

## Studying of Influence of Nitrile Rubber Adding on Some Physical, Mechanical and Thermal Properties of Unsaturated Polyester Resin

Dr. Rami Hanna Mansour<sup>\*</sup>  
Dr. Hadi Abed AL Kareem Moualla<sup>\*\*</sup>  
Yasser Youssef Kara Fallah<sup>\*\*\*</sup>

(Received 30 / 8 / 2021. Accepted 29 / 5 / 2022)

### □ ABSTRACT □

This research aims to study the effect of nitrile rubber on the mechanical, physical and thermal properties of the unsaturated polyester resin ( UPR ).

To achieve this aim, different percentages of rubber were added up to 15% and their effect on the tensile curves, density and hardness, as well as on each of the heat capacity and thermal conductivity were studied.

The experimental results showed a clear decrease in the density, surface hardness and tensile stress, while an improvement in both the relative elongation and heat capacity was observed with the increase in the percentage of added rubber.

**Keywords:** unsaturated polyester resin GP grade UPR, Nitrile Rubber solution NBR, blend, Density, Hardness, Tensile characteristics, thermal conductivity, thermal capacity, Morphology ,SEM.

---

<sup>\*</sup>Professor - Design and Production Engineering Department – Mechanical and Electrical Faculty – Tishreen University – Lattakia – Syria. ramimansour@gmail.com

<sup>\*\*</sup> Assistant Professor - Design and Production Department – Mechanical and Electrical Faculty – Tishreen University – Lattakia – Syria. hadimaala@gmail.com

<sup>\*\*\*</sup> Postgraduate Student ( Doctorate) Mechanical and Electrical Faculty - Design and Production Engineering Department – Tishreen University – Lattakia – Syria. yhspring1@gmail.com

## دراسة تأثير إضافة المطاط النتريلي على بعض الخواص الفيزيائية و الميكانيكية والحرارية لريزين البولي استر غير المشبع

د. رامي حنا منصور\*

د. هادي عبد الكريم معلا\*\*

ياسر يوسف قره فلاح\*\*\*

(تاريخ الإيداع 30 / 8 / 2021. قُبِلَ للنشر في 29 / 5 / 2022)

### □ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير المطاط النتريلي على الخواص الميكانيكية والفيزيائية والحرارية لريزين البولي استر غير المشبع UPR.

لتحقيق هذا الهدف تم إضافة نسب مختلفة من المطاط حتى 15% ودراسة تأثيرها على منحنيات الشد وعلى الكثافة والقساوة، وأيضاً على كل من السعة الحرارية والناقلية الحرارية.

أظهرت النتائج التجريبية حدوث انخفاض واضح في كل من الكثافة والقساوة السطحية وإجهاد الشد بزيادة نسبة المطاط النتريلي، في حين لوحظ تحسن بكل من الاستطالة النسبية والسعة الحرارية مع زيادة نسبة المطاط المضاف.

**الكلمات المفتاحية:** ريزين البولي استر غير المشبع UPR، محلول مطاط نتريلي NBRL، كثافة، قساوة، خواص ميكانيكية، مقاومة الشد، ناقلية حرارية، سعة حرارية، الماسح الإلكتروني الضوئي SEM.

\* أستاذ - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

ramimansour@gmail.com

\*\* مدرس - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

hadimaala@gmail.com

\*\*\* طالب دكتوراه - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

yhspring1@gmail.com

**مقدمة:**

يستعمل ريزين البولي استر غير المشبع Unsaturated Polyester Resin UPR بكثرة في المواد المركبة والبلاستيكية المقواة بالألياف، حيث يمتاز بخواص ميكانيكية جيدة واستقرارية بالأبعاد، وقابلية ترابط جيدة مع مواد أخرى مختلفة، بالإضافة إلى عازلية كهربائية وحرارية جيدة، وجودة عالية للسطح بعد التصلب، إلا أن المشكلة في استخدام هذا النوع من الرزينات المتصلبة حرارياً هي العيوب التي تبدأ بالظهور على شكل شقوق ميكروية في الرزین المعالج، وهذا يعود إلى كون ريزين البولي استر يصبح مادة قاسية جداً وقصفة بعد حصول تصالب الشبكة البوليميرية، وهذا الأمر يعود إلى اللدونة المنخفضة للريزين [1,4].

تظهر بعض التطبيقات الخاصة التي تتطلب متانة صدم وتمزق عاليتين نسبياً الحاجة إلى تحسين لدونة الريزين، ويتم ذلك عن طريق مزجه بمحلول مطاطي.

يتم تلدين ريزين البولي استر غير المشبع للأغراض العامة GP grade UP resin ب إجراء إضافة المادة المدنة ( محلول مطاطي )، حيث يتم انحلال قطع من المطاط بمحل عضوي، ومن ثم تمزج مع الريزين UPR وإجراء عملية خلط ميكانيكي للمزيج في جميع المراحل، وذلك لتحقيق بعض متطلبات الأداء العالي للريزين UPR (تخفيض قسافة الريزين القاسي brittleness) [2,3].

يجب الانتباه إلى التوافقية بين مكونات المزيج لأنه إذا لم يكن هناك درجة عالية للتوافقية فإن مستوى الاندماج بين السائل المطاطي والريزين UPR لا يكون جيد وبالتالي لا تحسن الخواص الميكانيكية للبوليمير الجديد (المزيج). [5]. تم إجراء البحث في جامعة تشرين - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - قسم هندسة التصميم والإنتاج في العام 2021.

**أهمية البحث وأهدافه:**

يملك ريزين البولي استر غير المشبع UPR استطالة نسبية على الشد صغيرة وذلك نتيجة قسافته، وهذا يجعل من الصعوبة بمكان استخدامه في مسائل تتطلب طاقة جيدة لامتصاص الصدمات. لذلك وبهدف إكساب هذا النوع من الرزينات سلوك امتصاص جيد لطاقة الصدم عن طريق زيادة استطالته لجأنا إلى تحقيق ذلك عن طريق إضافة المطاط له.

