مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد 39– العدد 2 (2023) 254-270

Damascus university Journal for engineering sciences
Vol 39 No.2 (2023):254-270

دراسة تأثير المطاط الطبيعي على الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمركبات البولي استر غير المشبع UPR المسلحة بألياف صناعية

م. ياسر يوسف قره فلاح[1] د. هادي عبد الكريم معلا[2] د. رامي حنا منصور[3]

1 طالب دكتوراه في قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين.
2مدرس في قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين.
3استاذ في قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين.

الملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير المطاط الطبيعي على الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمركبات البولي استر غير المشبع UPR المسلحة بألياف صناعية (زجاجية، بازلتية، كيفلر).

أظهرت نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية أن إضافة المطاط يسبب انخفاض بكثافة UPR مع بقاء كثافة المركبات المسلحة بـ (24 طبقة ألياف) ثابتة تقريباً، كما أظهرت أيضاً انخفاض كل من القساوة ومقاومة الشد بزيادة نسبة المطاط الطبيعي في حين ازدادت بشكل واضح الاستطالة الأعظمية عند كافة المركبات.

الكلمات مفتاحية: مواد مركبة، ألياف صناعية، ريزين البولي استر غير المشبع، مزيج، محلول مطاط طبيعي NRL ، ألياف زجاجية غراماج g/m^2 300، ألياف بازلتية غراماج g/m^2 220، ألياف كيفلر غراماج g/m^2 200، خواص فيزيائية، كثافة، قساوة، خواص ميكانيكية، مقاومة الشد، انفعال أعظمي، معامل يونغ.

تاريخ الإيداع:2021/9/30

تاريخ القبول:2022/5/18

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

Study of natural rubber influence on the physical and mechanical properties of the unsaturated polyester resin UPR's compounds, reinforcement by Synthetic fibers

Yasser Youssef kara fallah[1]
Dr. Hadi Abed AL Kareem Moualla[2]
Dr. Rami Hanna Mansour[3]

[1]PHD student; Mechanical and Electrical Faculty - Design and Production Engineering Department – Tishreen University .
[2]Lecture in Design and Production Department – Mechanical and Electrical Faculty– Tishreen University .
[3]Professor in Design and Production Engineering Department – Mechanical and Electrical Faculty – Tishreen University .

Received: 30/9/2021
Accepted: 18/5/2022

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract

The aim of this paper is study of natural rubber influence on the physical, and mechanical properties of the unsaturated polyester resin UPR's compounds, reinforcement by Synthetic fibers (Glass, Basalt, Kevlar).

Results of physical and mechanical tests are shown that where natural rubber is added, density of UPR is decreased with density of reinforcement combustions by (24 Layers) are remained almost constant, it also showed a decrease in both the hardness and tensile strength with an increase in the proportion of natural rubber, while the maximum elongation increased significantly for all compounds.

Key words: Composite Materials, Synthetic Fibers, Unsaturated Polyester Resin Upr, Nature Rubber Solution Nrl, Glass Fibers, Basalt Fibers, Kevlar Fibers, Physical Properties, Density, Hardness, Mechanical Properties, Tensile Resistance, Max. Strain, Young's Modulus.

1- المقدمة

تتكون المادة المركبة من مادة أو أكثر غير مستمرة موزعة ضمن مادة أخرى مستمرة، حيث تكون المادة غير المستمرة أقوى وأكثر متانة من المادة المستمرة، لذا يطلق عليها اسم مادة التقوية لأنها تكون مسؤولة عن الخصائص الميكانيكية للمادة المركبة، وأما المادة المستمرة فتعرف بالمادة الرابطة Matrix أو مادة الأساس وهي الحاضنة لمادة التقوية المسؤولة عن تماسك المادة المركبة وحمايتها من العوامل الخارجية.

تتكون المواد المركبة FRP (Fiber Reinforced Plastic) غالباً من ألياف صناعية (مثل الزجاج أو الكربون أو الكيفلر) أو ألياف طبيعية (ألياف: القنب، الخيزران، الكتان، الجوت، الموز .....) ، وموضوعة ضمن مواد رابطة بوليميرية إما متصلبة حرارياً كراتنجات البولي استر، الايبوكسي والفينيل استر، أو مواد رابطة بوليميرية لدنة حرارياً مثل البولي أميد.....الخ.

لتقدير دور واستخدام المواد المركبة لابد من فهم خصائص مكونات المواد ذاتها والتي من خلالها تتم المعالجة. فعندما يتم إضافة الألياف المدعمة إلى المادة الرابطة فسنحصل على خصائص استثنائية لأنه عند تعرض المادة المركبة لحمل ما تقوم المادة الرابطة بتوزيع الحمل المطبق على كل الألياف، كما تقوم بحماية هذه الألياف من التلف الناتج عن الاحتكاك والصدم.(Hancox, N.L., 1981,p22)

2- الدراسة المرجعية

هناك العديد من الدراسات المرجعية التي اهتمت بتحديد خواص مركبات البولي استر غير المشبع UPR المسلحة بألياف صناعية أو طبيعية مختلفة – والتهجين بينهما وتحديد بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية.

أجرى الباحث Nadzri وزملائه في العام 2020 مراجعة للخواص الميكانيكية للمواد المركبة الهجينة بأساس ألياف زجاجية/ألياف كتان وسلوكها تحت تأثير الصدم منخفض السرعة، وبينت النتائج بأن المادة المركبة بأساس هجين(ألياف زجاجية/ كتان) ومادة رابطة ريزين UPR وبمحتوى ألياف 40% تتمتع بقوة شد عالية 85MPa وتتحسن أكثر إذا ما تم معالجة ألياف القنب، وهي تتحمل طاقة صدم منخفض السرعة تصل إلى 12J.

(Nadzri, 2020, 1285)

في دراسة بعنوان تصنيع وتوصيف المواد المركبة بأساس الألياف الزجاجية من النوع E وريزين بولي استر غير المشبع للباحثين

Md. Naimul Islam, Harun-Ar-Rashid

وزملاء لهم في العام 2019، حيث تم استخدام مواد مركبة بأساس حصيرة ألياف زجاجية مع الريزين UPR بالتشريب اليدوي وبنسبة ألياف متغيرة من 5% ولغاية 50%، ودلت النتائج إلى زيادة مقاومة الشد، معامل المرونة، مقاومة الانحناء مع ازدياد نسبة الألياف، أما الاستطالة العظمى فقد انخفضت عند ازدياد محتوى الألياف. أيضاً تبين من خلال الفحص المجهري بتقانة SEM أن الروابط بين الألياف والريزين ممتازة.

(Md. Naimul Islam, 2019, 1-7)

قام الباحث Elsayed A Elbadry وزملاءه في العام 2018 بدراسة تأثير نوعية الألياف الزجاجية على الخواص الميكانيكية للمواد المركبة بأساس الألياف الزجاجية وريزين البولي استر غير المشبع، حيث تمت مقارنة خواص الشد والانحناء والصدم بين بنى مختلفة من المواد المركبة بأساس ألياف زجاجية مع الريزين UPR حيث تتألف العينات المشكلة من خمس طبقات ألياف الزجاجية إما منسوجة بشكل بسيط، أو ألياف زجاجية قصيرة أو على شكل حصيرة. دلت النتائج إلى أن خصائص الشد

والانحناء والصدم لجميع عينات المواد المركبة أعلى بكثير من مثيلاتها للريزين لوحده، أيضاً تبين بأن القيم الأعلى خواص الشد للمواد المركبة كانت باستخدام الألياف المنسوجة تليها المستخدمة للألياف الحصيرة وأخيراً المستخدم فيها الألياف القصيرة، أما قيم خواص الانحناء فكانت للمادة المركبة المستخدمة للألياف القصيرة ثم للمنسوجة وأخيراً للحصيرة، أما خواص الصدم فكانت القيم الأعلى من نصيب المادة المركبة المستخدمة للألياف الحصيرة ثم الألياف المنسوجة وأخيراً المستخدمة للألياف القصيرة. (Elsayed A Elbadry, 2018, 1064)

كما قام الباحث Andreas Klingler وزملاءه في العام 2017 بتشكيل مادة مركبة بأساس ألياف زجاجية من النوع حصيرة mat مع ريزين UPR المعدل بجزيئات من المطاط المكرر، وركزت الدراسة على تأثير تعديل الريزين على قابلية المعالجة وعلى بعض الخواص الميكانيكية ومنها مقاومة الصدم للمادة المركبة المشكلة. أظهرت النتائج تحسن الصلابة بحوالي 20% عند استخدام الريزين UPR المعدل بنسبة 2% قشور مطاط في المادة المركبة، كذلك أبدت المادة المركبة تحسن واضح في مقاومة الصدم مع زيادة قوة التصاق المادة الرابطة الجديدة مع الألياف.

