Effect of Mixing Ratio and the Addition Ration of Magnesium Oxide on the Properties of The Rigid Polyurethane Foam in Open Medium

Roya Noman *

(Received 7 / 7 / 2025. Accepted 15 / 9 / 2025)

□ ABSTRACT □

The quality of polyurethane foam products is affected by several factors, such as the mixing ratio of the polyurethane mixture and the proportion of additives. This study investigated the effect of varying the mixing ratio of polyol and isocyanate on the density of the final product, and monitored the changes in the overall shape of the cells with varying mixing ratios. The effect of the added percentage of magnesium oxide on the internal structure of the product (at each mixing ratio) was also studied, as was its density and compressive strength.

The results showed that high percentages of isocyanate (80%) are detrimental to the final product and make the structure rigid and lumpy. Increasing the percentage of polyol increases the cell dimensions, while balanced percentages of both allow for a structure with somewhat uniform cells. Experiments have shown that adding magnesium oxide increases the product height during foam formation and reduces the cell dimensions within the structure. However, it is associated with the formation of internal defects in the form of gaps that reduce the product density compared to pure polyurethane. The addition of magnesium oxide at a rate of (5%) at a mixing ratio of (60/40) achieved the highest compressive strength value.

Keywords: Rigid polyurethane, Magnesium oxide, Density, Compressive strength.

Copyright **:**Latakia University journal (Formerly Tishreen) -Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **PHD, Materials science, Dept. of design and production Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Lattakia University (Formerly Tishreen); Lattakia; Syria. Roya.noman@tishreen.edu.sy**

تأثير نسبة الخلط ونسبة الإضافة من أكسيد المغنزيوم على خواص رغاوي البولي أوريثان القاسي في وسط مفتوح

رؤيا نعمان*

(تاريخ الإيداع 7 / 7 / 2025. قُبِل للنشر في 15 / 9 / 2025)

□ ملخّص □

تتأثر جودة منتجات رغاوي البولي أوريثان بعدة عوامل كنسبة خلط المزيج المكون للبولي أوريثان ونسبة المواد المضافة لها. تم في هذا البحث دراسة تأثير تغير نسبة الخلط من البولي يول و الايزوسيانات على كثافة المنتج النهائي، ورصد التغيرات الحاصلة في الشكل العام للخلايا بتغير نسبة الخلط، كما تم دراسة تأثير النسبة المضافة من أكسيد المغنزيوم على البنية الداخلية للمنتج (عند كل نسبة خلط) بالإضافة لكثافته ومقاومته للضغط.

بينت النتائج أنّ النسب العالية من الايزوسيانات (80%) تسيء للمنتج النهائي وتجعل البنية صلبة متكتلة، وزيادة نسبة البولي يول تزيد من أبعاد الخلايا، بينما تسمح النسب المتوازنة منهما بالحصول على بنية ذات خلايا متناسقة نوعاً ما. أظهرت التجارب أن إضافة أكسيد المغنزيوم تزيد من ارتفاع المنتج أثناء تشكيل الرغوة، وتقلل من أبعاد الخلايا ضمن البنية، إلا أنها تترافق مع تشكل عيوب داخلية على شكل فجوات تقلل من كثافة المنتج مقارنةً بالبولي أوريثان الصافي. حققت إضافة أكسيد المغنزيوم بنسبة (5%) عند نسبة خلط (40/60) أعلى قيمة لمقاومة الضغط.

الكلمات المفتاحية: البولي أوريثان القاسي، أكسيد المغنزيوم، الكثافة، مقاومة الضغط.

حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* دكتوراه – علم المواد وهندستها – قسم هندسة التصميم والإنتاج- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)- اللاذقية-سورية.Roya.noman@tishreen.edu.sy

مقدمة:

تشغل منتجات البولي أوريثان الرغوي مكانة هامة في الحياة الصناعية في وقتنا المعاصر لاسيما في مجال العزل الحراري والصوتي ويعود السبب إلى البنية الفراغية الخلوية التي تكسبها مواصفات تميزها عن الكثير من المواد البوليمرية الأخرى، وتتشكل البينة الفراغية الخلوية لمادة البولي أوريثان عادة من خلال تفاعل مادتي الايزوسيانات مع البولي يول وينطلق نتيجة لهذا التفاعل غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الذي يعمل على تشكيل الفراغات الخلوية ضمن الخليط.