أظهرت الدراسات المرجعية التي تتناول موضوع تلدين بنية الريزين UPR بالمطاط أن الموضوع مازال إلى وقتنا الحالي قيد الدراسة والتقصي، حيث قام الباحث Salam Obaid Abdulghani وزملاءه في العام 2021 بتحضير خلطات بوليميرية متعددة المكونات نظراً لامتلاكها مجموعة واسعة من الخواص مقارنة بالبوليميرات المفردة، حيث عملوا على تحضير أربع مجموعات من خلطات البوليميرات الثلاثية، المجموعتين الأوليتين تتكونان من الريزين UPR مع مطاط متعدد الكبريت PSR بنسب وزنية (3&6%) وبولي ميثيل ميتا أكريلات PMMA بنسب وزنية (0,5,10,15%). أما المجموعتين المتبقيتين فتتكونان من الريزين UPR مع المطاط الطبيعي NR بدلاً من المطاط PSR وبولي ميثيل ميتا أكريلات PMMA بنفس النسب الوزنية، وركزت الدراسة على تأثير النسب المذكورة لكل من المطاط الطبيعي NR والمطاط PSR وبولي ميثيل ميتا أكريلات PMMA على كل من مقاومة الشد والانضغاط والصلابة، حيث تبين النتائج بأن كل من مقاومة الشد والصلابة يزدادان مع زيادة نسبة PMMA، كما تبين أن العينات التي تحتوي على المطاط الطبيعي تمتلك خواص ميكانيكية أعلى من نظيراتها التي تحتوي المطاط PSR. [6].

قدم الباحث Chandresh M.P. وزملائه في العام 2021 بتقديم مراجعة عن تلدن الريزين UPR بجزيئات مطاطية صلبة وبالمحاليل المطاطية. حيث ركزت الدراسة على ضرورة تلدن هذا الريزين بالمطاط نظراً لانخفاض المتانة وبالتالي محدودية الاستخدام، والنظر إلى تأثير إضافة أنواع مختلفة من المطاط على صلابة الريزين UPR، وهنا تم التطرق إلى التعديل الكيميائي أيضاً الذي يكسب الريزين صلابة أعلى. [7]

قام الباحث Hairul Abral وزملائه في العام 2020 بإجراء تحسين للخواص الحرارية والميكانيكية ( الشد والصدم ) للريزین UPR عن طريق مزجه بفينيل استر ومينيل ميتا اكريلات وذلك لتحسين صلابته وربط تلك الخصائص بمورفولوجيا سطح الكسر للعينات المختبرة قبل وبعد إضافة أحمال مختلفة من فينيل استر ( 10,2030,40% VA ) مع 10% ميتيل ميتا أكريلات MMA. أظهرت النتائج أن أفضل أداء هو للخلطة (UPR+30%VA+10%MMA) حيث سجلت تحسن مقاومة الصدم بنسبة 17.6% مقارنة بالريزین UPR الصافي، مع زيادة استطالة الشد بنسبة 13% وتحسن مقاومة الشد بنسبة 45.5%، وأيضاً زيادة المقاومة الحرارية للمزيج مما جعله يتمتع بإمكانية عالية لاستخدامه في تطبيقات تتطلب صلابة جيدة. [8]

وفي دراسة أخرى بعنوان تعديل سلوك التخميد الديناميكي للريزین UPR للباحث الهندي RAY في عام 2008، وذلك عن طريق تلدن بوسائل مطاطي Latex ( SBR ) بنسب مختلفة 1%، 5%، 10% وإجراء اختبارات الانحناء والتصوير الميكانيكي-ديناميكي DMA dynamic mechanical analysis. أظهرت النتائج ازدياد معامل الانحناء بنسبة 22-50% في حالة نسبة المطاط 1% و 5% على التسلسل، وهذا يشير إلى ارتباط قوي بين جزيئات المطاط والريزین، بينما ظهر في حالة نسبة المطاط 10% انفصال أطوار بين جزيئات المطاط وجزيئات الريزین، كما تبين بأن سلوك التخميد الديناميكي للخلطة 5% كان الأفضل من الخلطة 1% من خلال نتائج التحليل DMA. [9] هناك دراسة لمقاومة الشد ومعدل التمزق لمزيج بوليميري من UPR ومحلول مطاط نتريلي NBR بنسب مختلفة (5%,10%,15%) للباحث DAWAY في عام 2015 أظهرت بان معدلات الانفعال للريزین UPR تزداد بعد خلطها مع المطاط النتريلي في حين تتخفف القيم العظمى لمقاومة الشد ومعاملات المرونة، مع ازدياد نسبة المطاط، وهنا استخدم الباحث مادة التولون لحل جزيئات المطاط قبل مزجها مع الريزین. أظهرت نتيجة التصوير المجهرى بأن هناك ازدياد في نسبة انفصال الطور مع ازدياد نسبة المطاط إلى النسبة (10%,15%) إلا أنه كانت نسبة الانفصال بسيطة عند النسبة (5%). [10]

بناءً على الدراسات المرجعية السابقة الذكر يهدف البحث الحالي إلى دراسة بعض الخواص الميكانيكية والفيزيائية والحرارية لمزيج من ريزين البولي استر غير المشبع UPR - المستخدم للأغراض العامة GP grade UPR resin - مع سائل من المطاط النتريلي NBR بنسب مختلفة للمطاط، وهي محاولة للمساهمة في تعديل بنية الريزین UPR بهدف جعله مناسباً لاستخدامه في مجال تحمل الصدمات، ومقارنة بعض الخواص الميكانيكية والفيزيائية والحرارية للريزین الصافي والريزین الملدن بالمطاط النتريلي.

**طرائق البحث ومواده:****1-المواد الأولية :**

\*ريزين البولي أستر غير المشبع للأغراض العامة GP grade UPR resin : هو سائل لزج شفاف عند درجة حرارة الغرفة وهو أحد أنواع البوليميرات المتصلدة حرارياً (Thermosets) كثافته  $1200 \text{ kg/m}^3$  من شركة Fosroc Chemicals India Ltd الهندية.

\*المسرع : نفتانات الكوبالت cobalt naphthenate

\*المقسي ( Hardener ) : ميتيل إيتيل كيتون بيروكسيد ورمزه ( MEKP ) : وهو على شكل سائل شفاف سيتم إضافته بنسبة ( 2 % ) إلى ريزين البولي أستر غير المشبع عند درجة حرارة الغرفة. [1,15]

\*محلول مطاط نتريلي NBR مجهز في الورشة باستخدام مطاط نتريلي خام ومحل عضوي ( التولوين ) تم ترميزه بـ NBRL ويتمتع بالخواص المذكورة في الجدول (1) [3].

الجدول (1) الخواص الفيزيائية لمحلول المطاط النتريلي

الخاصية	محلول مطاط نتريلي NBRL
الحالة الفيزيائية	سائل
لون المحلول	أصفر
المحل المستخدم	تولوين

**2- تحضير العينات :**

تم تحضير في البداية ريزين البولي أستر غير المشبع UPR بدون وضع المقسي، حيث تم خلط الريزين غير المشبع مع المسرع بنسبة 0.5% بواسطة خلاط ميكانيكي بسرعة خلط تزداد بالتدرج حتى 1000 r.p.m ، وزمن خلط إجمالي بحدود 2 min وذلك لتحقيق التوزع الجيد للمسرع ضمن بنية الريزين. [3]

تم إضافة محلول مطاط النتريلي بالنسبة المدروسة، وخلط بسرعة تزداد بالتدرج حتى 1000 r.p.m وزمن خلط إجمالي بحدود 10 min وذلك لتوزع جزيئات المطاط بشكل جيد ضمن الريزين وتحقيق التجانس الجيد.