(Andreas Klingler, 2017, 74-81)

في دراسة بعنوان الخواص الميكانيكية للمواد المركبة بأساس تهجين الألياف البازلتية والزجاجية مع ريزين البولي استر غير المشبع للباحث Manekandan وزميله في عام 2014 ، أبدت العينات خواص ميكانيكية جيدة تختلف حسب طريقة التهجين.(Manikandan V. et al., 2014, 1-6)

حيث امتازت طريقة التهجين (4B/8G) بأفضل مقاومة للصدم، بينما أفضل مقاومة للشد فظهرت للعينات (8B/4G)، أما مقاومة الانحناء فكانت للعينات بأساس ألياف بازلتية نقية.

وفي دراسة أخرى عن الخواص الحرارية والميكانيكية للمواد المركبة بأساس ألياف الخيزران الطبيعية مع ريزين البولي استر غير المشبع والملدن بمادة بوتيل ميتا أكريلات BMA، للباحث Tianshun وزملائه في العام 2015، حيث تم تحضير المادة المركبة بطريقة التشريب اليدوي والضغط ، وأشارت النتائج إلى تحسن الاستطالة الأعظمية على الشد، والانفعال الأعظمي عند الانحناء، ومقاومة الصدم أيضاً عند تلدين الريزين بالمادة BMA بنسب مختلفة (10,20,40,70 %W)، مقارنة مع المادة المركبة مع عدم تلدين الريزين، كما تظهر المقالة انخفاض بسيط بالثباتية الحرارية عند تلدين الريزين بالمادة المذكورة. (Tianshun Xie et al., 2015, 2744)

قام الباحث Hamid,A.M وزملائه بتطوير مادة مركبة على مرحلتين الأولى بإضافة مواد مطاطية مختلفة (BR,SBR,NBR) مع ريزين الإيبوكسي وريزين البولي استر غير المشبع UPR ، أما المرحلة الثانية فهي تشكيل مواد مركبة بأساس مزيج الريزينات مع المطاط المحضر و30% ألياف من نوعين (ألياف زجاجية لوحدها– ألياف زجاجية E-glass مهجنة مع الكيفلر49، وبنسب مختلفة من كل نوع من المطاط (5,10,15,….50%W) مع كل من ريزين الإيبوكسي وريزين البولي استر غير المشبع. (Dr. Hamid,A.M. et al., 2009, 12)

تم إجراء اختبارات الصدم للعينات المحضرة، وأظهرت النتائج بأنه عندما تزداد نسب المطاط فوق 20% يحصل انفصال طور واضح وكبير بين جزيئات المطاط والريزين EP وبالتالي يؤدي ذلك إلى انخفاض مقاومة الصدم للمزيج، وحصل نفس الظاهرة بين المطاط BR مع مزيج (EP/BR) ولكن عند النسبة 30%.

أما بالنسبة لمزج الإيبوكسي مع المطاط SBR وبأي نسبة فأنه يحصل انفصال في الطور بينهما وبالتالي لا يتشكل أي رابطة فيزيائية بينهما، وذلك بسبب القطبية المرتفعة جداً للإيبوكسي مقابل القيمة المنخفضة لقطبية المطاط SBR.

في حال استخدام الريزين UPR مع المطاط تزداد مقاومة الصدم إلى 31.4 KJ/m2 عندما تكون نسبة المطاط BR= 10%Wt وهي أعلى قيمة مقارنة مع الأنواع الأخرى من المطاط، ويعود ذلك إلى تلدن الريزين والتخفيف من قصافته، ولأن حبيبات المطاط غالباً ما تكون كروية مع شوائب كروية للطور القصف، فعند تراكيز أكبر من القيمة القصوى المتعلقة بالطور المطاطي تميل الحبيبات المتبعثرة للتراكم أو لتشكيل حبيبات متطاولة بدلاً من الكروية التي تقلل من مقاومة الصدم.

قام الباحثون في هذه الدراسة بتقوية خلائط النسب المثلى بطريقتين، الأولى استخدم ألياف E-glass بنسبة 30%Wt، بينما كانت الطريقة الثانية باستخدام مزيج من ألياف E-glass مع ألياف الكيفلر 49 عند الحجم نفسه ومن ثم دراسة تأثير الألياف على المقاومة.

حصل زيادة في مقاومة الصدم نتيجة وجود تلك المواد لأن الألياف تعمل على توزيع الإجهادات على حجم أكبر بدلاً من تركز تلك الإجهادات، وحيث كانت مقاومة الصدم للألياف E-glass مع ألياف الكيفلر 49 أعلى من قيمتها للمادة المركبة مع ألياف E-glass لوحدها، وذلك بسبب أن ألياف الكيفلر تتمتع بقساوة أعلى وتعمل بمثابة دروع واقية، كما أن مقاومة الصدم لألياف الكيفلر بحدود ضعف قيمتها للألياف الزجاجية.

تملك الألياف الصناعية ذات الأداء العالي (زجاجية، بازلتية، كيفلر) خصائصاً فريدة تميزها عن الألياف الأخرى المستخدمة في التطبيقات الصناعية، حيث أن مقاومة الشد ومعامل المرونة لهذه الألياف تكون أعلى بكثير بينما تكون الاستطالة أقل، وتكسب هذه الخصائص المميزة من البوليمير المستخدم في صناعتها. (Website: Yang, J. M., 1986, 2-4)

3-أهمية البحث وأهدافه :

إن الريزين UPR ذو طبيعة قصفة (حيث يتمتع باستطالة نسبية عند الانقطاع حوالي 3%-2.) تكمن أهمية هذا البحث في استثمار هذا النوع من الريزينات القصفة بعد تعديلها بالمطاط الطبيعي في تشكيل مواد مركبة بأساس الريزين UPR المعدل بالمطاط الطبيعي والمسلحة بألياف صناعية ودراسة مدى تغير خواصها الفيزيائية والميكانيكية.

بناءً على ذلك يهدف هذا البحث إلى إيجاد بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية لمواد مركبة مصنعة من ألياف صناعية عالية الأداء (زجاجية، بازلتية، كيفلر) مشربة بريزين البولي استر غير المشبع UPR الحاوي على المطاط الطبيعي بنسب وزنية مختلفة (0,2,5,7,10,15%)، وإجراء مقارنة للنتائج بين بعضها البعض، وأيضاً الوقوف على التغييرات التي تطرأ على خواص الريزين UPR المعدل بالمطاط عند استخدامه كمادة رابطة للمادة المدروسة.

4- مواد البحث وطرائقه:

4-1- المواد الأولية

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

*- المسرع: نفتانات الكوبالت Cobalt Naphthenate – وهي مادة أساسية تعمل على تسريع تفاعل معالجة ريزين البولي استر غير المشبع

والسماح له بالتصلب التام في درجة حرارة جو المخبر بوجود المقسي، مشكلاً في النهاية المادة الصلبة المعالجة.