تضاف المالئات عادةً إلى البولي أوريثان على شكل دقائق أو بشكل نانوي لأهداف مختلفة منها تحسين الخواص الميكانيكية، زيادة الاستقرار الحراري، تخفيض قابلية الاحتراق وتحسين مقاومة المادة واستقرارها، وذلك نتيجةً للتغير الذي تحدثه في البنية الداخلية للمنتج فعلى سبيل المثال لا الحصر بيّنت الدراسات أن استخدام أكسيد النحاس مع البولي أوريثان بنسبة (2%) أدى لتخفيض حجم الخلايا وزيادة سماكة الجدران وتحسين الخواص الميكانيكية للمادة [1]، في حين أدت إضافة أكسيد الزنك ومزجه مع البولي يول إلى تخفيض حجم الخلايا وزيادة الكثافة بزيادة النسبة المضافة وأصبح التركيب الداخلي للبنية ذو خلايا مفتوحة (open cell structure) [2]، كما أدت إضافة أكسيد الزنك بنسبة (5%) إلى زيادة في حجم الخلايا وقطر الفجوات المتشكلة في البنية، وبالمثل أدت إضافة نفس النسبة من أكسيد المغنزيوم إلى انخفاض الكثافة وزيادة في حجم الفجوات المتشكلة ضمن البنية [3]، بينما تبين وجود ضرر في بنية الخلايا وانخفاض في صلابة البولي أوريثان بزيادة المحتوى من مادة أكسيد الألمنيوم[4].

تؤثر نسب الخلط المشكلة للرغوة على نوعية منتج البولي أوريثان، فعلى الرغم من أن الكثير من المعامل المنتجة للمواد الأولية تحدد هذه النسب إلا أنه من الملاحظ تجريبياً أن هذه المواد تقبل العديد من نسب المزج المختلفة المحققة لخليط رغوي قابل للانتفاخ ولذلك تهدف هذه الدراسة في أحد جوانبها إلى دراسة أثر تغير نسبة خليط الايزوسيانات مع البولي يول على كثافة المنتج النهائي وعلى البنية الداخلية للخلايا.

من ناحية أخرى يصنف أكسيد المغنزيوم كأحد الإضافات الهامة من بين العديد من العوامل التي يمكن أن تؤثر على خواص البولي أوريثان، سواء في تحسين الأداء الميكانيكي للمادة أو تحسين التوزع الداخلي للمكونات، مما يعزز من تماسك المادة ويزيد صلابتها، الأمر الذي يجعل منه خياراً شائعاً في التطبيقات التي تتطلب مقاومة عالية للضغط، في هذه الدراسة سنستعرض أيضاً تأثير أكسيد المغنزيوم عند النسب (2%,5%) على البنية المجهرية البولي أوريثان القاسي وكثافة المادة الناتجة ومقاومتها للضغط.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في دراسة بعض العوامل المؤثرة على جودة منتجات البولي أوريثان القاسي المحضرة في وسط مفتوح ولذلك يتمثل هدف البحث في:

- رصد التغير في الشكل العام للخلايا المتشكلة بتغير نسبة الخليط من البولي يول و الايزوسيانات.
- دراسة تأثير نسبة الإضافة % (5-2) من أكسيد المغنزيوم على البنية الداخلية للمنتج عند كل نسبة خلط.
- دراسة تأثير تغير نسبة الخليط ونسبة المادة المضافة على كثافة المنتج النهائي ومقاومته للضغط.

طرائق البحث ومواده:

- **طرق تحضير العينات:**

لتحضير عينات الاختبار تم مزج الايزوسيانات مع البولي يول بنسب مزج مختلفة وذلك لتحديد نسب الخلط التي تعطي انتفاخ وتصلب جيد وتراوحت نسب الخلط بين %(50/50، 60/40، 70/30، 80/20).

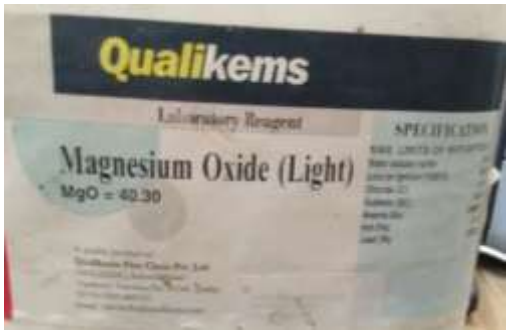
تم أخذ نسبة وزنية (20 g) من مجال النسب السابقة مع التحريك بواسطة ملعقة حتى تكون المستحلب و حدوث التغير اللوني في المزيج وتشكل فقاعات، بعدها بدأ المزيج بالانتفاخ مع ارتفاع سطحه العلوي على شكل قبة حتى انتهاء الانتفاخ، تم التحقق من انتهاء زمن الانتفاخ بلمس الخليط بواسطة ملعقة زجاجية دون تشكل ألياف متبقية عليها. من اللحظة التي يبقى فيها حجم المزيج ثابتاً تبدأ عملية التصلب حتى بلوغه صفاته الفيزيائية النهائية، الشكل(1) يوضح عمليات المزج والنفخ والتصلب الحاصلة.

الشكل (1). عملية المزج والانتفاخ والتصلب للبولي أوريثان في وسط مفتوح[5].