تم أخيراً وضع المقسي MEKP بنسبة 2% والخلط على عدة مراحل بسرعة حتى 1000 r.p.m ( الزيادة بالتدرج ) وزمن خلط إجمالي بحدود 3 min إلى أن يتجانس الخليط. [15]

تم تحضير عدة خلطات من المزائج بين الريزين UPR مع محلول المطاط النتريلي الذي تم تحضيره ابتداءً من المطاط النتريلي الخام بنسب وزنية مختلفة (0,2,5,7,10,15%) وإجراء بعض الاختبارات الفيزيائية والحرارية والميكانيكية.

يتم صب المزيج المحضر في القوالب المجهزة.

بغرض إكمال الربط التقاطعي بشكل تام وتقليل نسبة التقلصات وزيادة الترابط بين جزيئات المادة يتم وضع الريزين بعد تصلبه داخل فرن كهربائي في درجة حرارة  $60^\circ\text{C}$  مدة 2-3 hr وتسمى هذه العملية بالمعالجة المتممة (Post Curing)، وبعد إتمام هذه العملية تصبح عينة الريزين جاهزة للفحص والاستخدام. [11,13].

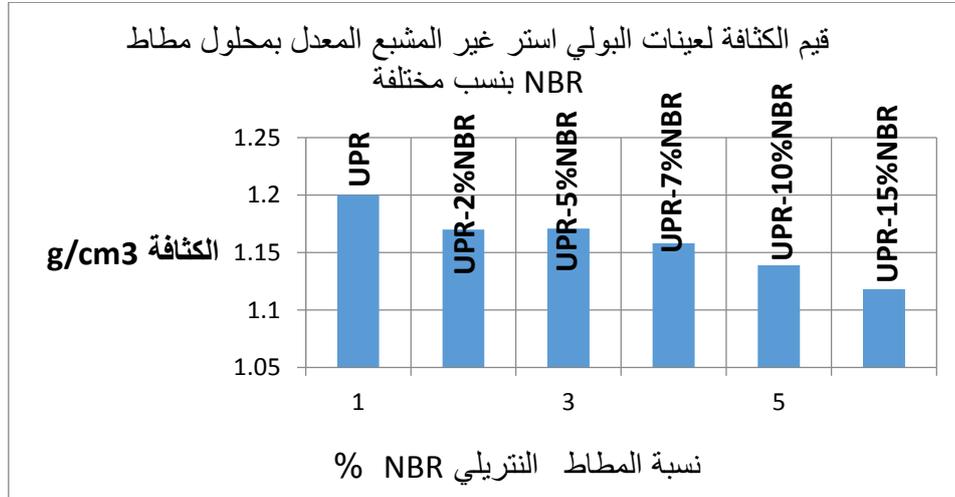
### 3-الاختبارات

- قياس الكثافة : الهدف من قياسها معرفة مدى تغير قيمها للريز ين UPR عند إضافة المطاط النتريلي له لأنه يهمننا في البحث العام في الدراسات العليا مسألة انخفاض في وزن العينات المزمع تشكيلها، حيث تم قياسها وفق مبدأ الماء المزاح (دافعة أرخميدس). [11]
- القساوة : الهدف من قياسها معرفة مدى تغير قيمها للريز ين UPR مع تغير نسبة المطاط النتريلي المضاف له لأنه يهمننا في البحث العام في الدراسات العليا معرفة حدود تغير قساوة المنتج، حيث تم قياسها بواسطة جهاز اختبار القساوة وفق المعيار ASTM D2240 [11].
- خصائص الشد: تمت اختبارات الشد للعينات باستخدام آلة الاختبار العامة وفق الستاندر ASTM D638 . [13,14]
- الناقلية والسعة الحرارية : تم القياس بواسطة جهاز Mathis TCI من شركة Seteram الفرنسية. [12]

### النتائج والمناقشة:

#### 1- نتائج قياس الكثافة Thickness test

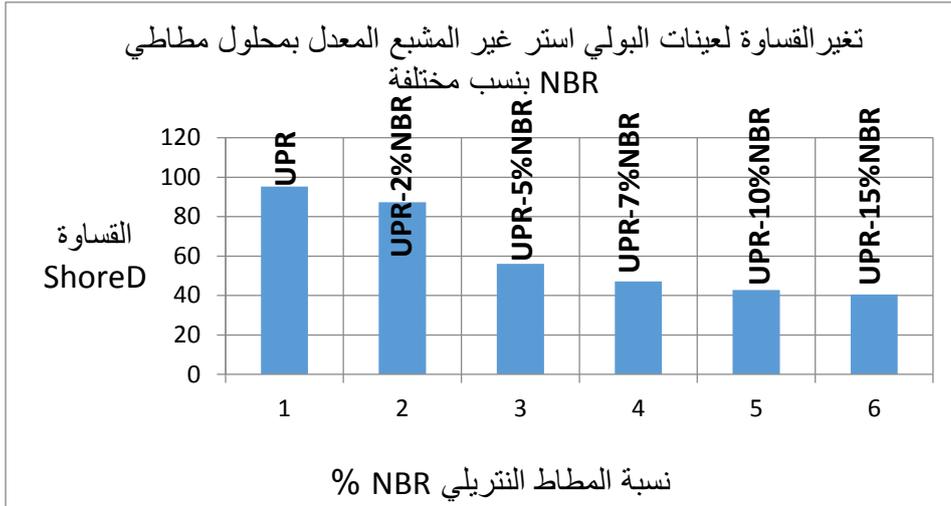
يبين الشكل (1) تغير قيم الكثافات لعينات البولي استر غير المشبع المعدل بمحلول مطاط نتريلي NBR بنسب مختلفة (0,2,5,7,10,15%)، ويظهر بأن الريز ين UPR الصاف يملك القيمة الأكبر للكثافة، وهذه القيمة تتناقص مع زيادة نسبة المطاط.