*- المقسي ميتيل إيتيل كيتون بيروكسيد ورمزه (MEKP): وهو سائل شفاف سيتم إضافته بنسبة 2 % إلى ريزين البولي أستر غير المشبع عند درجة حرارة الغرفة (وهي النسبة الأمثلية لتصلب جزيئات الريزين، وهذا ماتؤكده معظم المراجع العلمية).

*- محلول مطاط طبيعي مجهز في الورشة باستخدام مطاط طبيعي خام ومحل عضوي (تولوين) تم ترميزه بـ NRL الجدول (1).

الجدول (1) الخواص الفيزيائية للمحلول المطاطي المستخدم

الخاصية	محلول مطاط طبيعي NRL
الحالة الفيزيائية	سائل
لون المحلول	أصفر
الانحلالية	باستخدام محل عضوي (تولوين)

*-الألياف الصناعية Synthetic fibers

هي تلك الألياف التي يعتمد إنتاجها إلى حد كبير على استخدام مواد مبتكرة جديدة وتقنيات صناعية متطورة، حيث تتميز بكفاءتها في تعزيز الخواص، لذلك تضاف إلى المنتجات النهائية لإكسابها الخواص المطلوبة التي تجعل هذه المنتجات تقاوم ظروف الاستخدام المختلفة.

إن أهم الألياف عالية الأداء التي تستخدم في تشكيل المواد المركبة هي: ألياف الأراميد (Aramid)، وألياف الزجاج (S,E-glass)، ألياف البازلت (Basalt)، والألياف الكربونية.

(F.T. Wallenberger, 2001, 110)

تم استخدام الأنسجة الصناعية المذكورة في الجدول (2) مع مواصفاتها الأساسية:

الجدول (2) بعض مواصفات الأنسجة الصناعية المستخدمة

نوع النسيج	الغراماج (gr/m^2)	السماكة (mm)
نسيج زجاجي E EW300(Plain)	300 ±5	0.50±0.05
نسيج بازلتي BAS220 (Plain)	220 ±5	0.60±0.05
نسيج كيفلر Kevlar 29 (Plain)	200 ±5	0.55±0.05

- Plain طريقة نسج الخيوط
- الغراماج = وزن المتر المربع

4-2- تحضير العينات

4-2-1- تحضير خليط المادة الرابطة:

وهي عبارة عن ريزين البولي استر غير المشبع UPR المضاف له المطاط الطبيعي بنسب وزنية مختلفة (0,2,5,7,10,15%W)، حيث يتم التحضير كما يلي :

المرحلة الأولى: خلط ريزين البولي استر غير المشبع UPR مع المسرع بنسبة 0.5% بواسطة خلاط ميكانيكي بسرعة خلط تزداد بالتدريج حتى 1000 r.p.m، وزمن خلط إجمالي 2 min.

المرحلة الثانية: إضافة محلول المطاط الطبيعي NRL (بنسب مطاط مختلفة وزنياً 0,2,5,7,10,15%W) مع الخلط بسرعة تزداد بالتدريج حتى 1000 r.p.m وزمن خلط إجمالي10 min.

المرحلة الثالثة: وضع المقسي MEKP بنسبة 2% والخلط على عدة مراحل بسرعة حتى 1000 r.p.m (الزيادة بالتدريج) وزمن خلط إجمالي 3 min إلى أن يتجانس الخليط.

4-2-2- تحضير عينات المواد المركبة

تم تحضير عينات المواد المركبة بأساس ألياف صناعية بعدد طبقات 24 (كيفلر، زجاجية، بازلتية) وقد تم اختيار هذا العدد من الطبقات كعدد ثابت كونه يحقق الهدف الأساسي لبحثنا ألا وهو تصميم

مـواد مركبـة مقاومـة للصـدمات عاليـة السـرعة وفـق الخطوات التالية :

1. قـص طبقـات النسـيج وفـق الأبعـاد المناسبة .
2. دهن القالب بمادة مانعة للالتصاق.
3. تشـريب جميـع طبقـات الأليـاف بالمـادة الرابطة باستخدام فرشاة.
4. تنضـيد طبقـات النسـيج المشـربة فـوق بعضـها الـبعض ضـمن القالـب ثـم التشـكيل بـالمكبس الحـراري وفـق البارامترات التالية:

ضغط Ton 15-20 – حرارة قالب ^0C 120 – زمن 30 min.

5- إزالة الضغط وفتح القالب.

6- نزع القطعة المشكلة.

7- بغـرض تحقيـق التصـلب الكامـل تـم وضـع العينـات بعد تصلبها داخل فرن كهربـائي فـي درجـة حـرارة ^0C 60 مدة hr 3-2. تسمى هذه العملية بالمعالجة الحرارية السريعة (Post Curing)، وبعد إتمام هذه العملية تصبح العينات جاهزة للفحص والاستخدام.

4-3-طرق الاختبار والقياس

- قياس الكثافة Density test : الهدف من قياسها معرفة مدى تغير قيمها لمركبات البولي استر غير المشبع UPR المسلحة بألياف صناعية عند إضافة المطاط الطبيعي للريزين، لأنه يهمنا في البحث العام في الدراسات العليا مسألة انخفاض في وزن العينات المزمع تشكيلها، حيث تم قياسها وفق مبدأ الماء المزاح (دافعة أرخميدس).

القساوة Hardness test : الهدف من قياسها معرفة مدى تغير قيمها لمركبات البولي استر غير المشبع UPR المسلحة بألياف صناعية عند إضافة المطاط الطبيعي للريزين، لأنه يهمنا في البحث العام في الدراسات العليا معرفة حدود تغير قساوة المنتج، حيث تم قياسها بواسطة جهاز اختبار القساوة وفق المعيار ASTM حسب Shore D.

- خصـائص الشـد: تمـت اختبـارات الشـد للعينـات باسـتخدام آلـة شـد نـوع (iber test) عنـد سرعة الاختبار (5 mm/min) استناداً للمواصفة القياسية ASTM D638، حيث تم قص عينات الشد من الألواح المعالجة حرارياً وفق الشكل (1).