في العينات التي أضيف إليها النسب (5%,2%) من أكسيد المغنزيوم تم مزج الأكسيد مع البولي يول أولاً حتى تمام التجانس، ثم أضيفت النسبة الموافقة من الايزوسيانات وفقاً لما تم ذكره سابقاً.

- **المواد والتجهيزات المستخدمة :**

❖ أكسيد المغنزيوم : تم استخدام أكسيد المغنزيوم المعروف باسم (Magnesium oxide, light)، المادة ذات نقاوة99.9% ، قطر الحبيبات (1–5 micron)، تتوفر في السوق المحلية بشكل عبوات من انتاج شركة (Qualikems) موضحة بالشكل(2).



الشكل (2). مادة أكسيد المغنزيوم المستخدمة في البحث

❖ البولي يول: تم استخدام مادة البولي يول المحضرة من قبل شركة (Convestro) والمتوفرة في السوق المحلية بشكل عبوات موضحة بالشكل (3)، وهو عبارة عن سائل لزج شفاف عديم اللون له لزوجة (550–750MPa) في الدرجة (25℃) ، قيمة PH تتراوح (5–7)، محتوى الماء% (≤ 0.05)، قيمة الحمض (mg KOH/G) 0.05.

الشكل (3). مادة البولي يول المستخدمة في البحث

❖ الايزوسيانات: تم استخدام مادة الايزوسيانات نوع (Desmodur 44V20L) المحضرة من قبل شركة (Convestro) الألمانية والمتوفرة في السوق المحلية بشكل عبوات موضحة بالشكل (4)، وهي مادة سائلة بنية اللون داكنة لها لزوجة (160–140 mPa.s) وكثافة ($1.23\ g/cm^3$) في الدرجة (20℃)، ونسبة (50 ppm) من مادة (Phenylisocyanate)، معامل التمدد الحراري (coefficient of thermal expansion) ($6.59\ .10^{-4}$) K^{-1}.

الشكل(4). مادة الايزوسيانات المستخدمة في البحث

قياس الكثافة الظاهرية:

تم اقتطاع عينة مكعبة الشكل بأبعاد (25x25x25mm) من كل عينة محضرة سابقاً تبعاً للمواصفة القياسية (ASTM D1622/D1622M)، ثم تم حساب الحجم، كما تم قياس وزن العينة المقتطعة باستخدام ميزان دقيق (0.01g)، بعد ذلك تم حساب الكثافة الظاهرية باستخدام العلاقة : $\rho = g/\vartheta$ $[kg/\ Cm^3]$ حيث g : وزن العينة ، ϑ: حجم العينة.

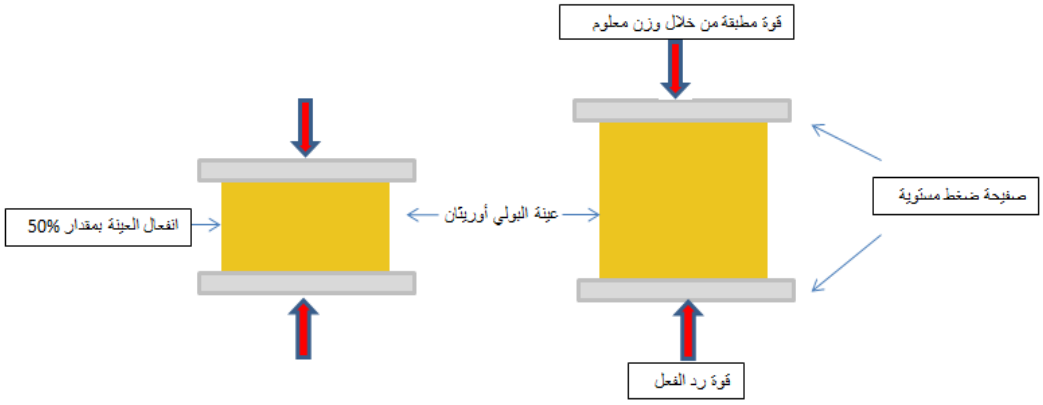
تحضير الشرائح للتصوير الميكروسكوبي:

تم أخذ طبقة رقيقة من كل عينة وتم تصويرها باستخدام مجهر الكتروني (Digital Microscope) موضح بالشكل (5)، قوة التكبير (500 X) ومسافة التركيز (15–40mm).