الشكل (1) منحنيات الكثافة لعينات البولي استر غير المشبع المعدل بنسب مختلفة من المطاط النتريلي NBR

#### 2- نتائج قياس القساوة Hardness test

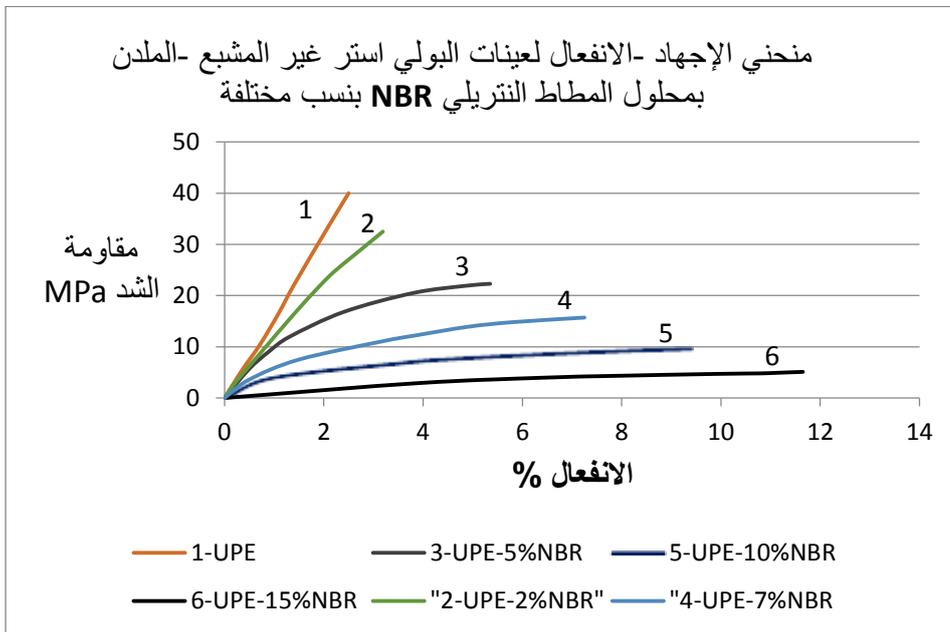
يبين الشكل (2) تغير قيم القساوة لعينات البولي استر غير المشبع المعدل بمحلول مطاط نتريلي NBR بنسب مختلفة (0,2,5,7,10,15%)، ويظهر بأن الريز ين UPR الصاف يملك القيمة الأكبر للقساوة، وهذه القيمة تتناقص مع زيادة نسبة المطاط.



الشكل (2) منحنيات القساوة لعينات البولي استر غير المشبع المعدل بنسب مختلفة من المطاط النتريلي NBR

### 3- نتائج اختبار الشد Tinsel test

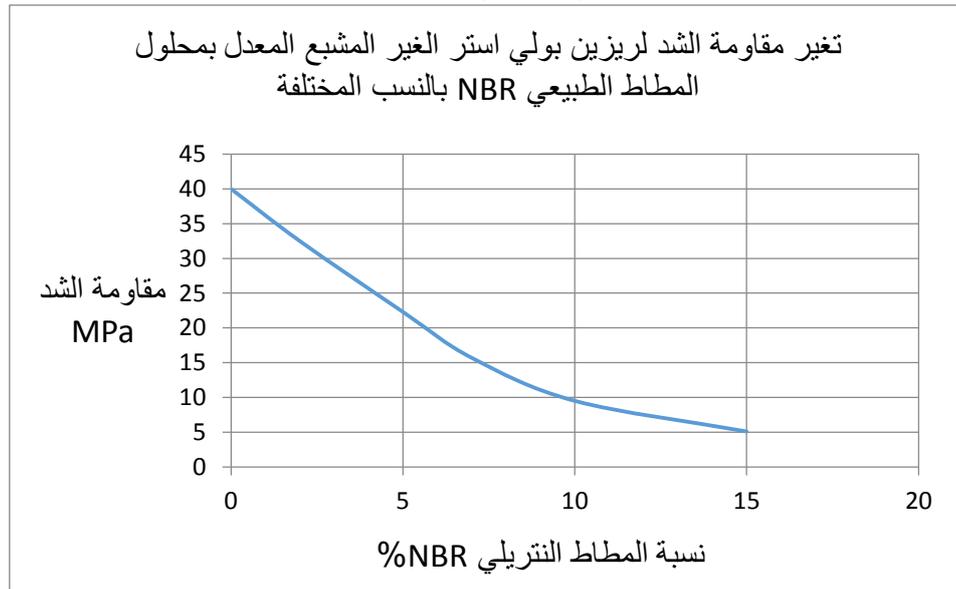
نلاحظ من منحنيات الشد الناتجة بأن منحنى ( الاجهاد - الانفعال ) لعينة الريزين UPR الصاف بدون مزج مع المطاط هو خطي وهذا يعود إلى قسافة الريزين، لكن بعد المزج مع المحلول المطاطي بالنسب المختلفة تصبح منحنيات ( الاجهاد - الانفعال ) غير خطية وتزداد قيم الانفعال مقابل نقصان قيم مقاومة الشد ومعامل المرونة كلما زادت نسبة المطاط في العينة، وهذا يعود إلى طبيعة المطاط المضاف الذي يحول المادة إلى الحالة اللدنة، الشكل (3).



الشكل (3) منحنيات الشد لعينات البولي استر غير المشبع المعدل بنسب مختلفة من المطاط النتريلي NBR

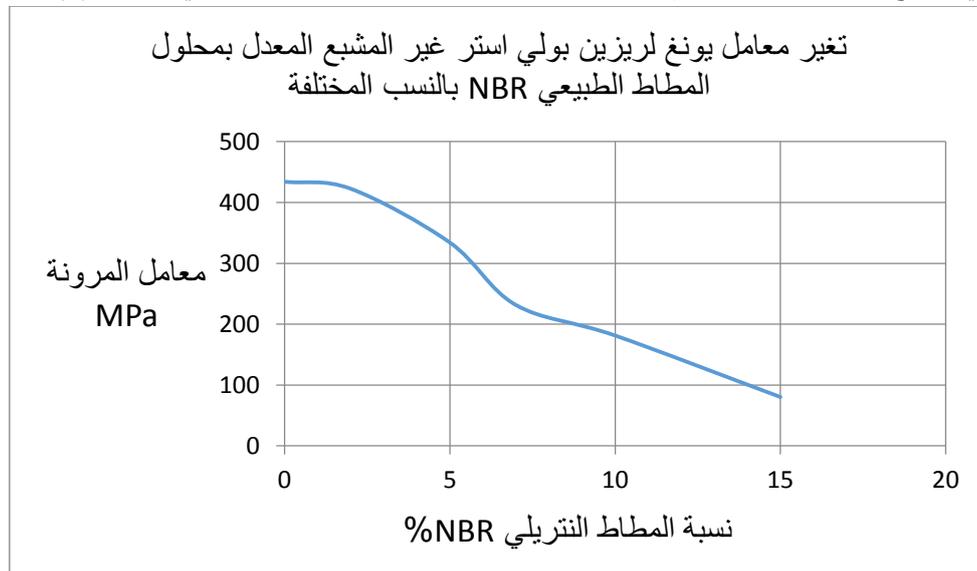
أيضاً نلاحظ من المنحنيات المبينة بالشكل (3) بأن الريزين UPR الصاف يملك القيمة الأكبر لمقاومة الشد، وهذه القيمة تنقص مع زيادة نسبة المطاط، وهذا يدل إلى الحقيقة بأن الريزين UPR الصاف هو أكثر صلابة من المطاط

الذي هو طري ومرن ويسلك سلوك المادة اللزجة- المرنة التي يكون فيها واضح نقصان قيمة مقاومة الشد بزيادة النسبة الوزنية للمحلول المطاطي ( الشكل4) ، وهذا واضح من نتائج قياس القساوة.