الشكل (1) عينات اختبار الشد

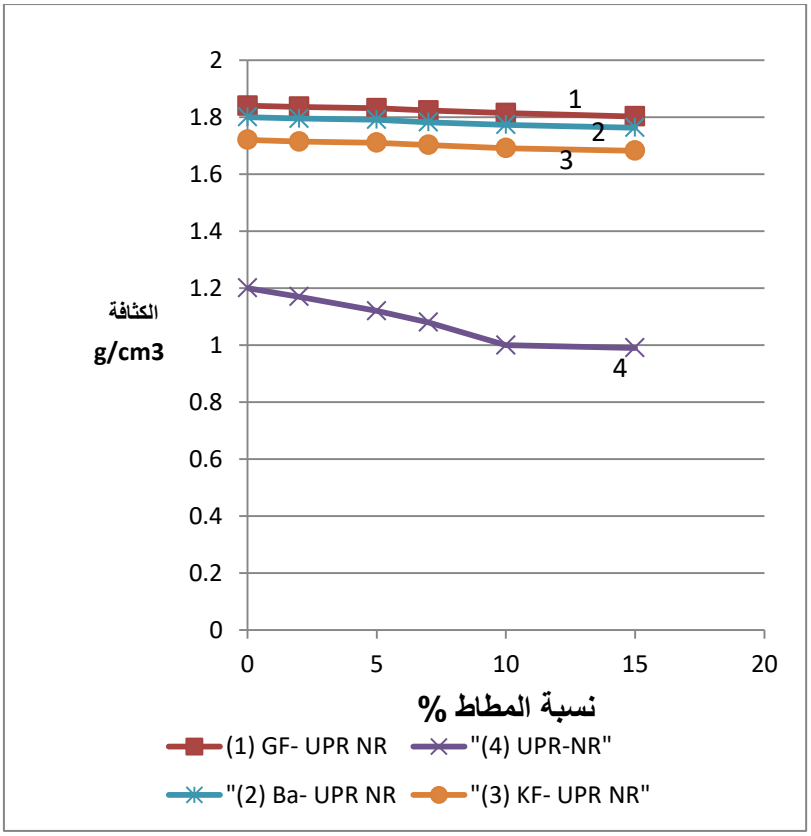
5- النتائج والمناقشة

5-1- الخواص الفيزيائية

5-1-1- نتائج قياس الكثافة

تعتبر كثافة المواد المركبة من المعايير الهامة في التطبيقـات الصـناعية لأنهـا تعكـس أوزان القطـع المنتجة من هذه المواد ، ولهذا السبب لابد من تسليط الضوء على هذا المتغير عند تصميم أية مادة مركبة أو عنـد اسـتخدام مـواد المالئـة. يبـين الشـكل (2) منحنيات تغير الكثافة لكل من البولي استر النقي والمركبات المسلحة بعدد طبقات ثابتة (24 طبقة) من أنواع مختلفة من الألياف (بازلتية – زجاجية – الكفلر) ، وكمـا هـو موضـح مـن الشـكل انخفـاض بكثافة UPR الصافي بزيادة نسبة المطاط المضاف حيث تبلغ الكثافة g/cm^3 0.99 عند النسبة 15% مطاط في حين يبدو تأثير المطاط المضاف ضعيفاً جداً على المواد المركبة المسلحة بالألياف السابقة الذكر، وربما يعود السبب في هذا إلى الكثافة العالية لهذه الألياف بالمقارنة مع كثافة UPR المضاف له المطاط السائل.

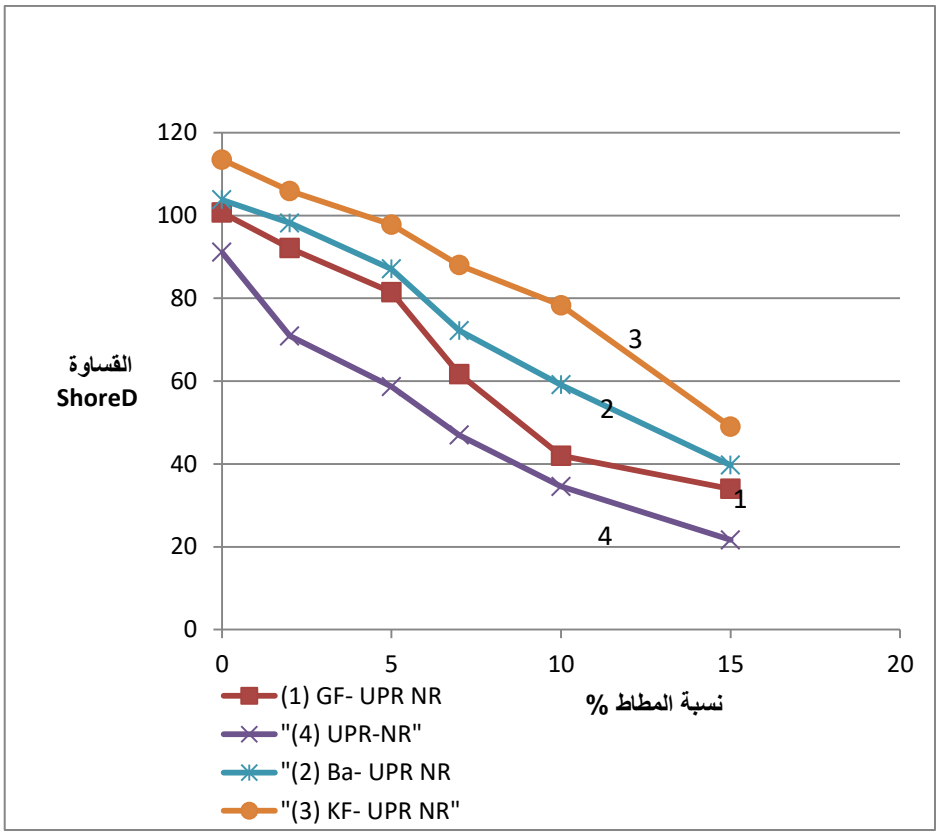
وبإجراء مقارنة بسيطة نجد بأن الكثافة تزداد بحوالي مرة ونصف لعينات المواد المركبة والسبب واضح وهو كون قيم كثافة ألياف التسليح أعلى من مثيلتها للمادة الرابطة.



الشكل (2) تغير كثافة المواد المركبة بأساس ألياف صناعية مختلفة –عدد طبقات 24– مع تغير نسبة المطاط في المادة الرابطة ومقارنته مع تغير كثافة المادة الرابطة لوحدها بدون تسليح بالألياف مع تغير نسبة المطاط الطبيعي

5–1–2– نتائج قياس القساوة

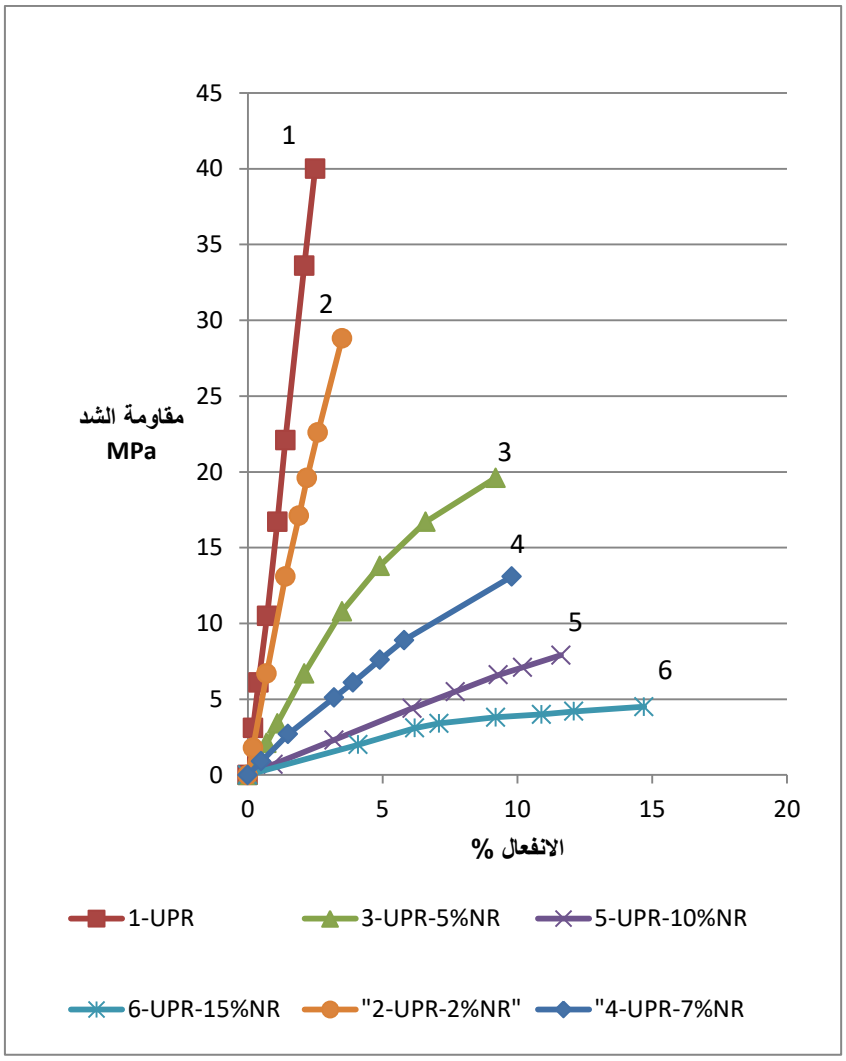
يوضح الشكل (3) منحنيات تغير قساوة البولي استر غير المشبع الصافي بدلالة نسبة المطاط ، وكذلك لمركبات UPR المسلحة بالطبقات. وكما هو واضح حدوث انخفاض بقيم القساوة بزيادة نسبة المطاط لكافة المركبات المبينة بالشكل، وأن أدنى قيم القساوة تعود لمادة UPR بدلالة نسبة المطاط. كما يتبين أن أفضل قيم القساوة يمكن الحصول عليها عند التسليح بالألياف على التوالي (الكيفلر – ألياف البازلت – الألياف الزجاجية) وربما يعود السبب إلى القيم العالية لكثافة الألياف المستخدمة بعملية التسليح.



