

ISSN: 1608-9391
e-ISSN: 2664-2786

Received 11 /6/2019
Accepted 26/11/ 2019

تأثير التدعيم بمساحيق الألومينا والسليكا على الخصائص الميكانيكية للخليط البوليمري (بولي أستر غير مشبع/بولي يوريثان)

*حنين محسن علي **رعد أحمد رسول ***سهام يونس مصطفى

قسم الفيزياء/ كلية التربية للعلوم الصرفة/ جامعة الموصل

*E-mail: dbqpman@yahoo.com

dr.raadrasool@yahoo.com**

seham_yns@yahoo.com***

الملخص

تم في هذه الدراسة تحضير مواد متراكبة ذات أساس من الخليط البوليمري (B) (UPE/PU, 95/5) المدعم بمساحيق الألومينا والسليكا ذات الحجم الحبيبي $(75 - 150) \mu\text{m}$. بعدها تم اختبار النماذج المحضرة وهي الخليط البوليمري (B) والمواد المتراكبة المحضرة من تدعيمه (B_1, B_2, B_3) ، إذ خضعت هذه العينات لاختبارات ميكانيكية المتمثلة باختبار الانحناء (Bending Test) والإنضغاط (Compression) والصلادة (Hardness) والصدمة (Impact) عند درجة حرارة المختبر. أظهرت نتائج الاختبارات بأن أكبر قيمة لمعامل يونك من اختبار الانحناء كانت 6.15 GPa في العينة B_2 ، وإن مقاومة الكسر قلت مع زيادة التدعيم. أما بالنسبة لمقاومة الإنضغاط فإن أقصى مقاومة انضغاط كانت للعينة B_1 المدعمة بالألومينا، حيث بلغت قيمتها 51.29 MPa . أما الصلادة فقد ازدادت مع زيادة التدعيم حيث بلغت أقصى قيم لهما 94.5 Hs .

الكلمات الدالة: مواد متراكبة، خليط بوليمري، خصائص ميكانيكية.

المقدمة

إن للبوليمرات أهمية كبيرة في حياة الإنسان حيث أن معظم الصناعات الحالية قائمة على هذه المركبات الكيميائية، ولقد أصبح تصور عالمنا الحديث من دون لدائن أمراً صعباً، حيث أنها تمثل اليوم جزءاً مكملاً لنمط حياة أي شخص بتطبيقاتها التي تمتد من أدوات محلية شائعة إلى أجهزة علمية وطبية متطورة (Crawford, 1998). ومن مميزات المواد اللدائنية هي التكلفة المنخفضة لأنها تصنع من مواد أولية رخيصة ومتوفرة، وخفة وزنها بالمقارنة مع مواد أخرى كالحديد، وتنوع خصائصها الميكانيكية مثل المرونة والقساوة ومقاومة الحرارة والتآكل مما يزيد من مجالات استخداماتها، سهولة القولية والتشكيل، القدرة العالية على العزل الحراري (الرفاعي، 2011)، على الرغم من هذه المميزات وغيرها الكثير إلا أن البوليمرات بشكلها الخام تفشل في أحيان كثيرة في أن تكون ذات أهمية صناعية واقتصادية (محمد، 1993). ومن أجل تحسين خصائص البوليمرات الميكانيكية يتم خلطها مع مواد أخرى تعرف بالحاشيات (Crawford, 1998)، وبهذا يستحصل منها على مواد متراكبة وهي عبارة عن جمع مادتين أو أكثر بطورين منفصلين، لهدف الحصول على مادة ذات خصائص لا يمكن أن تتوفر في مكوناتها المنفردة (Callister, 2009). إن استخدام المواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري الحديثة بدأ بالأياف الزجاج عام 1930 التي تم تحضيرها من الألياف الزجاج (Fine Fiber Glass) المرتبطة في معظم الحالات براتنج البولي أستر. إن الألياف ترتبط مع بعضها بحيث أن الإجهاد المسلط ينتقل من ليف إلى آخر وبذلك تتقاسم الألياف الحمل المسلط (Battelle, 2008). وتمتاز الخصائص الميكانيكية للمترابكات المعززة بالدقائق عن تلك المعززة بالألياف بكونها بصورة عامة متناظرة، حيث أنه لا يوجد تغيير في الخصائص الميكانيكية بتغيير الاتجاه على فرض وجود توزيع جيد للدقائق (Ebewele, 2000). ويستخدم التدعيم بالدقائق إما لتقوية المادة اللدائنية أو لزيادة حجمها مما يقلل من كلفة استخدامها اقتصادياً (محمد، 1993). كما انه يتم تحسين خصائص البوليمرات عن طريق الخلط الفيزيائي مع بوليمرات أخرى مشكلة خلائط بوليمرية (Polymer Blend) ويستفاد من هذه الطريقة كذلك في تقليل الكلفة وهي أسهل من انتاج خلائط بوليمرية (Copolymer) عن طريق بلمرة البوليمر مع مونمرات تابعة لبوليمرات أخرى. وهناك العديد من الدراسات اهتمت بتحضير مواد متراكبة بوليمرية مقواة بمواد تقوية مختلفة حيث أجرى (الغزالي وآخرون، 2010) دراسة لتأثير درجة الحرارة والمحاليل الكيميائية على قيم معامل المرونة لمواد متراكبة هجينة مكونة من خليط بوليمري من راتنجات الفينول فورمالديهايد نوع نوفولاك والإيبوكسي المقوى بمساحيق الألومينا والسليكا بالإضافة إلى ألياف الإيسبستوس وبكسور حجمية (30%، 40%)، وتم تحضير ستة مواد متراكبة هجينة وإجراء إختبار الانحناء لحساب معامل المرونة في درجات حرارية مختلفة ومحاليل كيميائية مختلفة. أظهرت النتائج أنه كلما ارتفعت درجة الحرارة قلت قيم معامل المرونة، كذلك كلما ازدادت فترة غمر العينات في المحاليل الكيميائية المختلفة قلت قيم معامل المرونة، وأظهرت نتائج اختبار العينات التي تحتوي على خليط من الألومينا والسليكا وبكسر حجمي 40% زيادة في قيم معامل المرونة في حين أن العينات التي تحتوي على الألومينا بكسر حجمي 30% أظهرت أقل قيم لمعامل المرونة. كما درس (عاصي وآخرون، 2015) الخواص الميكانيكية لمادة البولي أستر غير المشبع المقوى بمسحوق التيتانيوم والألومينا. إذ تم التدعيم بالنسب (0%، 5%، 10%، 15%)، وأظهرت النتائج أن أعلى قيمة لمقاومة الصدمة هي عند نسبة التدعيم (10%) وكانت 14 و12 وبوحدة KJ/m^2 للنماذج المقواة بالتيتانيوم والألومينا، أما مقاومة الإنضغاط فإن أعلى قيمة لها هي عند النسبة الوزنية (10%) وكانت 229 و180 وبوحدة MPa للألومينا والتيتانيوم على التوالي. أما الصلادة فإن قيمتها تزداد بزيادة نسبة التدعيم وكانت أعلى قيمة عند النسبة (15%) وبقيمة 15 و12 وبوحدة BNH لكل من النماذج المقواة بدقائق التيتانيوم والألومينا على التوالي. كما درست (Musa, 2014) تأثير إضافة مسحوق الزجاج وبحجم حبيبي ($35\mu\text{m}$) وبكسور حجمية مختلفة (20%، 10%) إلى خليط من (UPE/PU) وبنسب وزنية (90/10). أظهرت النتائج أن إضافة الدقائق إلى الخليط البوليمري قد حسن وبشكل كبير الخواص الميكانيكية المتمثلة بالانحناء والصلادة والصدمة ومعامل المرونة.