الشكل(5). الجهاز الميكروسكوبي المستخدم بقوة تكبير 500X

قياس مقاومة الضغط:

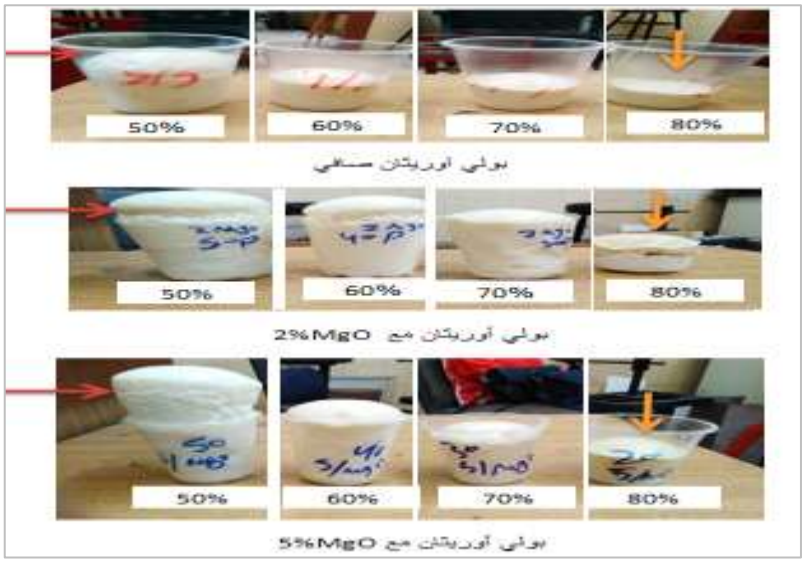
تم قياس مقاومة الضغط بطريقة تقليدية حيث تم اقتطاع عينات مكعبة الشكل بأبعاد (50X50X50mm) وفق نسب الخلط المختارة والتأكد من أن السطحين العلوي والسفلي مستويان لتوزيع الضغط بشكل متساوي. لتطبيق قوة الضغط تم وضع العينة المكعبة بين سطحين مستويين صلبين وتحميلها تدريجياً بأوزان معروفة لتجنب الكسر المفاجئ مع قياس الانضغاط باستخدام مسطرة مدرجة عند (50%) من سماكة العينة كما هو موضح بالشكل(6)، ثم حساب مقاومة الضغط بقسمة الوزن الكلي (N) على مساحة السطح المعرض للضغط (m^2).



الشكل (6). عينة البولي أوريثان وطريقة اختبار مقاومة الضغط.

النتائج والمناقشة:

يظهر الشكل(7) الصور الفوتوغرافية المأخوذة لعينات البولي أوريثان المحضرة بدلالة نسبة الايزوسيانات، وكما هو واضح من الشكل(7) اختلاف نسبة انتفاخ العينات بتغير نسبة الايزوسيانات والبولي يول في الخليط، حيث ينخفض ارتفاع سطح العينة (حوالي النصف تقريباً) عند رفع نسبة الايزوسيانات إلى(80%)، من جهة أخرى يلاحظ أن إضافة أكسيد المغنزيوم سببت زيادة كبيرة في حجم الانتفاخ (الترغية) الحاصل في العينات مقارنة بالعينات المحضرة من البولي أوريثان الصافي.



الشكل (7). عينات البولي أوريثان بدلالة نسبة الايزوسيانات في الخليط

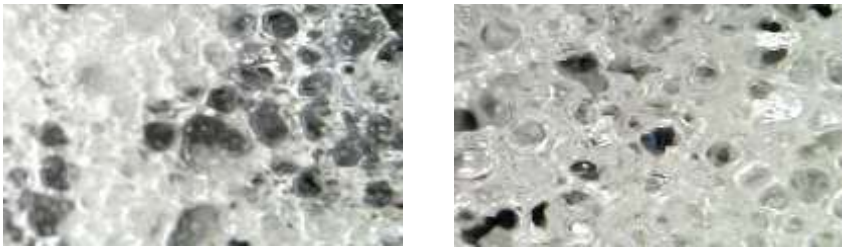
يظهر من الشكل (8) بنية العينة الحاوية على (80%) ايزوسيانات (مع / بدون) إضافة (MgO) وقد أظهرت التجربة أن البنية الناتجة قاسية متكتلة قابلة للتفتت بسهولة.

الشكل(8). عينات البولي أوريثان مع نسبة خلط تحوي 80% ايزوسيانات.

تتكون مادة البولي أوريثان بشكل أساسي من بنية ثنائية الطور تتألف من مقاطع لينة (soft segments) ومقاطع خشنة (hard segments)، حيث يمكن اعتبار البولي أوريثان عبارة عن كوبوليمير متناوب بين المقاطع اللينة والقاسية والتي تتكرر بشكل كبير على طول السلسة في الجزيئة العملاقة. تعود البنية اللينة في البولي أوريثان بالأساس للبولي يول الذي يؤثر على خواص المرونة أو الخواص المطاطية للمادة، بينما تعتبر المقاطع القاسية الناتجة عن الايزوسيانات وهي المسؤولة عن تشكيل نقاط ارتباط فيزيائية ضمن السلسلة البوليمرية، هذه المقاطع بالمجمل تؤثر على الخواص النهائية للمنتج [6].