الشكل (3) تغير قساوة المواد المركبة بأساس ألياف صناعية مختلفة –عدد طبقات 24– مع تغير نسبة المطاط في المادة الرابطة ومقارنته مع تغير قساوة المادة الرابطة لوحدها بدون تسليح بالألياف مع تغير نسبة المطاط الطبيعي

5-2- الخواص الميكانيكية

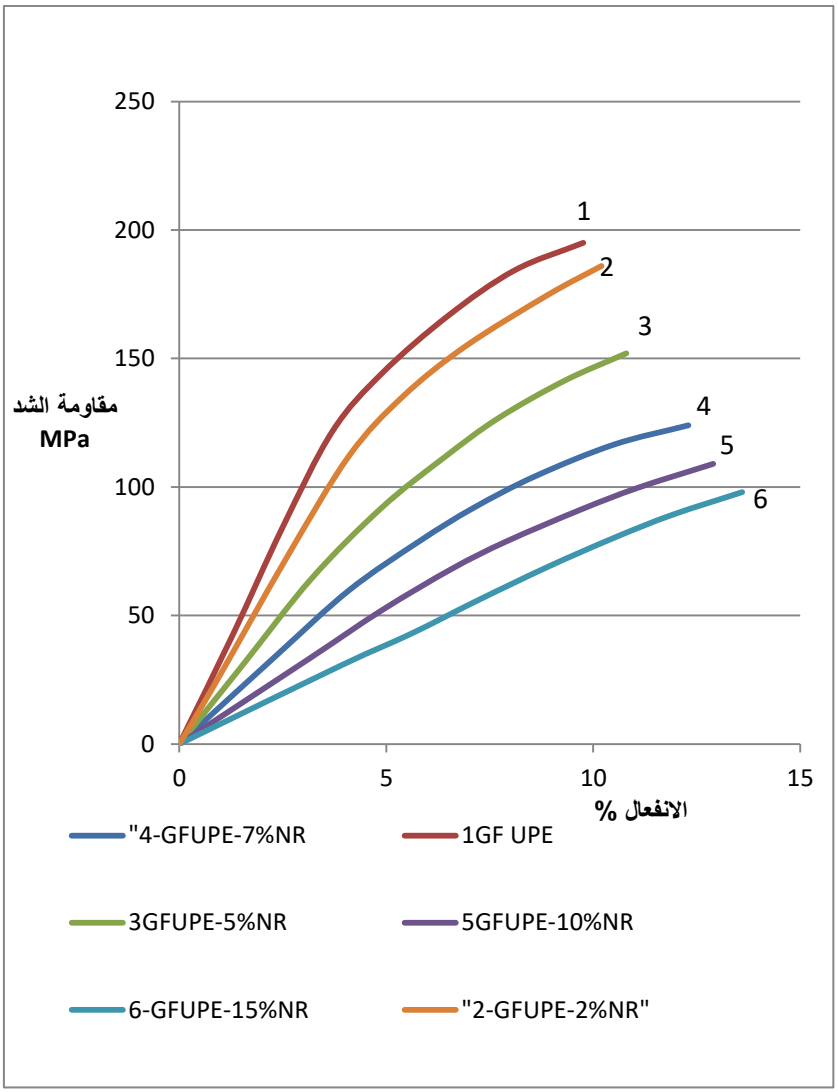
أظهرت النتائج التجريبية أن إضافة المطاط الطبيعي السائل إلى ريزين البولي استر غير المشبع UPR يؤدي إلى الحصول على مادة رابطة ببنية وخواص مختلفة عما هي للريزين الصافي، حيث يظهر الشكل (4) تغير منحنيات (الإجهاد–الانفعال) بدلالة نسبة المطاط الطبيعي السائل NR، وكما هو واضح من الشكل حدوث تزايد واضح بقيم الاستطالة النسبية، أما مقدار الانخفاض الحاصل بمقدار إجهاد الشد عند التحطم فيبلغ حوالي 16 مرة أصغر بالمقارنة مع القيم المسجلة لريزين البولي استر غير المشبع النقي وذلك عند إضافة 15% من المطاط الطبيعي السائل.



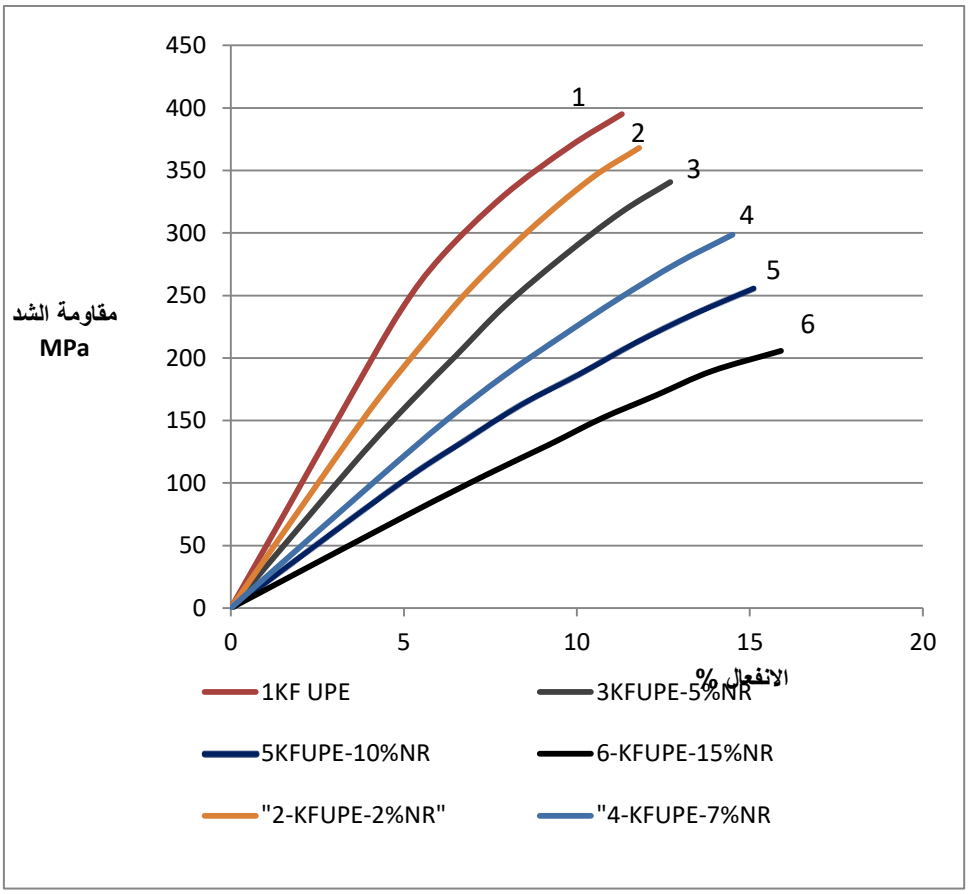
الشكل (4) منحني الإجهاد –الانفعال لعينات البولي استر غير المشبع –الملدن بمحلول المطاط الطبيعي NR بنسب مختلفة

يبين الشكل (4) بوضوح الدور التلديني الذي تلعبه مادة المطاط السائل في تعديل بنية UPR النقي حيث نلاحظ ازدياد قيم الاستطالة النسبية باستمرار زيادة مادة المطاط السائل، والتحول التدريجي لمادة البولي استر غير المشبعة القصفة إلى الحالة المطاطية.