يهدف البحث إلى تحضير مواد متراكبة ذات أساس من خليط بوليمري مدعم بمساحيق الألومينا والسليكا وبكسور حجمية مختلفة ودراسة خصائصها الميكانيكية (معامل المرونة، أقصى مقاومة إنحناء يتحملها النموذج، مقاومة الكسر، الصلادة، مقاومة الصدمة) والاستفادة منها في الصناعة.

تقنية العمل

مواد البحث:

راتنج البولي أستر غير المشبع (UPE) Unsaturated Polyester

تم استخدام راتنج البولي أستر غير المشبع نوع (TP 100) المنتج من الشركة التركية (Turkuas Polyester) وبشكل راتنج شفاف تتراوح لزوجته (centi poise, cp) (350-500) عند $25^{\circ}C$ وكثافته النوعية (1.17)، يتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة بإضافة المصلد (Hardener) له والمصلد عبارة عن مثيل أنيل كيتون بيروكساييد (Methyl Ethyl Keton Peroxide, MEKP)، إذ تم إضافة الاسيتون للمصلد وبالنسبة الحجمية (اسيتون/مصلد، 25/75) واستعمال (0.03g) من هذا الناتج لكل (10g) من راتنج البولي أستر بهدف التصليد، وذلك بسبب صعوبة استخدام المصلد لوحده بدون الأسيتون بسبب سرعة التصلد العالية والتي تستغرق ثلاث دقائق. الجدول (1) يوضح بعض من خصائص البولي أستر غير المشبع (Akay, 2012) (Hyer, 2009) (Callister, 2009).

الجدول 1: بعض من خصائص البولي أستر غير المشبع

Product Name	Density (gm/cm ³)	Flexural Strength (MPa)	Flexural modulus (GPa)	Compressive Strength (MPa)	Fracture toughness MPa√m
UPE	(1.1-1.5)	59-159	3-4.2	90-250	0.6

بولي يوريثان (PU) Poly Urethane

تم استخدام بولي يوريثان سوري المنشأ من إنتاج شركة (Baalbaki)، ذي لون بني داكن وكثافة 1.14 g/cm^3 ، وتم تحضيره من خلط البوليمر مع المصلد (أيزوسيانيد) بنسبة جزأين من البوليمر إلى جزء واحد من المصلد.

مسحوق السليكا SiO₂ Powder

تم استخدام مسحوق السليكا بحجم حبيبي يتراوح بين (75-150) μm والذي تم تحديده باستخدام المناخل، والمسحوق منتج من قبل شركة (Filcom a Sibelco Company) وهو مسحوق أبيض اللون وعديم الذوبان في الماء. و (الجدول 2) يوضح بعض من الخصائص السليكا والألومينا (Callister, 2009)، (Coble, 2003)، (Doremus and Shackeford, 2008).

الجدول 2: بعض خصائص السليكا والألومينا

Product Name	Density (gm/cm ³)	Knoop hardness (100 gm Load)	Young's modulus (GPa)	Compressive Strength (MPa)	Flexural Strength (MPa)	Fracture toughness MPa√m
SiO ₂	2.65	800	83	650-1100	100	0.79
Al ₂ O ₃	3.97-3.986	2100	390	2070-2620	282-551	4.2-5.9

مسحوق الألومينا (Al₂O₃): Aluminum Oxide

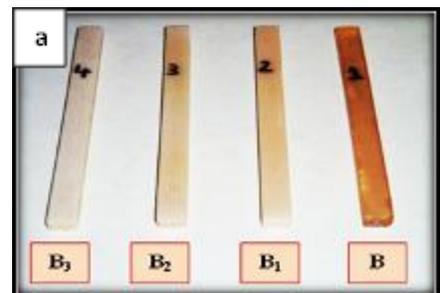
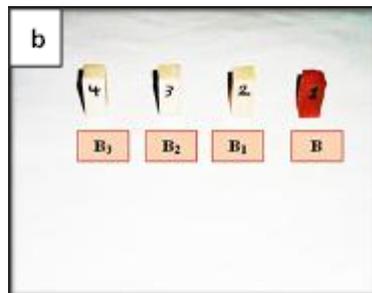
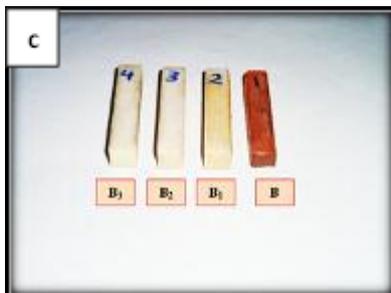
تم استخدام مسحوق ألومينا بحجم حبيبي يتراوح بين (75-150 μm) والذي تم تحديده باستخدام المناخل، وهو من المساحيق السيراميكية وكثافته 3.95 gm/cm³.

تحضير نماذج البحث:

تم تحضير ثلاثة أنواع من المتراكبات البوليمرية (B₁, B₂, B₃) ذات أساس من خليط بوليمري (UPE/PU, 95/5) (B) مدعمة بنسب حجمية مختلفة من مساحيق الألومينا والسليكا المايكروية بطريقة القلوية اليدوية و (الجدول 3) يوضح نسب مكونات المواد الداخلة في تحضير العينات. تم صب الخليط في قوالب من الأكريلك مقطعة حسب مواصفات إختبارات الإنحناء (ASTM-D790)، الإنضغاط (ASTM-D695)، والصدمة (ISO-179)، وكانت ابعاد العينات بوحدة mm هي (10*6.3*120)، (10*10*20)، (10*10*55) لاختبارات الانحناء والانضغاط والصدمة على التوالي وتم إجراء معاملة حرارية للعينات عند 50 °C لمدة ثلاث ساعات كما تم إجراء المعاملة السطحية للعينات باستخدام ورق الصقل وبالأحجام الحبيبية # (100,200,400,600,800,1000).