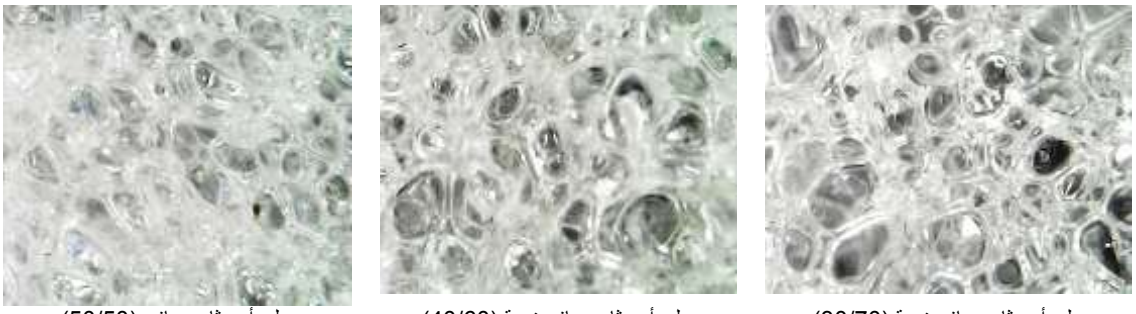
تعود الزيادة الحاصلة في حجم الترغية للبولي أوريثان للروابط الهيدروجينية الحاصلة بين أكسيد المغنزيوم ومجموعات (NH) من البولي أوريثان، فالبنية الناتجة في البولي أوريثان تعود أساساً للربط الهيدروجيني الحاصل بين مجموعات الهيدروكسيل (OH) من البولي يول و الايزوسيانات، وعند إضافة أكسيد المغنزيوم تقلل الروابط الهيدروجينية المتشكلة بين دقائق الأكسيد ومجموعات (NH) في البولي أوريثان من فرصة خلق نقاط ارتباط بين البولي يول و الايزوسيانات أي تقلل نقاط الربط الفيزيائية بين المقاطع اللينة والقاسية وبذلك يزداد عدد المقاطع الحرة في البينة ويزداد معها الحجم الحر في المزيج. تطابقت نتائج المعاينة البصرية للمزيج عند كافة نسب الخلط مع ما أشارت إليه الدراسة [7] حول ازدياد حجم الترغية عند إضافة أكسيد المغنزيوم للبولي أوريثان والتي بدورها فسرت زيادة الحجم بحدوث الفصل بين الأطوار واضعاف الارتباط بين المقاطع على طول سلسلة البوليمر مما يزيد من حركة السلاسل البوليمرية في المزيج.

تؤثر نسبة الخلط من الايزوسيانات والبولي يول بشكل كبير على استطالة الفراغات الخلوية في البنية المجهرية للبولي أوريثان خاصة في حالة الرغاوي، فعندما تزداد نسبة الايزوسيانات يزداد عدد الروابط المتقاطعة بين الجزيئات وينتج عنه بنية أكثر كثافة وأقل فراغات خلوية، هذا يقلل من استطالة الفراغات الخلوية ويجعل المنتج النهائي أكثر صلابة وهو ما تؤكده الصور الميكروسكوبية في الشكل(9) المأخوذة للعينات الحاوية على نسبة (80%) من الايزوسيانات.



الشكل (9). الصور الميكروسكوبية بتكبير (500X) لعينات البولي أوريثان الحاوي على نسبة (80%) ايزوسيانات

يظهر من الشكل(10) أن زيادة نسبة البولي يول تؤدي إلى زيادة حجم الفراغات الخلوية واستطالتها، حيث يوفر مرونة أكبر ويساهم في تشكيل فراغات أكبر، والنسب العالية من البولي يول يمكن أن تؤدي إلى انتاج رغاوي ذات فراغات كبيرة. فالتفاعل بين الايزوسيانات والبولي يول هو الذي يحدد كيفية تشكل الفراغات وأحجامها، وإذا كانت النسبة مضبوطة ومتوازنة بشكل جيد يمكن تحقيق خصائص جيدة من حيث الاستطالة والمرونة مع وجود فراغات خلوية مناسبة.



بولي أوريثان صافي نسبة (30/70) بولي أوريثان صافي نسبة (40/60) بولي أوريثان صافي (50/50)

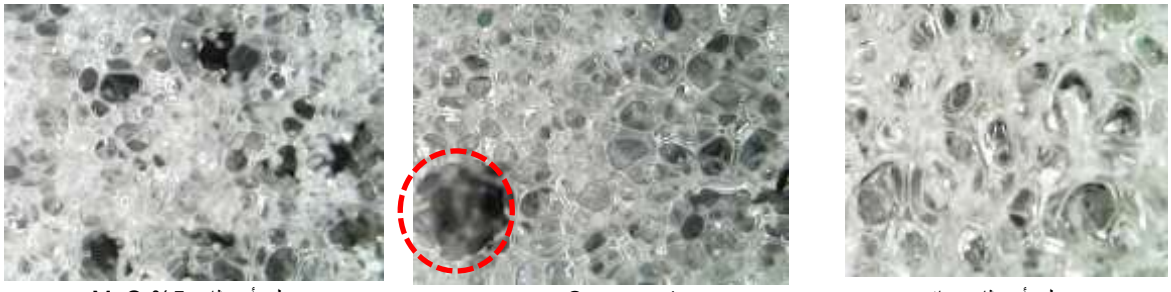
الشكل(10). الصور الميكروسكوبية بتكبير (500X) لعينات البولي أوريثان بدلالة نسبة الخلط من البولي يول و الايزوسيانات

