرة تجاه تأثير عامل الانضغاط والذي يعتبر من اهم العوامل الميكانيكية ذات التأثير المباشر على تصرف جزيئات الراتنج حال تعرضها لضغط خارجي والمتمثل بضغط عمود السائل وحركة المائع على سطح الراتنج والذي هو في حالة تلامس مباشر مع مادة التغليف حيث تم اخضاع الراتنج المشكل بتركيبته الفعالة والنهائية إلى فحص تأثير عامل الانضغاطية وبينت النتائج نجاح مادة التغليف بسلك مقاداره (0.6 mm) وبكلفة اقتصادية اقل من الكلفة الاقتصادية للسلك (0.8 mm).

الجدول (1) مقاومة الانضغاط للراتنج

*Thickness (mm)	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8
Applied Force (N)	16.6	80.2	85.7	5226.4	5230
Note	Break	Break	Break	Over Load	Over Load

ii. المقاومة الحرارية لمادة التغليف

- التماس المباشر: تم اخضاع عينات من الراتنج بصيغته النهائية إلى التسخين المباشر بدرجة حرارة تراوحت بين 50-150 درجة مئوية حيث بينت النتائج استقرار وثبات المقاومة الحرارية للمادة لحد 140 درجة مئوية وبدء التشوه يظهر على تركيب المادة بعد هذه الدرجة، وظهر الفشل التام على الراتنج بدرجة 149 درجة مئوية حيث وصلت المادة إلى حالة التفحم. ويبين الجدول (2) تصرف الراتنج تجاه تغير درجة الحرارة.

جدول (2) مقاومة الراتنج للحرارة المباشرة

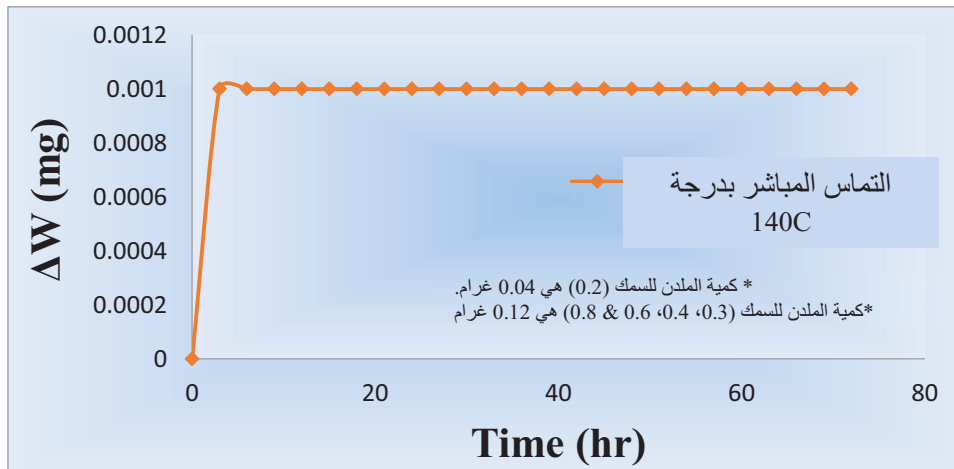
Resin Behavior				
Mole Ratio		1:1	1:2	1:3
Temp. °C	Time min.			
50	30	R	R	R
	60	F	F	R
	120	....	....	R
	180	....	....	R
100	30	....	....	R
	60	....	....	R
	120	....	....	R
	180	....	....	R
120	30	....	....	R
	60	....	....	R
	120	....	....	R
150	30	....	....	F

- التماس غير المباشر: تم اخضاع عينات من الراتنج بصيغته النهائية إلى التسخين بوجود مائع (زيت السليكون) بدرجة حرارة تراوحت بين 50-200 درجة مئوية حيث بينت النتائج استقرار وثبات المقاومة الحرارية للمادة لحد 170 درجة مئوية وبدء التشوه يظهر على تركيب المادة بعد هذه الدرجة، وظهر الفشل على الراتنج بدرجة 179 درجة مئوية حيث وصلت المادة إلى حالة التفكك الميكانيكي. ويبين الجدول (3) تصرف الراتنج تجاه تغير درجة حرارة المائع.