الجدول 3: رموز العينات المحضرة والنسب الحجمية للمواد الداخلة في تحضيرها

Symbols of the Samples	Percentage of each Material in the Samples
B	Blend (UPE 95%+PU 5%)
B ₁	Blend 95% + Al ₂ O ₃ 5%
B ₂	Blend 80% + Al ₂ O ₃ 5% + SiO ₂ 15%
B ₃	Blend 65% + Al ₂ O ₃ 5% + SiO ₂ 30%



الشكل 1: صور لنماذج العينات المحضرة لاختبارات (a) الانحناء، (b) الانضغاط، (c) الصدمة

الأجهزة المستخدمة:

تم استخدام جهاز (SANS, Model WAW-1000) صيني المنشأ في جامعة الموصل/ كلية الهندسة الميكانيكية/مختبر المعادن، لإجراء إختبارات الإنحناء والإنضغاط. وتم إستخدام جهاز (Shore Durometer, 0-100 HD) صيني المنشأ لغرض إجراء إختبار الصلادة كما تم الحصول على الطاقة الممتصة اللازمة لحدوث الكسر في العينات لجهاز قياس طاقة الصدمة جاري (Charpy Impact Instrument) المجهز من شركة (Tokyo Koki Seizosho, LTD).

النتائج والمناقشة

إختبار الإنحناء Bending Test

تم حساب معامل مرونة الإنحناء (E_f , Flexural modulus (N/m^2)) وأقصى مقاومة إنحناء يتحملها النموذج (F_{SB} , Flexural Strength at Break (N/m^2)) ومقاومة الكسر (F_{SM} , Maximum Flexural Strength (N/m^2)) للنماذج المختبرية باستخدام العلاقات التالية (Akay, 2012)، (Ratna, 2009):

$$E_f = \frac{L^3 P}{4bh^3 S}$$

حيث إن:

L - المسافة بين نقطتي الإرتكاز (m)، b - عرض النموذج (m)، h - سُمك النموذج (m)،

P/S - يمثل ميل الجزء الخطي للعلاقة بين الحمل P والانحراف S بوحدة (N/m).

$$F_{SM} = \frac{3P_M L}{2bh^2}$$

$$F_{SB} = \frac{3P_B L}{2bh^2}$$

حيث إن:

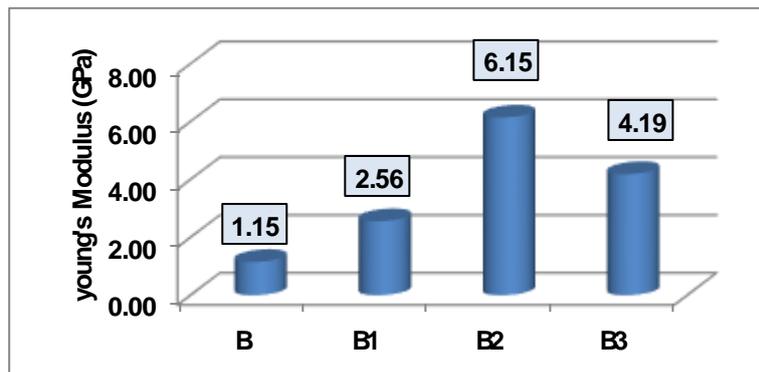
P_M : أقصى حمل يتحملة النموذج (N)، P_B - الحمل عند كسر العينة (N).

يوضح (الجدول 4) نتائج إختبار الانحناء للخليط البوليمري (B) وللمواد المترابطة المحضرة (B_1, B_2, B_3)، من خلال هذه النتائج نجد أن معامل مرونة الانحناء (E_f) يزداد مع زيادة التدعيم كما في الشكل (2)، ولكن يبدأ بالانخفاض عند العينة B_3 ، وهذه الزيادة في معامل المرونة (B إلى B_2) تعود إلى معامل المرونة العالي الذي تتمتع به مواد التدعيم كما في (الجدول 2) مقارنة بمعامل مرونة المادة الأساس. كذلك تعود هذه الزيادة إلى كون مواد التدعيم تعمل كمعوقات لحركة جزيئات المادة الأساس حيث ان وجود مادة التدعيم يؤدي الى توزيع الإجهاد وعدم تركزه عند نقاط معينة مما يعطي للمادة الأساس ثبات في مواقع جزيئاتها والذي سوف ينعكس على قلة الانفعال المرن مع زيادة مواد التدعيم وكما مبين في الشكل رقم (3,a,b) (Durowaye, 2018). وهذه النتيجة بالزيادة تتفق مع ما توصل إليه (مرهون، صلال، 2014)، وأن معامل مرونة المادة الأساس التي استخدمها الباحث مقارب لـ (2.7 GPa)، وقد يعود هذا الفرق لوجود البولي يوريثان ضمن المادة الأساس في بحثنا الحالي.

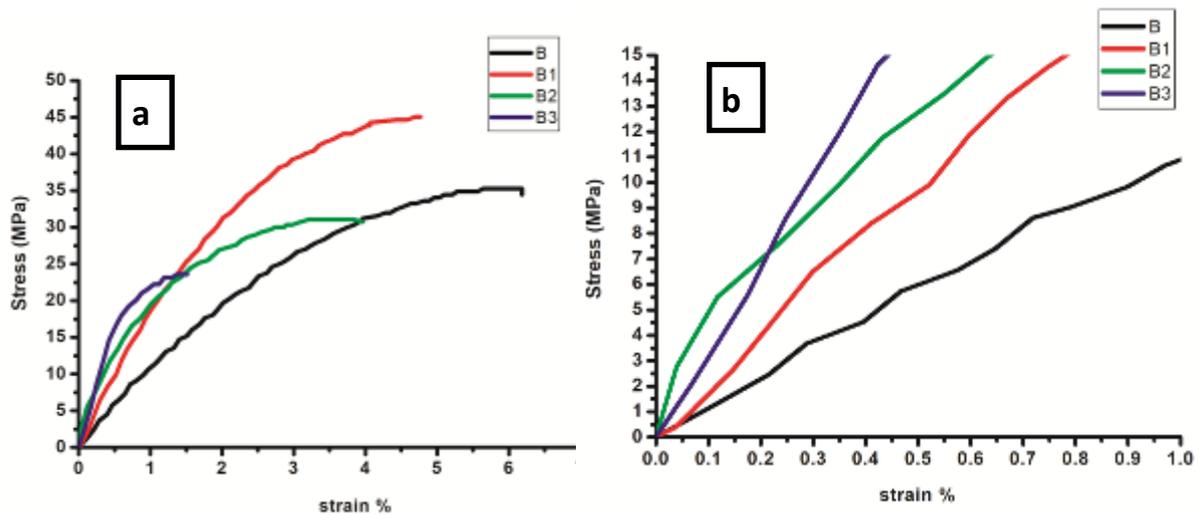
الجدول 4: نتائج إختبار الإنحناء للعينات المحضرة