تؤثر إضافة أكسيد المغنزيوم على حجم وشكل الفراغات الخلوية في بنية البولي أوريثان القاسي فالصور الميكروسكوبية للبنية الموضحة بالشكل(11) تظهر أن الفراغات الخلوية كثيفة ومتراصة وذات أحجام متجانسة نوعاً ما في عينات البولي أوريثان الصافي المحضر عند النسبة (50/50) من البولي يول و الايزوسيانات، بينما يقل حجمها بإضافة أكسيد المغنزيوم لتصبح صغيرة نسبياً عند إضافة (5%Mgo) مع ملاحظة وجود عيوب في البنية تتمثل بفجوات كبيرة الحجم نسبياً (أكبر بعدة مرات من حجم الخلايا المتماثلة الأحجام).

بولي أوريثان صافي (50/50) بولي أوريثان مع 2% MgO بولي أوريثان مع 5% MgO

الشكل (11) . الصور الميكروسكوبية بتكبير (500X) لعينات البولي أوريثان الحاوي على نسبة (50%) ايزوسيانات، نسبة أكسيد المغنزيوم المضافة(2%,5%)

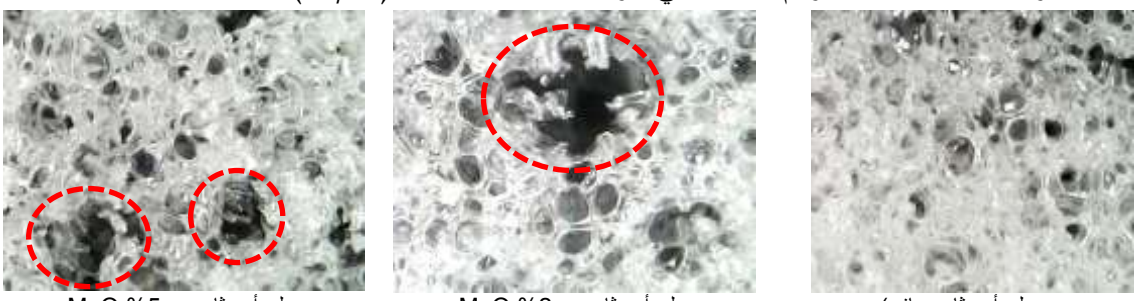
في العينات الحاوية على نسبة (60/40) من البولي يول والايزوسيانات والموضحة في الشكل(12) تظهر الفراغات الخلوية سليمة التكوين إلى حد ما ومتماثلة الأبعاد في حين يقل حجمها مع تشكل الفجوات في البنية عند إضافة أكسيد المغنزيوم بالنسب (2–5%).



بولي أوريثان صافي بولي أوريثان مع MgO %2 بولي أوريثان MgO %5

الشكل (12). الصور الميكروسكوبية بتكبير (500X) لعينات البولي أوريثان الحاوي على نسبة (60%) ايزوسيانات، نسبة أكسيد المغنزيوم المضافة(2%,5%)

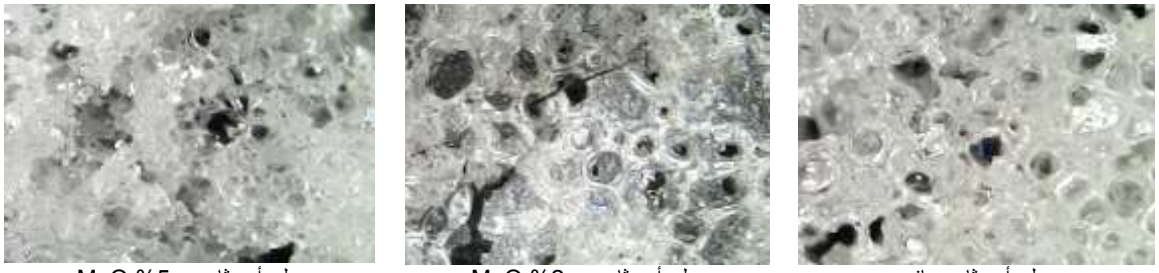
تظهر الصور الميكروسكوبية في الشكل(13) نمو كبير للعيوب مع حدوث تشابك غير منتظم في النسيج الخلوي بزيادة نسبة الايزوسيانات وأكسيد المغنزيوم لعينة البولي أوريثان ذات نسبة الخليط (70/30).