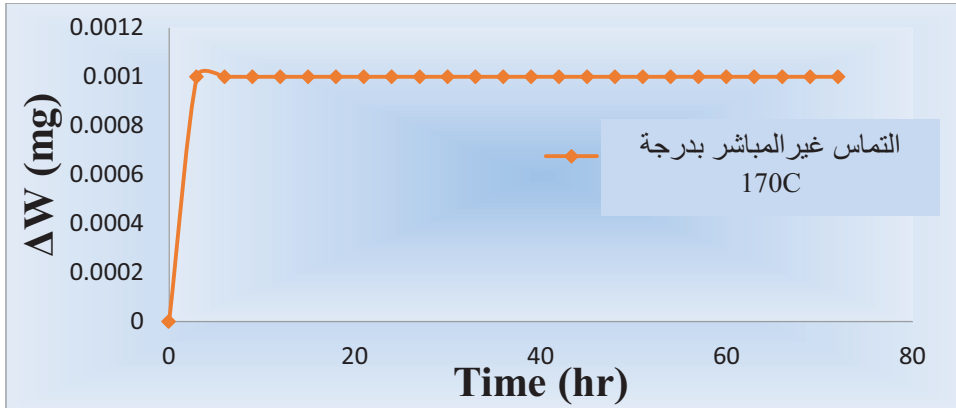
الجدول (3) مقاومة الراتنج للحرارة غير المباشرة

Resin Behavior				
Mole Ratio		1:1	1:2	1:3
Temp. °C	Time min.			
50	30	R	R	R
	60	F	F	R
	120	....	....	R
	180	....	....	R
100	30	....	....	R
	60	....	....	R
	120	....	....	R
	180	....	....	R
120	30	....	....	R
	60	....	....	R
	120	....	....	R
150	30	....	....	R
180	30	....	....	F

ويبين الشكلين (12) و (13) الاستقرار الحرارية للمادة المحضرة في حالة تعرض المادة إلى درجة حرارة 140°C بالتماس المباشر و 170°C بالتماس غير المباشر مع مصدر التسخين حيث بينت النتائج استقرار تام لمادة التغليف في هذه الدرجة الحرارية.



الشكل (12) الاستقرار الحرارية للراتنج عند التماس المباشر



الشكل (13) الاستقرارية الحرارية للراتنج عند التماس غير المباشر

❖ المقاومة الكيميائية لمادة التغليف

ويبين الجدول (4) تأثير بعض المواد الكيميائية على تصرف مادة التغليف في حالة تلامسها المباشر لتلك المواد. اثبتت النتائج استقرار تام لتركيب الراتنج (1:3 نسبة مولية) عند تعرضه لكل من مادة (التلوين، الايثانول، الميثانول، النفط الخام، الماء المصاحب) في حين لم يكن هناك مقاومة تذكر للراتنج المحضر بنسب مولية (1:1) و (1:2) في حين بينت النتائج مقاومة الراتنج (1:3 نسبة مولية) لمادة حامض الكبريتيك المركز بينما حصل انهيار في تركيب الراتنج عند تعريضه لكل من محلول الصودا الكاوية (5% و 10%) ومحلول حامض النتريك المركز.

جدول (4) المقاومة الكيميائية للراتنج المحضر تجاه بعض المذيبات والحوامض والقواعد

Solubility Test at Room Temperature												
Ratio	Time	Toluene	Ethanol	Methanol	Produced Water*	Crude Oil	Kerosene	Gasoline	Gas oil	H ₂ SO ₄		
										60%	80%	%98
1:1	1 hr	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Sol.	Sol.	Sol.
	2 hr	Sol.	Sol.	Sol.	Sol.	Sol.	Sol.	Sol.	Sol.	----	----	----
	24 hr	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
1:2	1 hr	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	----	----
	2 hr	Sol.	Sol.	Sol.	Sol.	Sol.	Sol.	Sol.	Sol.	----	----	----
	24 hr	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
1:3	1 hr	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.
	2 hr	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.
	24 hr	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.	Non sol.