رمز العينة	E_f (GPa)	F_{SM} (MPa)	F_{SB} (MPa)
B	1.15	32.67*	-----
B ₁	2.56	39.03	39.03
B ₂	6.15	30.08	29.87
B ₃	4.19	25.56	25.56

*تم حسابها عند الإنفعال 5% لأنها لم تنكسر بعد هذه القيمة من الإنفعال وذلك حسب مواصفات (ASTM-D790)



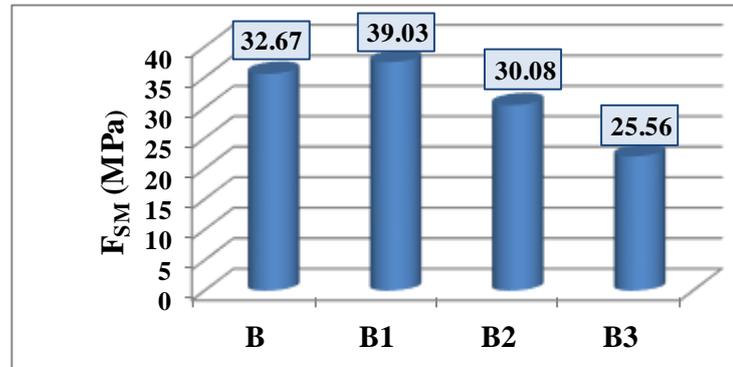
الشكل 2: معامل مرونة الانحناء لنماذج العينات.



الشكل 3: (a) منحنيات الاجهاد-الانفعال للعينات، (b) تكبير لمنطقة تحديد معامل المرونة

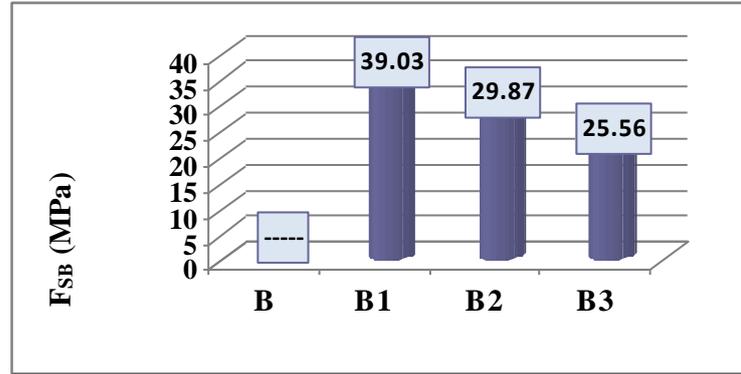
وتتفق هذه النتائج كذلك مع ما توصلت إليه (Musa, 2014) حيث لم تتجاوز نسب التدعيم الحجمية التي استخدمتها الباحثة 20 vol% وكانت أعلى قيمة لمعامل مرونة الانحناء عند هذه النسبة من التدعيم، كما أن المادة الأساس التي استخدمتها

الباحثة هي (UPE/PU, 90/10)، ومعامل المرونة لها في حدود (0.7 GPa) وهي أقل من معامل مرونة المادة الأساس في البحث الحالي، وذلك يعود لزيادة نسبة البولي يوريثان حيث أن زيادة نسبة البولي يوريثان في الخليط البوليمري يقلل معامل مرونة المادة الناتجة إذ يمتاز البولي يوريثان بمعامل مرونة واطئ (Kim and Kim, 1987). أما الانخفاض في قيمة معامل مرونة الإنحناء عند العينة B₃ يعود لزيادة نسبة التدعيم الى المادة الأساس مما يؤدي إلى أضعاف ارتباط مادة التدعيم مع المادة الأساس. كما يلاحظ من خلال هذه النتائج أن مقدار الزيادة في معامل المرونة في العينة B₂ بالمقارنة مع B أكبر مما هو عليه في B₁، وذلك يعود إلى استخدام نوعين من مواد التدعيم ذات معاملات مرونة أعلى قياساً للمادة الأساس (العزاوي وآخرون، 2010). أما بالنسبة لأقصى مقاومة انحناء يتحملها النموذج (F_{SM}) كما في الشكل (4)، فإنها ازدادت عند التدعيم بالألومينا عما كانت عليه قيمتها في B (المادة الأساس غير المدعمة)، بعدها انخفضت هذه القيمة بزيادة التدعيم في العينات B₂, B₃، إذ إن هذه الزيادة يعود سببها إلى أن دقائق الألومينا تعمل على توزيع الإجهاد وعدم تركزه عند نقاط معينة مما يعطي للمادة الأساس ثباتاً في مواقع جزيئاتها والذي سوف ينعكس على قلة الانفعال للعينة، أما سبب الانخفاض في قيمة أقصى مقاومة انحناء في العينات B₂, B₃، يعود إلى الزيادة في النسبة الحجمية لمواد التدعيم إلى المادة الأساس وبالتالي إضعاف ارتباط مادة التدعيم مع المادة الأساس وتكتل مواد التدعيم (Hanna et al., 2011) هذه النتيجة تتفق مع ما توصل إليه (Duroway, 2018)، إذ حصلوا على أعلى مقاومة إنحناء وكانت عند نسبة التدعيم 7 vol% وباستخدام مسحوق كربيد السليكون حيث عند زيادتهم لنسبة التدعيم حصلوا على انخفاض في مقاومة الانحناء.



الشكل 4: أقصى مقاومة انحناء تتحملها النماذج.