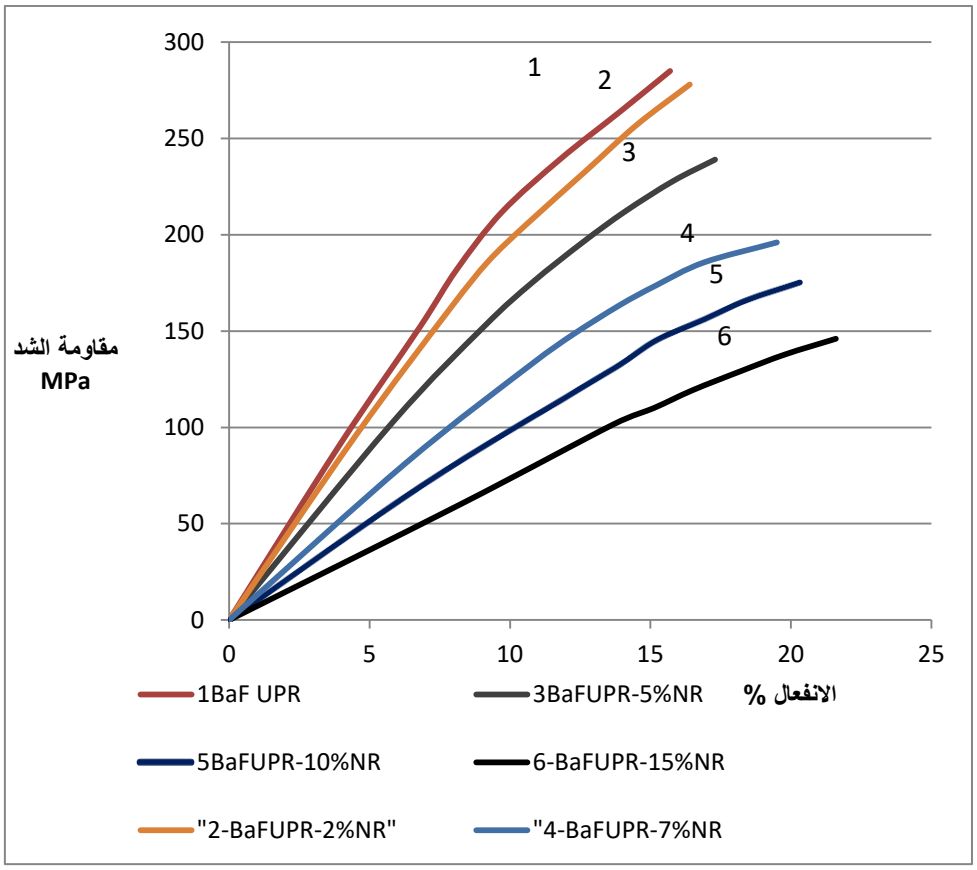
ينجم عن إضافة المطاط الطبيعي السائل إلى ريزين البولي استر غير المشبع UPR تغيير في خواص المواد المركبة المسلحة بألياف البازلت والكيفلر والألياف الزجاجية، حيث يلاحظ من الأشكال (5,6,7) حدوث تغيرات بالقيم المميزة الخاصة باختبار الشد للمادة المركبة بالمقارنة مع البولي استر النقي ، حيث يلاحظ أن قيم الانفعالات النسبية عند الانقطاع تزداد بشكل واضح ومتتالي مع زيادة نسبة المطاط الطبيعي السائل بشكل مشابه لتأثير المطاط عند إضافته للبولي استر غير المشبع، كما ونلاحظ حدوث انخفاض واضح ومتتالي بقيم إجهاد الشد عند الانقطاع مع زيادة نسبة المطاط.



الشكل (5) منحنيات الإجهاد –الانفعال لعينات شد من الألياف الزجاجية غراماج $300\ g/m^2$ –عدد طبقات 24– مع البولي استر غير المشبع الملدن بمحلول المطاط الطبيعي NR بنسب مختلفة



الشكل (6) منحنيات الإجهاد – الانفعال لعينات شد من الألياف الكيفلر غراماج $200\ g/m^2$ –عدد طبقات 24– مع البولي استر غير المشبع الملدن بمحلول المطاط الطبيعي NR بنسب مختلفة



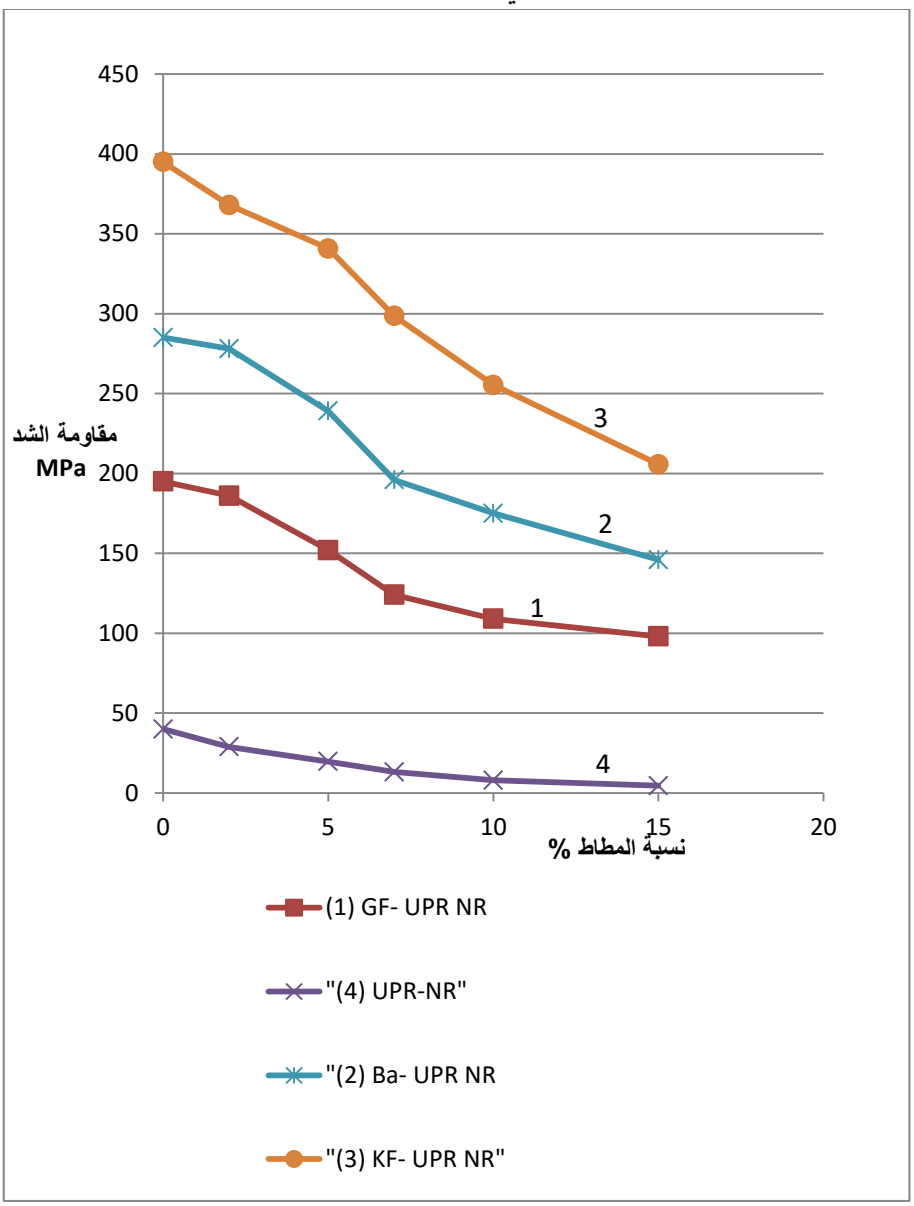
الشكل (7) منحنيات الإجهاد –الانفعال لعينات شد من الألياف البازلتية غراماج $220\ g/m^2$ –عدد طبقات 24– مع البولي استر غير المشبع الملدن بمحلول المطاط الطبيعي NR بنسب مختلفة

كي نتمكن من إجراء التقييم الدقيق لتأثير إضافة المطاط الطبيعي السائل إلى البولي استر غير المشبع وللمركبات المسلحة بالألياف الصناعية السابقة الذكر، وبهدف تبيان تأثير مادة التسليح فإن الشكل (8) يبين منحنيات تغير مقاومة الشد العظمى بدلالة نسبة المطاط السائل المضاف للبولي استر غير المشبع. وكما هو واضح من الشكل حدوث انخفاض واضح ومتتالي بقيم إجهاد الشد بزيادة نسبة المطاط .