* Produced Water 200 mg/l

❖ الجدوى الفنية والاقتصادية:

بعد إجراء التحليل الرياضي لكلفة انتاج مادة التغليف وتطبيقها على مساحة محددة. أثبتت النتائج ان تغليف مساحة مقدارها 7.1 سم² يكلف 0.43 دولار على ان يكون سمك طبقة التغليف 0.6 ملم وتبين المعادلة ادناه كلفة تغليف قاعدة خزان اعتماداً على اي تغير في المساحة مع ثبات سمك التغليف. ويوضح الجدول (5) الكلف الاقتصادية لتحضير راتنج تغليف الخزانات مع تغير بالمساحة السطحية $Cost (\$) = 6.61 Area (m^2)$.

الجدول (5) الكلفة بتغير المساحة

القطر (متر)	المساحة (متر مربع)	الكلفة (دولار)
3×10^{-2}	0.07063	0.467
10	78.5	518.8
15	176.62	1167.45
20	314	2075.54
25	490.63	3243.06
30	706.5	4669.965

4- الاستنتاجات:

- 1- أن البوليمر المحضر في هذا الاختراع ذاتي التصلب وله أهمية بالغة بالصناعة النفطية لمنع التآكل الحاصل في قواعد الخزانات النفطية.
- 2- أن البوليمر المحضر وبسبب خواصه الالتصاقية يؤهله ذلك للاستخدام في مجالات العزل الحراري.
- 3- البوليمر المحضر يمكن استخدامه لفصل الغازات عبر الاغشية الرقيقة Thin layer.
- 4- البوليمر المحضر يمتاز بكفاءته العالية على مقاومة المذيبات والايوساط الحامضية.
- 5- يتحمل انضغاطية عالية تصل إلى 5000 نيوتن عند سمك 0.6 mm فما فوق.
- 6- تصل مقاومة راتنج التغليف لدرجة الحرارة إلى 170 درجة مئوية.

المصادر:

1. د. قحطان خلف محمد الخزرجي وعبد الجواد محمد احمد الشريف، "التآكل اسبابه وانوعه وطرق الحماية"، مديرية دار الكتب للطباعة والنشر - جامعة الموصل، 1988.
2. Gardziella, A., Pilato, L. A., and Knop, A. "Phenolic Resins 2000" Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
3. George T. Bayer, Ph.D, "Failure Analysis of Paints and Coatings", August 3, 2004.
4. Revie, W. ed. Uhlig's "Corrosion Handbook", 2nd ed. New York: John Wiley, USA, 89--J. McMurry, "Organic Chemistry", Fifth Edition, Cornell, University, Books Cole, New York, 2008.
5. Paula Yurkanis Bruice, "Organic Chemistry", Fourth Edition, 2004.
6. F. A. Cary, "Organic Chemistry", Sixth Edition, McGraw Hill Companies Inc., New York, (2006). 1105, 2000.
7. A. Knop, W. Scheib, Chemistry and Application of Phenolic Resin; Springer: New York, 1999.
8. J. H. Freeman; C. W. Lewis, Alkaline Catalyzed reaction of Formaldehyde and Methylol of Phenol, Journal of American Chemical Society, 76, 2008.
9. Modern plastics Encyclopedia, vol. 77, no. 12, Mc Grew-hill co., Inc., Newyork, Nov., 2000.
10. V.C.Resmi, S.K.NarayananKutty, "Synthesis and Modification of Low Formaldehyde Resol Resin Using Sodium Sulphite and Hydroxylamine Hydrochloride", Indian Journal of Advances in Chemical Since, 2014.
11. هدى سالم ووداد صالح وزكي ناصر، "تحضير ودراسة الخصائص الحرارية لكوبوليمرات"، 2016.
12. Yong Zhao, "Development of Bio – based phenol formaldehyde Resol Resins using Mountain Pine Barks", University of Toronto, 2013.
13. Tahong Li, Minycao & Jiang Liauy, Mechanism of Base Catalyzed Resorcinol –Formaldehyde & phenol-resorcinol-formaldehyde Condensation Reaction, University of Kuming, 2017.