كما يلاحظ من خلال نتائج الإختبار الموضحة في (الجدول 4) لمقاومة الكسر للعينات المحضرة وكما في الشكل (5)، يلاحظ عدم كسر العينة B1 وذلك لخصائص في لدونة المادة الأساس وتأثير مطاط البولي يوريثان، إذ تمتاز البوليمرات المطاطية بصورة عامة بمعامل مرونة واطئ وإستطالة كبيرة (Kim and Kim, 1987)، أما مقاومة الكسر في باقي العينات فقد قلت مع زيادة نسبة التدعيم وذلك يعود أضعاف ارتباط مواد التدعيم بالمادة الأساس حيث تقل نسبة المادة الأساس بزيادة التدعيم ومن ثم يقل أداء المادة المترابكة عند تعرضها للإجهادات وتميل مواصفات المادة المنتجة باتجاه مواصفات المواد القصفة، كما أن هذا الإنخفاض يعود إلى إنخفاض نسبة المادة الأساس، حيث أن نسبتها الحجمية تقل مع زيادة نسبة مواد التدعيم وتفقد المادة المترابكة نتيجة لذلك اللدونة المستمدة من خصائص المادة الأساس (Rodriguez, 2015).



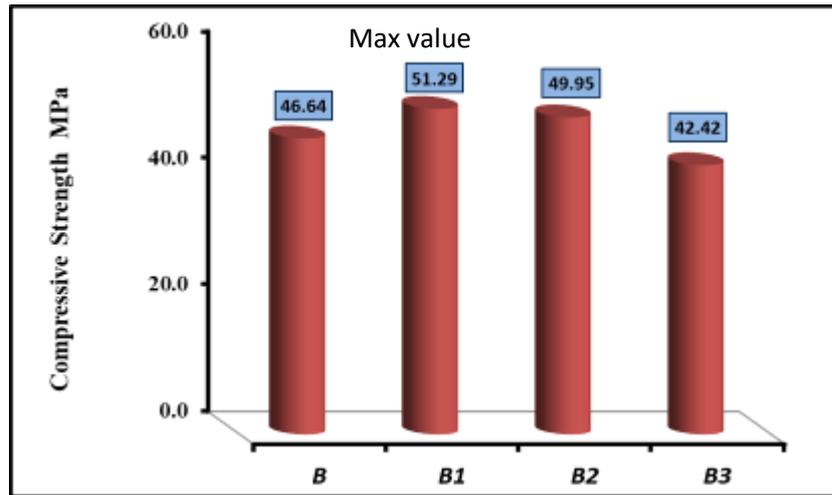
الشكل 5: مقاومة الكسر لنماذج العينات

إختبار الإنضغاط Compression Test

يعد اختبار الانضغاط حالة عكسية لاختبار الشد من حيث اتجاه الحمل المؤثر كما يمثل اختبار الشد الأساس لقبول المواد المعدنية فإن اختبار الانضغاط الأساس لقبول المواد غير المعدنية مثل الخرسانة والطوب والأحجار والأخشاب، إذ إنها تكون ضعيفة في الشد (المؤسسة العامة للتدريب المهني والتقني، 2008). لحساب مقاومة الإنضغاط (Compressive Strength, C.S) تم الاعتماد على العلاقة الآتية (Callister, 2009):

$$C.S(Pa) = \frac{Force (N)}{Area (m^2)}$$

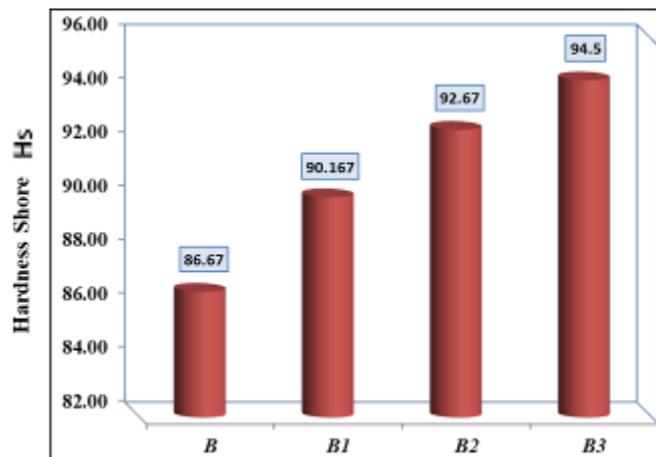
يوضح الشكل (6)، قيم مقاومة الإنضغاط للخليط البوليمري (B) وللمواد المترابطة المحضرة (B₁, B₂, B₃)، إذ أظهرت النتائج زيادة مقاومة الإنضغاط بالتدعيم عما هي عليه في الخليط البوليمري، حيث بلغت قيمتها 51.29MPa للمادة المترابطة B₁ بعدها انخفضت قيمة مقاومة الإنضغاط إلى حد أدنى مما كانت عليه في المادة الأساس غير المدعمة. إن الزيادة في قيمة مقاومة الإنضغاط تعود إلى تأثير خصائص مواد التدعيم على المادة المترابطة حيث تمتلك مواد التدعيم الألومينا والسليكا مقاومة انضغاط عالية وكما موضح في (الجدول 2)، بالمقارنة مع المادة الأساس، وتؤدي عملية التدعيم إلى مزج هذه الصفات النوعية لمواد التدعيم مع صفات المادة الأساس (تاكر، 1984)، كما أن مواد التدعيم هي مواد سيراميكية وتعد مواداً مسامية (مرهون، صلال، 2014)، إذ توفر هذه الدقائق سطح إمتزاز جيد (Absorbent) لجزيئات البوليمر مما يؤدي إلى زيادة القوة الميكانيكية للمادة اللدائنية، حيث أن ترطيب دقائق المادة الحاشية بالمادة اللاصقة يعد شرطاً أساسياً لنجاح عملية التدعيم (تاكر، 1984). ومن مقارنة النتائج يلاحظ أن العينة B₁ أظهرت أعلى قيمة لمقاومة الانضغاط بسبب وجود الألومينا ذات مقاومة الإنضغاط العالية مقارنة بالمادة الأساس. وبزيادة التدعيم بالسليكا مع ثبات نسبة الألومينا في العينات يلاحظ انخفاض مقاومة الانضغاط لأن نسبة المادة الأساس تقل في العينات مما يؤدي إلى إضعاف ارتباط مواد التدعيم بالمادة الأساس وبالتالي إضعاف قوة المادة المترابطة الناتجة.