بولي أوريثان صافي) بولي أوريثان مع MgO %2 بولي أوريثان مع MgO %5

الشكل (13). الصور الميكروسكوبية بتكبير (500X) لعينات البولي أوريثان الحاوي على نسبة (70%) ايزوسيانات، نسبة أكسيد المغنزيوم المضافة(2%,5%).

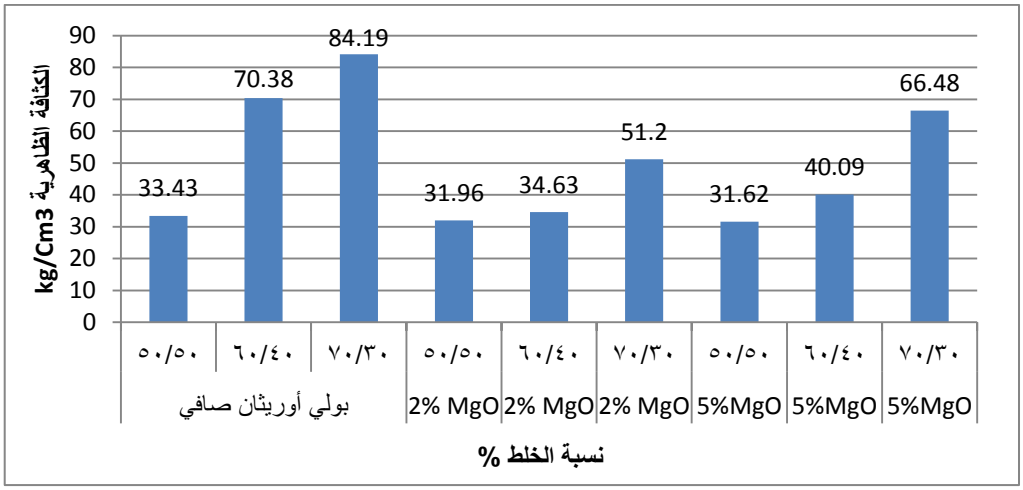
الصور المأخوذة للعينة الحاوية على % 80 ايزوسيانات في الشكل(14) تظهر تشوه وعدم انتظام في البنية، والجزء السليم من البنية المتشكلة ذو فراغات خلوية صغيرة نسبياً إنما البنية مشوهة وكثيرة العيوب الداخلية.



بولي أوريثان صافي بولي أوريثان مع MgO %2 بولي أوريثان مع MgO %5

الشكل (14). الصور الميكروسكوبية بتكبير (500X) لعينات البولي أوريثان الحاوي على نسبة (80%) ايزوسيانات، نسبة أكسيد المغنزيوم المضافة(2%,5%)

يظهر الشكل(15) المنحني البياني لنتائج قياس كثافة عينات البولي أوريثان بدلالة نسبة الايزوسيانات والبولي يول الداخلة في الخليط ونسبة أكسيد المغنزيوم المضافة.

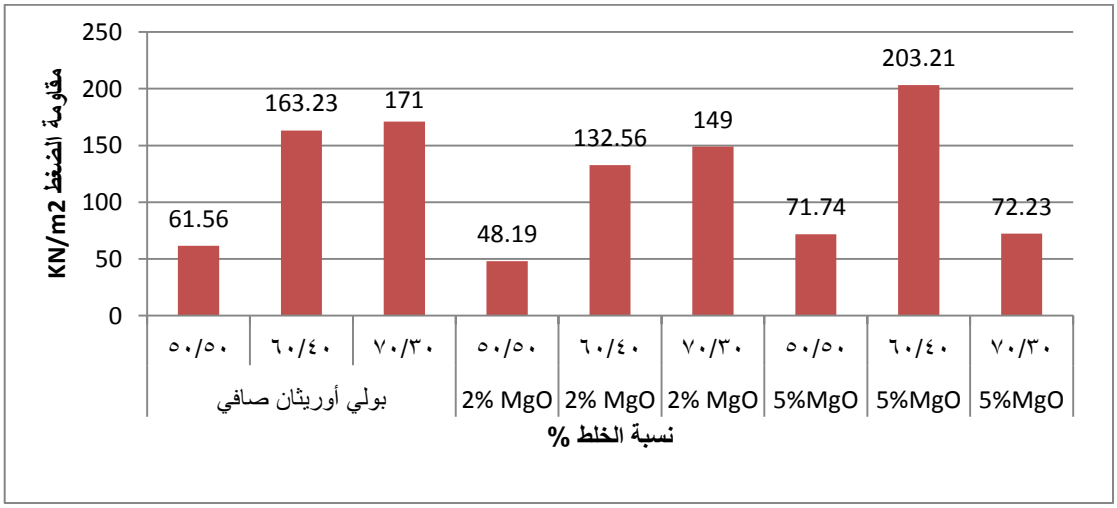


الشكل(15). المنحني البياني للكثافة الظاهرية لعينات البحث المحضرة وفق نسب الخلط المختارة

يلاحظ من الشكل(15) أن للبولي أوريثان الصافي كثافة ظاهرية أعلى مقارنة بالعينات المضاف إليها أكسيد المغنزيوم، من جهة أخرى يلاحظ أن زيادة نسبة الايزوسيانات في الخليط أدت إلى زيادة في الكثافة الظاهرية للعينات المحضرة كافة (مع/ بدون) إضافة أكسيد المغنزيوم. أشرنا سابقاً حول البنية المتكتلة للعينات الحاوية على (80%) ولذلك لم تتح الفرصة لأخذ قراءات لكثافتها.