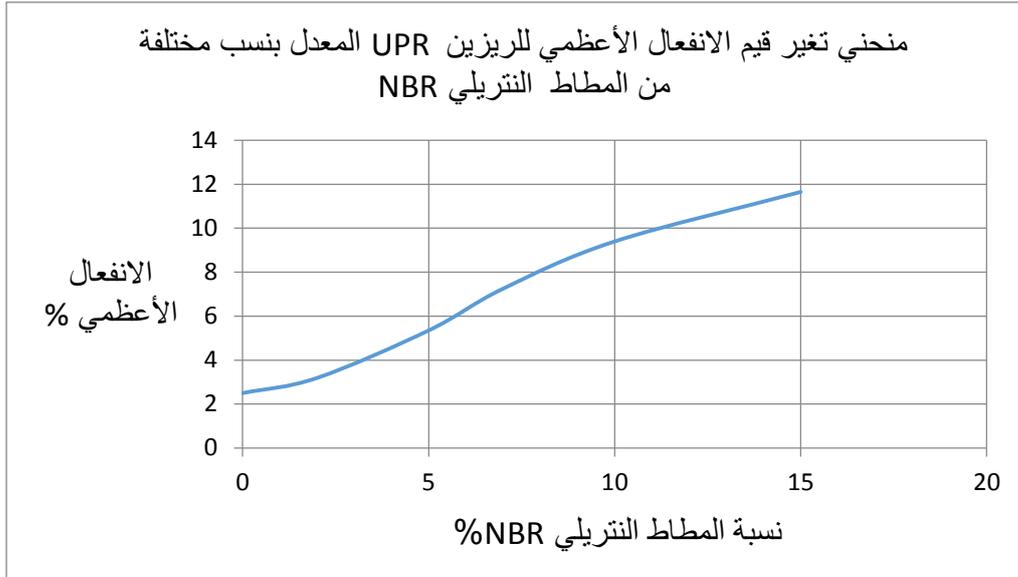
الشكل (4) منحنى تغير مقاومة الشد لريزين البولي استر غير المشبع عند مزجه بنسب مختلفة من المطاط النتريلي NBR

كذلك نلاحظ بأن قيمة معامل المرونة للريزين UPR الصافي هي الأعلى حيث تنقص مع زيادة نسبة المحلول المطاطي في المزيج لأن المطاط يملك قيم معاملات مرونة أقل منها للريزين UPR الصافي-الشكل (5).



الشكل (5) منحنى تغير معامل المرونة لريزين البولي استر غير المشبع عند مزجه بنسب مختلفة من المطاط النتريلي NBR

بالعودة إلى الشكل (3) الذي يظهر علاقة الانفعال مع مقاومة الشد للمزائج المحضرة، وهو يبين بالواقع التأثير التلديني لمادة المطاط النتريلي NBR من خلال النظر إلى تغير قيم الانفعال الأعظمي بدلالة نسبة المطاط النتريلي المضاف للريزين UPR ( الشكل6).

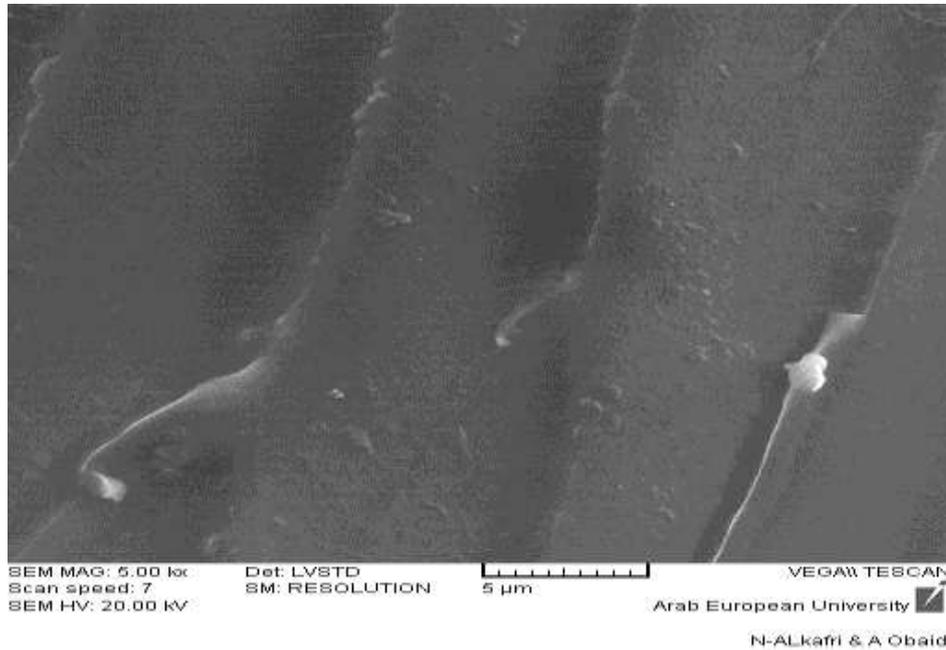


الشكل (6) منحنيات تغير قيم الانفعال الأعظمي للريزين UPR المعدل بنسب مختلفة من المطاط النتريلي