الشكل 6: نتائج إختبار تغير مقاومة الإنضغاط للنماذج المحضرة

إختبار الصلادة Hardness Test

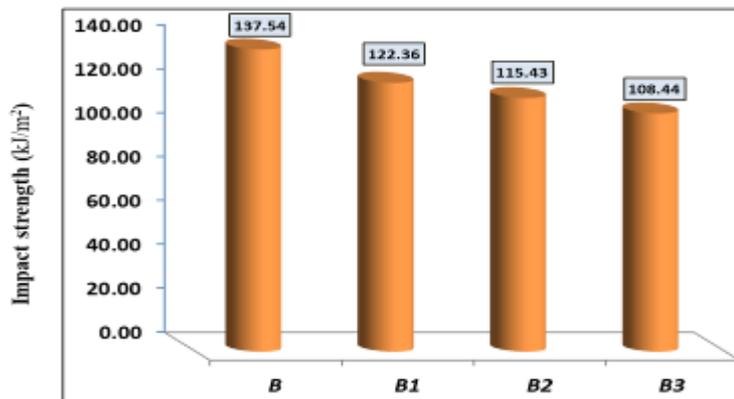
إن الهدف من اختبار الصلادة هو قياس مقاومة المادة للتشوهات اللدنة (حسين، حسين، 2010)، والشكل (7) يوضح نتائج اختبار الصلادة للمادة الأساس B وللمواد المترابطة المحضرة B₁, B₂, B₃. إذ يتضح من خلال هذه النتائج أن الصلادة تزداد بزيادة التدعيم بالمقارنة مع المادة الأساس B. يعود هذا إلى تأثير خصائص الصلادة العالية لمواد التدعيم كما في (الجدول 2) بالمقارنة مع المادة الأساس، إذ تضاف هذه الصفة للمادة المترابطة عند التدعيم (حسن، 2017) حيث ان وجود المواد المدعمة بخصائصها يؤثر بعاملين، الأول: زيادة في تماسك المادة الأساس والثاني: تطوير خواص المادة الأساس بسبب الاقتران بين خصائص المادة الأساس ومادة التدعيم. كما أن وجود مواد التدعيم (الألومينا والسليكا) بين جزيئات المادة الأساس سيؤدي إلى إعاقة حركة هذه الجزيئات مما أدى لزيادة صعوبة إحداث أثر على السطح في عينات المواد المترابطة وبالتالي سيعمل على زيادة الصلادة لها (Majeed and Ibrahim, 2017). كما لوحظ من خلال تلك النتائج أن نسبة زيادة الصلادة في المادة المترابطة B₁ (المدعمة بالألومينا فقط) عن B هي 4.03% في حين أن نسبة زيادة الصلادة للعينات B₂ (المحتوية على نسبة الألومينا إضافة للسليكا) بالمقارنة مع العينة B₁ المدعمة ب 5% من الألومينا هي 2.7%، إن هذا الفارق في نسبة الزيادة قد يعود إلى كون خاصية الصلادة في الألومينا أعلى مما هو عليه في السليكا، كما قد يعود إلى قلة نسبة المادة الأساس بزيادة نسبة مادة التدعيم مما يؤدي إلى إضعاف ارتباط مادة التدعيم بالمادة الأساس وبالتالي عدم حدوث زيادة كبيرة في قيم الصلادة بزيادة التدعيم. هذه النتائج تتفق مع ما توصل إليه (Garay et al., 2011)، و (Abbas et al., 2015).



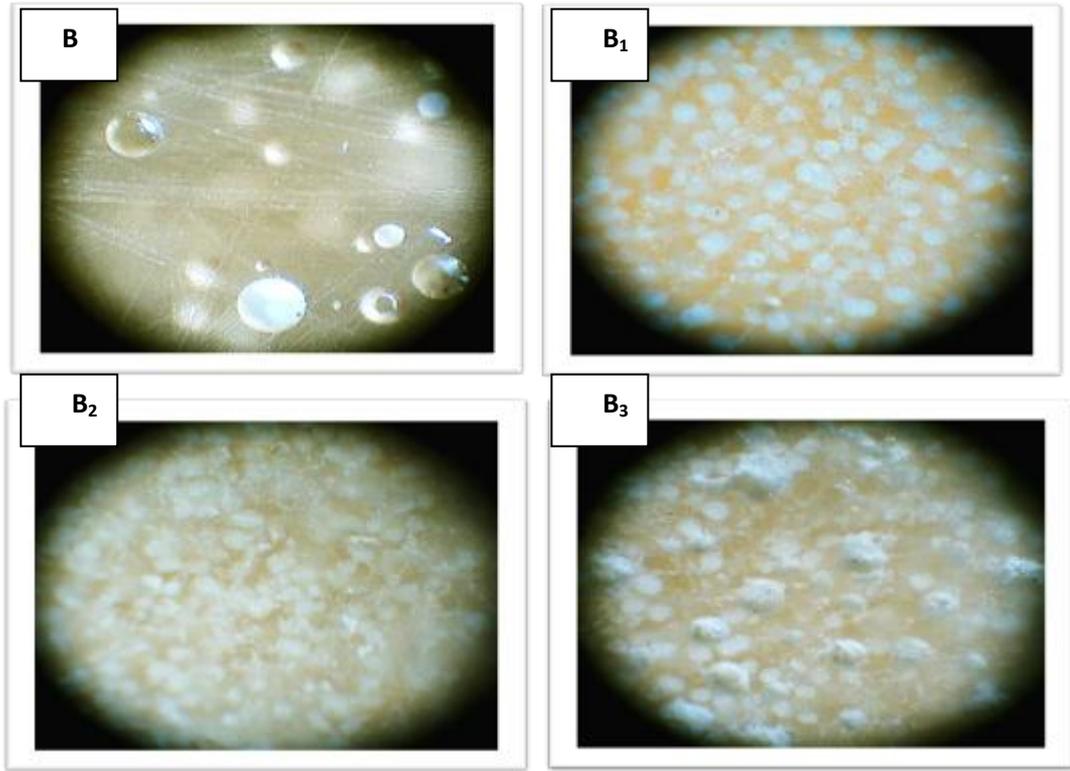
الشكل 7: نتائج إختبار الصلادة للنماذج المحضرة.