يلاحظ أيضاً من الشكل (8) دور عملية التسليح في تحسين مقاومة الشد على الرغم من تشابه مسارات المنحنيات، والتي تبين انخفاض بقيم إجهاد الشد، والملاحظ من هذا الشكل أن أفضل قيم التسليح يتم الحصول عليها على التوالي للمركبات المسلحة بألياف الكيفلر ثم ألياف البازلت وأخيراً الألياف الزجاجية.

كما يتبين أن قيم مقاومة الشد للريزين UPR المعدل بالمطاط الطبيعي تنخفض من القيمة – 40 MPa (4.5)، بينما تنخفض بالنسبة للمادة المركبة من القيمة MPa (98 –195) إذا كانت بأساس ألياف زجاجية، ومن القيمة MPa (205.7 – 395) إذا كانت المادة المركبة بأساس ألياف كيفلر ، ومن القيمة MPa (146 – 285) إذا كانت المادة المركبة بأساس ألياف بازلتية ، وذلك في مجال تغير نسبة المطاط المضاف للريزين UPR من 0 – 15 %() أي بنسبة انخفاض إجمالية بحدود 50% تقريباً عند نسبة 15% للمطاط الطبيعي المضاف، لكن نلاحظ بأن نسبة الانخفاض عند نسبة المطاط الطبيعي المضاف للريزين UPR 5 % تكون بحدود 22% تقريباً إذا كانت المادة المركبة بأساس ألياف زجاجية ، بينما تكون بحدود 13.75 % إذا كانت

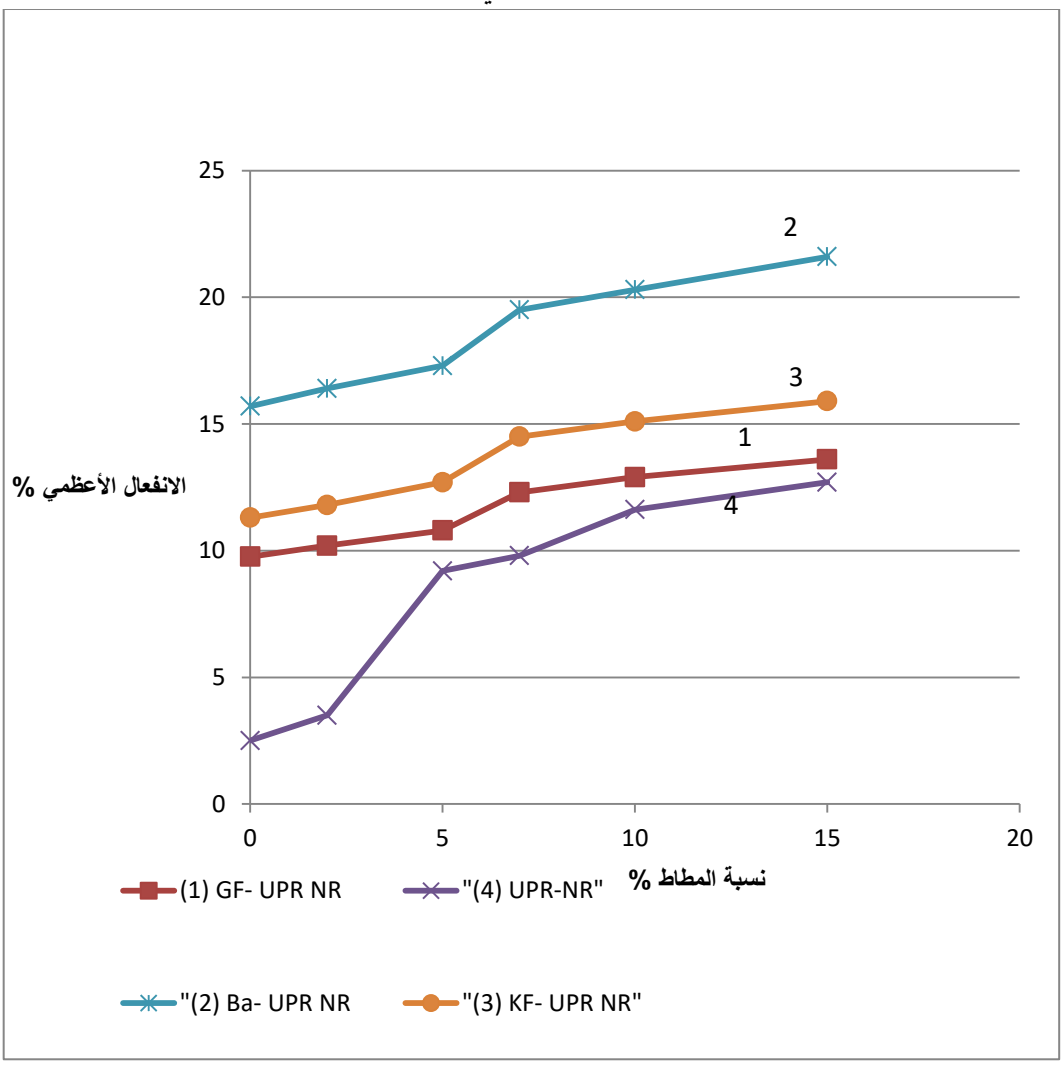
المـادة المركبـة بأسـاس أليـاف كيفلـر، وهـي بحـدود 16% إذا كانت المادة المركبة بأساس ألياف بازلتية.



الشكل (8) منحنيات تغير مقاومة الشد العظمى للريزين UPR الصافي وللمواد المركبة المسلحة بالألياف الصناعية –عدد طبقات 24– بدلالة كل من نسبة المطاط ونوع ألياف التسليح

يتبين من الشكل (9) بأن قيم الانفعال العظمى على الشد للريزين UPR المعدل بالمطاط الطبيعي تزداد من القيمة (2.5-12.7 %)، بينما قيم الانفعال الأعظمي على الشد تزداد بالنسبة للمادة المركبة من القيمة % (9.67 – 13.6) إذا كانت بأساس ألياف زجاجية، ومن القيمة % (11.3 – 15.9) إذا كانت المادة المركبة بأساس ألياف كيفلر، بينما تزداد من القيمة % (15.7 – 21.6) إذا كانت المادة المركبة بأساس ألياف بازلتية، وذلك في مجال تغير نسبة المطاط المضاف للريزين UPR من %(15–0) أي بنسبة زيادة إجمالية بحدود 41% تقريباً عند نسبة 15% للمطاط الطبيعي المضاف، لكن نلاحظ بأن نسبة الزيادة عند نسبة المطاط الطبيعي المضاف للريزين UPR تساوي % 5 تكون بحدود 11% تقريباً إذا كانت بأساس ألياف زجاجية، وتكون نسبة