#### 4- الدراسة المورفولوجية Morphology Study

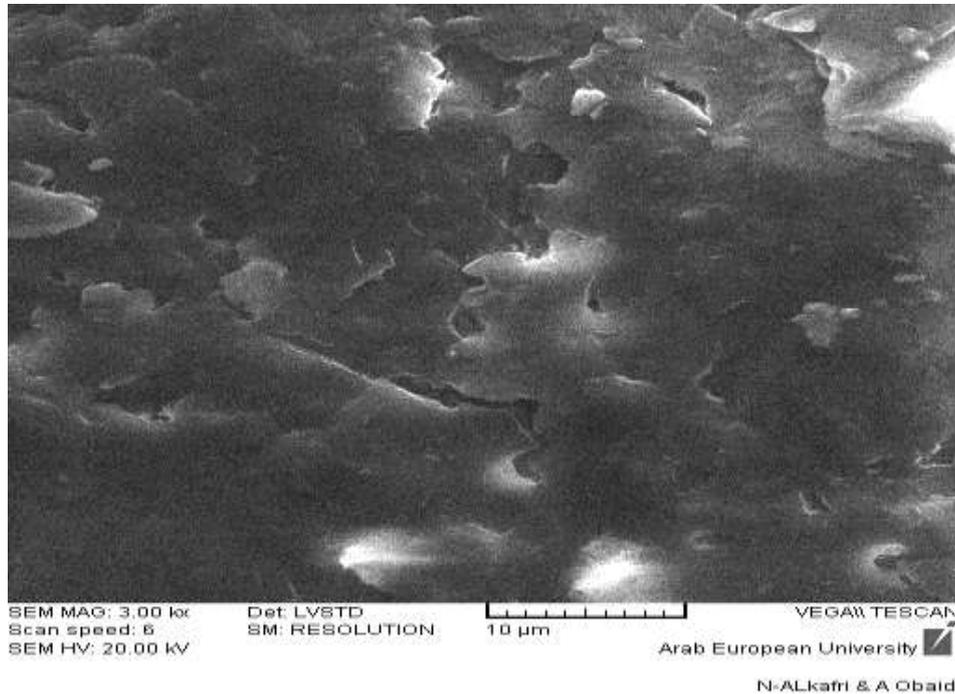
للتأكد من الاستنتاجات المقترحة في تحليل النتائج السابقة كان لابد من إجراء مسح إلكتروني بهدف تحديد توزيع وانتشار المطاط السائل المضاف ضمن كتلة عينات البولي استر المختلفة بعد التصلب ولهذا السبب تم إجراء المسح الإلكتروني لسطوح كسر عينات اختبار الشد.

يظهر الشكل (7) المسح الإلكتروني لعينة البولي استر غير المشبع النقي بدون مطاط ، وكما هو واضح وجود تجانس بالبنية.

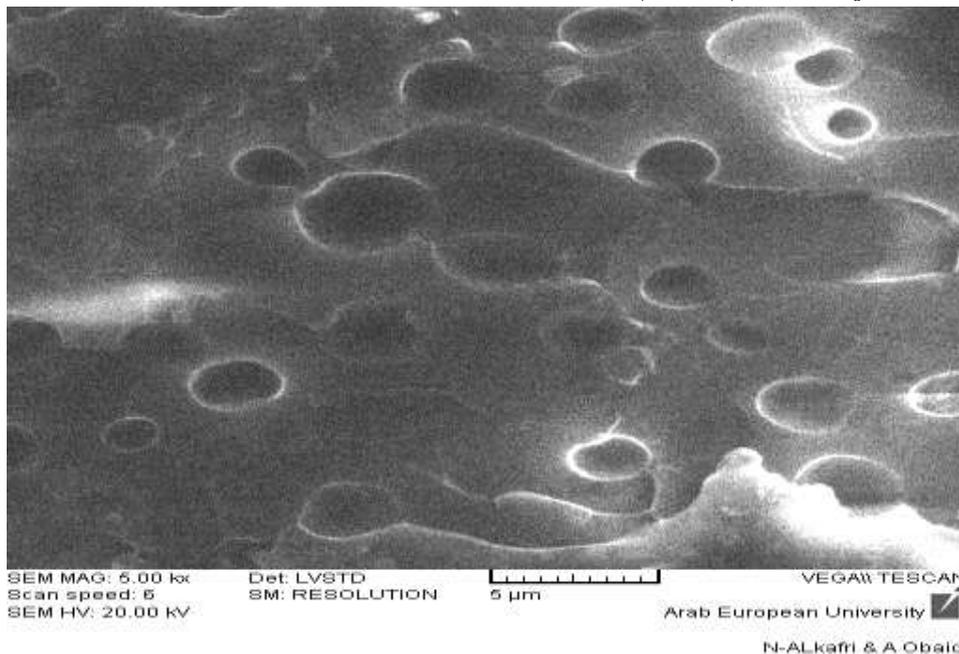


الشكل (7) سطح الكسر الناجم عن اختبار الشد لعينة من ريزين البولي استر غير المشبع

يظهر الشكل (8) أن إضافة 2% من المطاط النتريلي بالحالة السائلة إلى ريزين البولي استر غير المشبع UPR يؤدي إلى حدوث تغير واضح بالبنية حيث نلاحظ أن المادة المضافة تتوزع بالبنية بشكل غير متجانس على شكل أطوار مستقلة في بعض المناطق مع وجود انتشار وتوزع جيد جزئي لمادة المطاط على كامل كتلة مادة الريزين.



الشكل (8) سطح الكسر الناتج عن اختبار الشد لعينة من ريزين البولي استر غير المشبع + 2% مطاط نتريلي لتوضيح تأثير زيادة نسبة المطاط المضاف على بنية الريزين UPR أجري المسح الإلكتروني لسطح الكسر عند نسب 10% للمطاط النتريلي المضاف ( الشكل9).



الشكل (9) سطح الكسر الناتج عن اختبار الشد لعينة من ريزين البولي استر غير المشبع + 10% مطاط نتريلي

يبدو من الشكل (9) أن قابلية التوزع والانتشار وتشتت مادة المطاط المضافة عند استخدامها بنسبة 10% ضعيفة نوعاً ما، حيث يظهر بوضوح ميل المطاط السائل المضاف عند هذه النسبة إلى التكتل على شكل أطوار مستقلة ضمن مادة الأساس.

يساهم المطاط النتريلي المضاف بالتأثير على الخواص الميكانيكية مهما اختلفت نسبته، وتساهم قابلية الانتشار والتوزع لهذه المادة ضمن كتلة مادة الأساس في تحديد مدى تأثيرها. وبشكل عام يمكن القول أنه لا توجد روابط كيميائية بينها وبين مادة الأساس، لأنها تساهم في تخفيض الخواص الميكانيكية المميزة بسبب التأثير على قوى الارتباط بين الجزيئات. بناءً على ذلك فإن نتائج الصور الميكروسكوبية تؤكد الآتي :

1- إن تأثير إضافة المطاط النتريلي واضح ويعود السبب إلى الاختلاف بقابلية الانتشار والتوزع بين الجزيئات، وهذا ما تؤكدته منحنيات الشكل (3) التي تظهر تدني قيم إجهاد الشد عند الانهيار عند زيادة نسبة المطاط النتريلي المضاف.