إختبار الصدمة Impact Test

يبين اختبار الصدمة مدى مقاومة المادة للانهييار عند تعرضها لقوى صدم تحت ظروف التشغيل، إذ إن معدل امتصاص الطاقة عند الصدم يؤثر على سلوك المواد وبالتالي على جودتها (المؤسسة العامة للتدريب المهني والتقني، 2008)، يبين الشكل (8) مقاومة الصدمة للعينات المحضرة. ومن خلال نتائج الإختبار نجد أن مقاومة الصدمة للمواد المتراكبة قد انخفضت عند التدعيم عما هو عليه الحال في المادة الاساس B ولجميع نسب التدعيم. حيث إن المواد المتراكبة تتكون من ثلاث مناطق رئيسية هي المادة الاساس ومنطقة السطح البيني ومنطقة مادة التدعيم (النعيمي، 2014) وأن النقصان في قيم مقاومة الصدم بالتدعيم قد يعود إلى النسب الحجمية العالية لمواد التدعيم مما يؤدي إلى اضعاف ارتباط مادة التدعيم بالمادة الأساس وبالتالي ضعف المادة المتراكبة. على الرغم من أن مواد التدعيم تتمتع بمتانة كسر أعلى من البولي أستر غير المشبع وكما موضح في (الجدول 1 و 2)، إلا أن خصائص المادة المتراكبة تتأثر كثيراً بقوة الترابط بين المكونات عند السطح البيني فكلما كان هذا الترابط قوياً أدى ذلك إلى زيادة تأثر المادة الاساس بخصائص مواد التدعيم. إذ تنتقل الإجهادات المسلطة على المادة المتراكبة عبر المادة الاساس والسطح البيني إلى مواد التدعيم وهي بدورها تتحمل جزءاً من هذا الإجهاد اعتماداً على قوة الترابط عبر السطح البيني (مكي وآخرون، 2012) كما ان قوة تماسك المونمرات في المتراكبات البوليمرية تكون اكبر من قوة تلاحق مواد التدعيم بالمادة الاساس مما يعني أن إحداث شقوق دقيقة سوف يكون أصعب عندما تكون المادة الأساس لوحدها وان اساس نشوء الاقتطاعات في فحوصات الصدمة هو تكون هذه الشقوق. هذه النتائج تتفق مع ما توصلت إليه (سميح، 2011) وتتفق كذلك مع ما توصلت إليه (Abbas et al., 2015) حيث انخفضت مقاومة الصدمة بالتدعيم غير إنها ازدادت زيادة طفيفة بعد نسبة التدعيم 10vol% في البحث الذي أجراه (Abbas et al., 2015) والتي عزاها الباحث إلى التحسن في توزيع مواد التدعيم خلال طور المادة الأساس عند هذه النسب، لكن وبصورة عامة فإن مقاومة الصدمة هي أقل مما هو عليه قبل التدعيم. كما أن نتائج البحث الحالي تتعارض مع ما توصلت إليه (Abas and Abass, 2018) والتي استخدمت نسب تدعيم من مسحوق كاربيد السليكون ضمن المدى vol% (0%-9%) و يعود هذا الاختلاف إلى أسباب عديدة منها أن نسب التدعيم المستخدمة في البحث الحالي هي نسب عالية جداً أدى استخدامها إلى حدوث تجمعات لمواد التدعيم لعدم كفاية المادة الأساس مما أدى إلى إضعاف ارتباط مادة التدعيم مع المادة الأساس وتجمع مواد التدعيم مع بعضها في مناطق محدودة وبالتالي تحسين تكون الفجوات والنتيجة يؤدي إلى تكون الشروخ المجهرية ومن ثم امتدادها وبالتالي حدوث الكسر السريع، أما بالنسبة للاختلاف في النتائج عند نسبة التدعيم 5 vol% فإنه يعود ذلك إلى الفرق في حجم دقائق التدعيم التي استخدمها (Abas and Abass, 2018) والتي تراوحت ما بين $25-60 \mu m$ وهي صغيرة مقارنة مع المدى الحجمي لمواد التدعيم المستخدمة في البحث الحالي مما أدى إلى إسهام هذه الدقائق في شغل المسامات وتقليل عيوب المادة المتراكبة وتقليل الفراغات الناتجة من ترانس مواد التدعيم كبيرة الحجم. الشكل (8) يوضح صور بالمجهر الضوئي للعينات بقوة تكبير 100x. يتضح من الشكل (9) وجود الفجوات الهوائية ضمن المادة الاساس B بسبب الخلط عند القولية اليدوية كما يلاحظ زيادة المسامات بزيادة التدعيم والذي يضعف من الخصائص الميكانيكية للمواد المتراكبة المحضرة.



الشكل 8: نتائج مقاومة الصدمة للنماذج المحضرة.



الشكل 9: صور مجهرية بقوة 100x للنماذج المحضرة B, B₁, B₂, B₃.

الاستنتاجات

من خلال هذه الدراسة تم التوصل للاستنتاجات التالية:

- 1- أكبر مقاومة إنضغاط كانت للعينة (B₁) المدعمة بالألومينا حيث بلغت قيمتها 51.29 Mpa نظراً لتواجد الألومينا ذات مقاومة الإنضغاط العالية مقارنة بالمادة الأساس (B).
- 2- زيادة الصلادة بزيادة التدعيم وقد بلغت أقصاها (94.5 H_S) للعينة (B₃)، نظراً لتطور المادة الأساس من خلال اقتران خصائصها مع خصائص مواد التدعيم.
- 3- نقصان مقاومة الصدمة بزيادة النسبة الحجمية لمواد التدعيم حيث بلغت قيمتها (108.44 KJ/m²) للعينة (B₃) بسبب كون ترابط المونمرات في المادة الأساس أقوى من الترابط بين المادة الأساس ومواد التدعيم، حيث تقل نسبة المادة الأساس بزيادة نسبة التدعيم.
- 4- نقصان مقاومة الكسر في إختبار الانحناء بزيادة نسبة مواد التدعيم بسبب نقصان نسبة المادة الأساس بزيادة نسبة التدعيم مما يؤدي الى ضعف الارتباط بين المادة الأساس ومواد التدعيم ونقصان في خصائص اللدونة المستمدة من المادة الأساس.

المصادر العربية

- النعمي، نور الدين علي حسين (2014 م). دراسة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمتراكبات من الإيبوكسي والبولي أستر غير المشبع المقواة بألياف الزجاج ومسحوق الألومينا النانوي والميكروبي. رسالة ماجستير، جامعة الموصل.
- العزاوي، علي حسن رسن هذال؛ الدباغ، بلقيس محمد ضياء؛ الحداد، سلام حسين علي (2010). تأثير درجة الحرارة والمحاليل الكيميائية على قيم معامل المرونة لمواد متراكبة هجينة. مجلة الهندسة والتكنولوجيا. 22 (13)، 693-708.