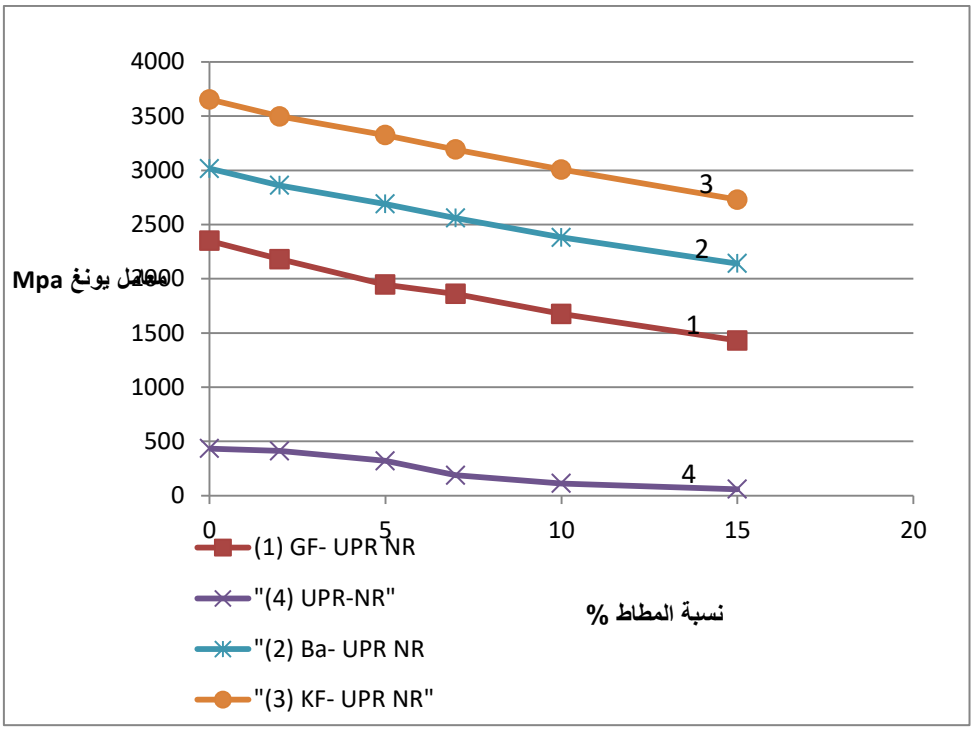
الزيادة بحدود 12% إذا كانت بأساس ألياف كيفلر، وهي بحدود 10% إذا كانت بأساس ألياف بازلتية.



الشكل (9) تغير الانفعال الأعظمي للمواد المركبة بأساس ألياف صناعية مختلفة –عدد طبقات 24– مع تغير نسبة المطاط في المادة الرابطة ومقارنته مع تغير الانفعال الأعظمي للمادة الرابطة لوحدها بدون تسليح بالألياف مع تغير نسبة المطاط الطبيعي

كما هو واضح أن زيادة نسبة المطاط الطبيعي السائل يسبب زيادة دائمة بقيم الانفعال الأعظمي على الشد، مع ميل نسبي للاستقرار لهذه القيم بعد النسبة 7%، وهذا بالواقع يحدد المجال الفعال الذي يجب التعامل ضمنه (0-7%).

أظهرت مقارنة تأثير الأنواع الثلاثة للألياف الصناعية وجود تأثيرات متباينة على قيم الاستطالة النسبية مما يدل على ضرورة رصد البارمترات الأخرى مثل معامل يونغ كما هو مبين بالشكل (10)، الذي يظهر حدوث انخفاض متتالي بقيم معامل يونغ بزيادة نسبة المطاط السائل لكافة المركبات المسلحة وغير المسلحة بالألياف.



الشكل (10) تغير معامل يونغ للمواد المركبة بأساس ألياف صناعية مختلفة –عدد طبقات 24– مع تغير نسبة المطاط في المادة الرابطة ومقارنته مع تغير معامل يونغ للمادة الرابطة لوحدها بدون تسليح بالألياف مع تغير نسبة المطاط الطبيعي

6–الاستنتاجات

1– إن إضافة المطاط الطبيعي للمادة الرابطة (ريزين البولي استر) يؤدي إلى انخفاض الكثافة، حتى لدى المواد المركبة ، لكن تزداد كثافة عينات المواد المركبة بحوالي مرة ونصف، وتزداد القساوة لنفس العينات بحوالي (1.1-1.25) أعلى من مثيلتها للريزين المعدل بالمطاط، والسبب واضح وهو ارتفاع قيم كثافة وقساوة ألياف التسليح عن مثيلتها للمادة الرابطة.

2– إن إضافة المطاط الطبيعي للمادة الرابطة (ريزين البولي استر) يؤدي إلى زيادة الاستطالة النسبية عند الانقطاع لجميع العينات، وتستمر الزيادة أكثر كلما زدنا نسبة المطاط الطبيعي المضاف وهذا يدل على الدور الملدن للمطاط المضاف عند إضافته بالنسب المذكورة.

3– يؤدي إضافة المطاط الطبيعي للمادة الرابطة(ريزين البولي استر) إلى انخفاض الخواص الميكانيكية المدروسة (مقاومة الشد العظمى، معامل يونغ) لجميع العينات المحضرة (ريزين معدل ومواد مركبة أياً كان نوع الألياف المستخدمة)، ويستمر الانخفاض أكثر كلما زدنا نسبة المطاط الطبيعي المضاف.

7– التوصيات

يجب اختيار نسبة المطاط الطبيعي المضاف إلى المادة الرابطة (ريزين البولي استر غير المشبعUPR) حسب الوظيفة النهائية المطلوبة من المادة المركبة وذلك بالنظر إلى مقاومة الشد مقابل اللدونة المطلوبتين، فمثلاً تدل نتائج الاختبارات أن إضافة المطاط الطبيعي بنسبة بين % (2-0.5) يؤدي إلى زيادة الانفعال الأعظمي على الشد مقابل انخفاض البسيط في مقاومة الشد وبالتالي يجب البحث عند النسب المنخفضة للمطاط عند المجال الفعال والمفيد وذلك حسب التطبيق العملي.

Reference

[1] Hancox, N.L., 1981, Fiber Composite/Hybrid Materials. New York: Macmillan Publishing Company.

[2]Nadzri,Z.,N., and others, 2020, A review on the kenaf/g;ass hybrid composites with limitations on mechanical and low velocity impact properties, Polymers (Basel), vol.12(6), 1285

[3]Md. Naimul Islam, Harun-Ar-Rashid , and others, 2019, fabrication and characterization of E-glass fiber reinforced unsaturated polyester resin based composite materials, Nano hybrids and composites, vol.24,pp 1-7, Switzerland.

[4] Elsayed A Elbadry, and others,2018, Effect of Glass Fibers Stacking Sequence on the Mechanical Properties of Glass Fiber/Polyester Composites , Journal of Material Sciences & Engineering, Vol.7, Issue 1.

[5] Andreas Klingler, and others,2017, Thoughening of glass fiber reinforced unsaturated polyester composites by core-shell particles, Vol.742,Traans Tech publication Ltd, pp74-81, Switzerland.

[6]Tianshun Xie, Wendi Liu, Tingting Chen, 2015, Mechanical and thermal properties of Hemp fiber – unsaturated polyester composites toughened by Butyl Methacrylate, Vol. 10, 2, Xie et al, Bio Resources, 2744-2754.

[7] Manikandan V., Amuthakkannan P., 2014, Mechanical properties of basalt and Glass fiber reinforced polymer hybrid composites, Vol.9, Jornal of advanced microscopy research , 1-6.

[8]Tianshun Xie, Wendi Liu, Tingting Chen, 2015, Mechanical and thermal properties of Hemp fiber – unsaturated polyester composites toughened by Butyl Methacrylate, Vol. 10, 2, Xie et al, Bio Resources, 2744-2754.

[9] Dr. Hamid,A.M. Dr. Abd Al Noor, S.S. & Dr.Dhyaa, B.M., 2009, Studying of the Impact strength of rubber – Toughened thermosets. Vol.27,No.1, Eng.& Tech. Journal, 13.

[10] Website: Yang, J.-M., 1986, Modeling and Characterization of 2-D and 3-D Textile Structural Composites. University of Delaware: Newark, DE.

[11] F.T. Wallenberger, 2001, Introduction to Reinforcing Fibers, ASM Handbook, Vol 21: Composites, ASM International.