2- تظهر الصور الميكروسكوبية قابلية التوزع والانتشار المختلفة للمطاط النتريلي ضمن كتلة الأساس بحسب اختلاف نسبة الإضافة، وهذا ما تؤكدته نتائج منحنى الشكل (6) التي تظهر إمكانية تقسيم المنحنى إلى قسمين الأول (حتى نسبة 7% تقريباً) تكون فيه تغير قيم الاستطالة النسبية بزيادة نسبة المطاط النتريلي غير خطي، في حين القسم الثاني (من نسبة مطاط 7% ولغاية 15%) نلاحظ فيه استمرار التحسن في قيم الاستطالة النسبية مع زيادة نسبة المطاط النتريلي المضاف ولكن بشكل تقريباً خطي مع ملاحظة حدوث استقرار نسبي باستمرار زيادة نسبة المطاط وذلك بسبب صعوبة التوزع والانتشار في مادة الأساس.

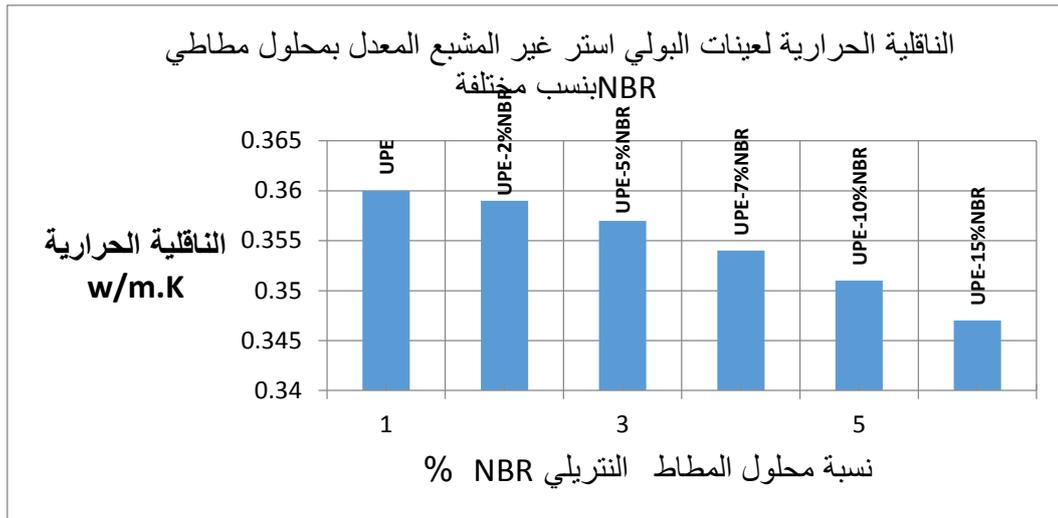
3- أظهرت نتائج المسح الإلكتروني عند استخدام نسبة منخفضة (2% مطاط نتريلي) أن قابلية الانتشار والتوزع لهذه النسبة جيدة، إلا أن نسبة الزيادة الحاصلة بالاستطالة النسبية قليل بالمقارنة مع الزيادة الحاصلة عند النسب العالية.

تدل نتائج المسح الإلكتروني أيضاً أنه من الضروري التعامل مع نسب منخفضة من المطاط NBR للحصول على خصائص جيدة للمنتج النهائي لأن ذلك يحسن من قابلية الانتشار والتوزع لمادة المطاط السائل ويؤكد صحة هذه النتيجة القيم الجيدة لبارامترات اختبار الشد عند التعامل مع النسب المنخفضة. إن هذه النتيجة تؤكد أيضاً الدور الملدن الذي تلعبه مادة المطاط النتريلي حيث تظهر نتائج الشكل (6) استمرار زيادة قيم الاستطالة النسبية عند الانقطاع المترافق مع انخفاض القيم المميزة الأخرى لاختبار الشد باستمرار زيادة نسب مطاط NBR المضافة.

##### 5- نتائج قياس الناقلية الحرارية والسعة الحرارية :

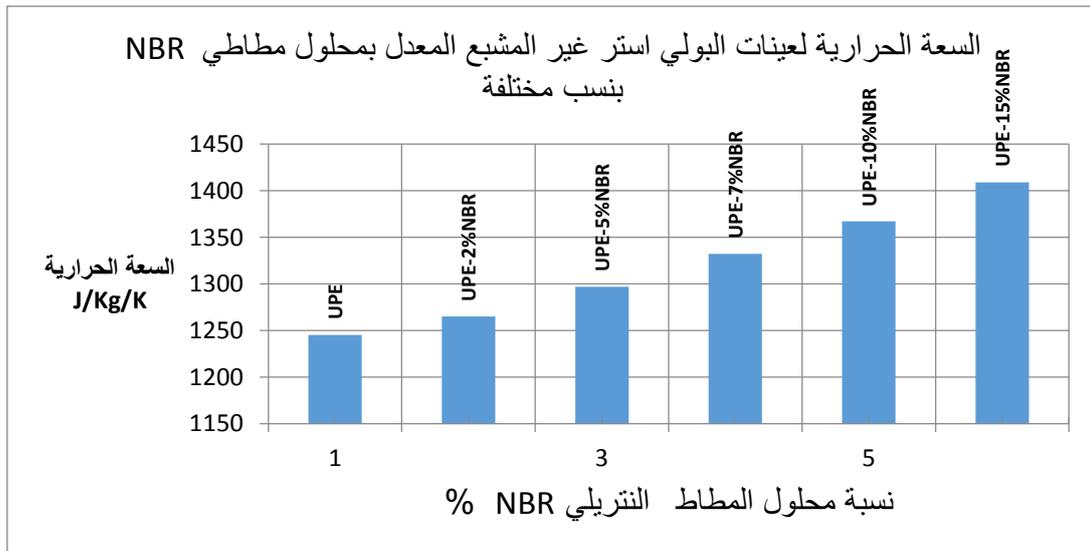
تم قياس الناقلية والسعة الحرارية لعينات البولي استر غير المشبع المعدل بمحلول مطاطي NBR بنسب مختلفة (0,2,5,7,10,15%).

يبين الشكل (10) تغير قيم الناقلية الحرارية لجميع العينات، وواضح بأن الريزين UPR الصاف يملك القيمة الأكبر للناقلية الحرارية، وهذه القيمة تنقص مع زيادة نسبة المطاط ويعزى ذلك إلى كون المادة المطاطية أقل ناقلية من الريزين.