- الرفاعي، جمال؛ السويلم، فارس. (2011). "البوليمرات"، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. معهد بحوث البتروكيمياويات. المملكة العربية السعودية.
- المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني، الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج، (2008). "إختبار المواد". المملكة العربية السعودية.
- تاكر، أنا أ، ترجمة محمد، أكرم عزيز، (1984). "الكيمياء الفيزيائية للبوليمرات". طبع بمطابع جامعة الموصل.
- حسن، أحمد غازي (2017). دراسة تأثير إضافة دقائق السليكا على الخواص الميكانيكية لمتراكبات البولي أستر غير المشبع المسلح بالألياف الزجاجية. مجلة القادسية للعلوم الهندسية. 10 (1)، 16-29.
- حسين، مظفر يعقوب؛ حسين، رديم جعفر (2010). تحسين الخواص الميكانيكية والحرارية للبولي يوريثان. مجلة كلية التربية الأساسية. (6)، 821-837.
- سميح، هناء عرير (2011). تأثير التقوية بمسحوق أكسيد الزنك على الخواص الميكانيكية لمادة متراكبة ذات أساس من البولي أستر غير المشبع. مجلة الهندسة والتكنولوجيا. 29 (10)، 474-484.
- عاصي، عبد الله ضايغ؛ عبود، أحمد هادي؛ جواد، زهراء فخري. (2015). دراسة الخواص الميكانيكية لمادة البولي أستر غير المشبع مقوى بمسحوق التيتانيوم والألومينا. مجلة جامعة بابل/ العلوم الهندسية. 23 (1)، 52-62.
- مرهون، إسماعيل إبراهيم؛ صلال، حيدر عباس (2014). دراسة تأثير إضافة دقائق Rennie الصيدلانية على مواد متراكبة ذات أساس بولي أستر لاستخدامها في الأغراض الطبية. مجلة كلية الهندسة- جامعة النهرين. 17 (2)، 56-67.
- محمد، أكرم عزيز (1993). "كيمياء اللدائن". دار الكتب للطباعة والنشر، الموصل.
- مكي، سمير عطا؛ أحمدز عدي حميد؛ عبد الله، مصطفى زيد؛ غني، بسمة علي (2012). دراسة تأثير التدعيم ودرجة الحرارة في مقاومة الصدمة لخليط بوليمري. مجلة ابن الهيثم للعلوم الصرفة والتطبيقية. 25 (3)، 169-178.

المصادر الأجنبية

- Abas, F.O.; Abass, R.U. (2018). Study thermo-mechanical properties of polyester composite reinforced by ceramic particles Sic. *MATEC Web of Conf.*, **225** (01021).
- Abbas, A.F.; Betti, N.A.; Abbas, R.U. (2015). Study themomechanical properties of unsaturated polymer composite reinforced by ceramic particles (Al₂O₃). *IJISSET-Int. J. Inn. Sci.*, **2**, 150-152.
- Akay, M. (2012). "Introduction to Polymer Science and Technology". Mustafa Akay and Ventus Publishing APS.
- Battelle, (2008). "Material Science and Technology". Handbook, National Technical Information Service, U.S Department of Energy, 5285 Port Royal Rd., <http://www.ntis.gov/ordering.htm>, email: orders@nits.fedworld.gov.
- Callister, W. D. (2009). "Materials Science and Engineering". John Wiley and Sons, Inc., 8th ed.
- Coble, S. (2003). "Materials Data Book". Cambridge University Engineering Department, Cambridge, UK.
- Doremus, R.H.; Shackelford, J. F. (2008). "Ceramic and Glass Materials Structure, Properties and Processing". Springer.
- Durowaye, S.; Sekunowo, O.; Shittu, S.; Duru, P. (2018). Effect of silicon carbide, millscale, and magnesia particulates on the mechanical properties of hybrid unsaturated polyester resin matrix composites. *Usak Uni. J. Eng. Sci.*, **1** (1), 28-37.
- Ebewele, R.O. (2000). "Polymer Science and Technology". CRC Press LLC, Nigeria.

- Garay, A.C.; Heck, V.; Zattera, A.J.; Souza, J.A.; Amico, S.C. (2011). Influence of calcium carbonate on rtm and rtm light processing and properties of molded composite. *J. Rei. Pla. and Com.*, **30** (14), 1213-1221.
- Hanna, W.A.; Gharib, F. E.; Marhoon, I.I. (2011). Characterization of ceramic filled polymer matrix composite used for biomedical applications. *J. Min. and Mat. Char. Eng.*, **10** (12), 1167-1178.
- Hyer, M.W. (2009). "Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials". DE Stech Publications Inc.
- Kim, J.H.; Kim, S.C. (1987). Analysis of reaction injection molding process of polyurethane-unsaturated polyester blends. part II: mechanical properties. *Pol. Eng. Sci.*, **27**(16), 1252-1257.
- Majeed, A.H.; Ibrahim, S.Q. (2017). Mechanical properties of unsaturated polyester filled with silica fume, glass powder and carbon black. *Eng. Tech. J.*, **35** (6), 640-647.
- Musa, B. H. (2014). Effect of glass powder on some mechanical properties of polymer matrix composite material. *J. Al-Nah. Uni.*, **17** (2), 108-115.
- Crawford, R. J. (1998). "Plastics Engineering". 3rd ed., printed by St Edmunds bury press Ltd, Bury St Edmunds, Suffolk.
- Ratna, D. (2009). "Handbook of Thermost Resins". Smithers Rapra Tech.
- Rodriguez, G.P.; Maldonado, LM.; Moreno, H.J.D. (2015). Structure, mechanical and thermal behavior of mixtures of polyester resin and dental ceramic waste. *J. Phy.*, **687** (012086).

Reinforcement Effect of Alumina and Silica on the Mechanical Properties of Mixture Polyesters (Unsaturated Polyester / Polyurethane)

Haneen M. Ali

Raad A. Rasool

Soham Y. Moustafa

Department of Physics/ College of Education for Pure Science / University of Mosul

ABSTRACT

In this study composite materials were prepared from based polymer mixture (B) (UPE/PU, 95/5) supported by alumina powders and silica with grain sizes (75 - 150) μm , these samples were tested B and B₁, B₂ and B₃ respectively.

The samples were subjected to mechanical tests represented by bending test, compression, hardness and impact at laboratory temperature. The results showed that the Young modulus of bending test increased by increasing the strength, and the fracture resistance was reduced by increasing the reinforcement. As for compressive resistance, the maximum compressive resistance was for alumina - supported (B₁) sample 51.29 MPa. The Hardness was increased by increasing reinforcement with a maximum value of 94.5 Hs.

Keywords: Composite materials, Polymer Mixture, Mechanical Properties.