الشكل (10) منحنيات الناقلية الحرارية لعينات البولي استر غير المشبع المعدل بنسب مختلفة من المطاط النتريلي NBR

كما يبين الشكل (11) قيم السعة الحرارية لجميع العينات ، حيث يتبين بأن الريزين UPR الصاف يملك القيمة الأصغر للسعة الحرارية، وهذه القيمة تزداد مع زيادة نسبة المطاط، وهذا مرده إلى كون المادة المطاطية ذات سعة حرارية أكبر من الريزين، وبالتالي يمكن القول أنه كلما ازدادت نسبة المطاط المضاف أصبح المزيج الناتج ذو عازلية حرارية أفضل.



الشكل (11) منحنيات السعة الحرارية لعينات البولي استر غير المشبع المعدل بنسب مختلفة من المطاط النتريلي NBR

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

1- يلعب المطاط النتريلي دور المادة الملدنة عند إضافته للبولي استر غير المشبع حيث تساهم إضافته في زيادة الاستطالة النسبية عند الانقطاع.

- 2- يسبب زيادة نسبة المطاط المضافة المستخدمة بالبحث في تقليل الخواص الفيزيائية والميكانيكية المدروسة (الكثافة، القساوة، مقاومة الشد العظمى، معامل يونغ)، كما تؤدي إلى انخفاض الناقلية الحرارية وزيادة السعة الحرارية.
- 3- إن عدم الألفة بين مواد المطاط المضافة والبولي استر غير المشبع يدل على أن الارتباط الحاصل بينها فيزيائي وليس كيميائي وهذا ما تفسره نتائج التجارب التي أجريت (عدم حصول زيادة في مقاومة الشد وإنما اقتصرت الزيادة في الاستطالة بإضافة السائل المطاطي).
- 4- تظهر نتائج المسح الإلكتروني صعوبة توزيع مواد الإضافة المطاطية المستخدمة بزيادة نسبتها ضمن مادة الأساس حيث نلاحظ التشكل الواضح للأطوار بزيادة نسبتها ( في بحثنا الفرق بين الصورتين عند نسبة مطاط 2% & 10% ).
- 5- بالاستناد إلى تأثير إضافة المطاط إلى الريزين UPR على الخواص الحرارية المدروسة ( ناقلية حرارية وسعة حرارية )، يمكن اعتبار أنه كلما ازدادت نسبة المطاط المضاف يخزن المزيج حرارة بشكل أكبر (سعة حرارية أكبر) وينقل الحرارة أيضاً بشكل أقل ( ناقلية حرارية أقل)، وهذا مرده إلى أن المطاط الصاف يسلك سلوك الخزان الحراري مقارنة بأنواع الريزينات المتصلبة، ومن هنا اكتسبت أنواع المطاط المختلفة ميزة الاستخدام كعوازل حرارية ( ناقلية حرارية منخفضة مع سعة حرارية كبيرة نسبياً مقارنة بأنواع الريزينات المتصلبة حرارياً).

#### التوصيات:

- 1- ضرورة العمل على إضافة مطاط سائل NBR بنسب لا تتجاوز 2 % حيث تدل نتائج الاختبارات أنه المجال الفعال.
- 2- يستحسن أن يتابع العمل في مجال تعديل الريزين UPR بأنواع أخرى من المطاط وينسب مختلفة ومقارنة النتائج لمعرفة أفضل الأنواع من المطاط المتاحة للاستخدام مع تحديد نسبة المزج المناسبة حسب التطبيق.

#### References:

- [1] Debdatta Ratna, " Handbook of Thermoset Resins" A Smithers Group Company, First Published in 2009.
- [2] Entihaa G. Daway , DIPA RAY, " Modification of the dynamic damping behavior of unsaturated polyester resin" Journal of REINFORCED PLASTICS AND COMPOSITES, Vol. 27, No. 14(2008).
- [3] DIPA RAY, " Study Tensile Strength and Wear Rate for Unsaturated Polyester Resin and Nitrile butadiene Rubber Polymer Blend " Al-Khwarizmi Engineering Journal, Vol. 11, No. 2, P.P. 45- 50 (2015).
- [4] Robert O. Ebewele , " Polymer Science and Technology" Copyright by CRC Press LLC, (2000).
- [5] BHUVANESWARY M. G., "Modification of Natural Rubber using Thermoset Resins " DEPARTMENT OF POLYMER SCIENCE AND RUBBER TECHNOLOGY, COCHIN UNIVERSITY OF SCIENCE AND ECHNOLOGY KOCHI • 682 022, INDIA. FEBRUARY 2010.
- [6]Salam Obaid Abdulghani, and others, The effect of type and ratios of secondary materials on some mechanical properties of the ternary polymer blends based on the unsaturated polyester, materialstudy proceedings, vol.4,608, 2021.
- [7] Chandresh M.P., Ani Dechamm C. D., Bhavana M., and others, Toughening of unsaturated polyester resin by solid elastomers and liquid rubbers : A review. International Research Journal of Engineering and Technology, INDIA, Vol.08,2021.

- [8] Hairul Abral, Rahmat Fajrul, and others, Improving impact, tensile and thermal properties of thermoset unsaturated polyester via mixing with thermoset vinyl ester and methyl methacrylate, *Polymer Testing*, Vol.81, 2020.
- [9] DIPA RAY, " Modification of the Dynamic Damping Behavior of Unsaturated Polyester Resin". *Journal of REINFORCED PLASTICS AND COMPOSITES*, 2008, Vol. 27, No. 14.
- [10] Entihaa G. Daway, " Study Tensile Strength and Wear Rate for Unsaturated Polyester Resin and Nitrile butadiene Rubber Polymer Blend". *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, Vol. 11, No. 2, (2015), 45- 50.
- [11] Cherian, A.B.; Thachil, E.T., "Elastomer toughening of Isophthalic polyester resin". *Polymer Plastic Technology and Engineering*, Vol.44, Issue 3, 2009, 391-405.
- [12] Mousa, B. H., " Study property diffusivity and thermal conductivity of mixture of UPR/NBR is supported ceramic powder". *Progress in Materials Science*, Vol.44, Issue3, 2009, 391-405.
- [13] Hisham, S.F.; Ahmad, I.; Daik, R. & Ramli, A., " Blends of LNR with UPR from recycled PET : comparison of mechanical properties and morphological analysis with the optimum blend by commercial resin " *Sains Malaysiana*, Vol.40, No.7, 2011, 729-735.
- [14] B.G. Soares, M.S.M. Almeida, C. Ranganathaiah, M.V. Deepa Urs, Siddaramaiah, " *Polymer Testing* ", Vol.26, PP. (88–94), (2007).
- [15] Robert A. Shanks, Ing Kong, " *General Purpose Elastomers: Structure, Chemistry, Physics and Performance*", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (2013).