بالنسبة للعينات الحاوية على أكسيد المغنزيوم يلاحظ أن العينات الحاوية على نسبة 5%MgO ذات كثافة أعلى من العينات الحاوية على 2%MgO حيث ازدادت كثافتها بنسبة 29.84% عند نسبة خلط (70:30). من الطبيعي أن تمتلك المادة كثافة ظاهرية أعلى عندما يكون حجم الفراغات الخلوية صغيرة والعكس صحيح. في حين يلاحظ انخفاض في الكثافة بنسبة (21.04% و 39.17%) عند إضافة (2%–5% MgO) مقارنة بعينة البولي أوريثان الصافي عند نفس نسبة الخلط، يمكن تبرير الانخفاض الحاصل في كثافة العينات الحاوية على أكسيد المغنزيوم مقارنة بالبولي أوريثان الصافي بوجود العيوب (الفجوات) المتشكلة في البنية والذي يتطابق مع ما أشارت إليه الدراسة [3] .

يظهر الشكل 16 المنحني البياني لمقاومة الضغط لعينات البحث المحضرة وفق نسب الخلط المختارة



الشكل (16). المنحني البياني لمقاومة الضغط لعينات البحث المحضرة وفق نسب الخلط المختارة

نلاحظ من الشكل(16) زيادة مقاومة الضغط بزيادة نسبة الايزوسيانات في خليط البولي أوريثان. تعزز مادة الايزوسيانات الروابط الكيميائية في المادة وتزيد من كثافتها، ومن المعروف أن زيادة الكثافة تؤدي إلى تحسين مقاومة الضغط للبولي أوريثان حيث تحوي المواد الأكثر كثافة على المزيد من الجزيئات في وحدة الحجم ما يزيد من تماسكها، من ناحية أخرى يلاحظ انخفاض في مقاومة العينات للضغط عند زيادة نسبة أكسيد المغنزيوم المضافة، وهذا الأمر غير متوقع اذ من المفترض أن تزيد مادة الإضافة من كثافة المادة ومقاومتها للضغط، لكن من خلال العودة للصور المجهرية يمكن تفسير الانخفاض الحاصل بتشكل الفجوات ضمن البنية، حيث يقلل ظهور الفجوات من التماسك بين الجزيئات ويسبب توزع غير متساوي للضغط مما يزيد من احتمالية حدوث نقاط الضعف في البنية ويجعل المادة أكثر قابلية للانضغاط ويقلل من مقاومتها العامة بالرغم من كثافتها. هذه النتيجة تشير إلى أهمية التحكم في عملية التصنيع ونسب الخلط.

يظهر من الشكل(16) أيضاً أن للعينة الحاوية على (5%MgO) عند نسبة خلط (60:40) مقاومة الضغط الأعلى مقارنة ببقية العينات، حيث ازدادت مقاومة الضغط بمقدار (53.32%) مقارنة بمثيلتها الحاوية على (2%MgO) وبمقدار (24.50%) مقارنة بمثيلتها من البولي أوريثان الصافي، وبالنظر إلى الصور المجهرية نلاحظ أن البنية ذات خلايا متناسقة وقطر الخلايا صغير والفجوات المتشكلة في البنية ذات أبعاد صغيرة مقارنة ببقية العينات.

يمكن القول أن أكسيد المغنزيوم يؤثر على كيفية تفاعل مكونات البولي أوريثان مع بعضها البعض والذي يؤثر بدوره على شكل وحجم الفراغات الخلوية وكثافة المنتج النهائي التي بدورها تؤثر في مقاومته للضغط، يعتمد هذا التأثير بشكل كبير على التركيز المستخدم من الأكسيد ونسبة خلط مكونات البولي أوريثان من البولي يول والايزوسيانات وطريقة التحضير لذلك من المهم اجراء تجارب محددة لتحديد التأثيرات الدقيقة في كل حالة سواء في وسط مفتوح أو في وسط مغلق.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- زيادة نسبة الايزوسيانات في خليط البولي أوريثان تنتج بنية أكثر كثافة وأقل فراغات خلوية، وتقلل من استطالة الفراغات الخلوية وتجعل المنتج أكثر صلابة.
- زيادة نسبة البولي يول في خليط البولي أوريثان تزيد من حجم الفراغات الخلوية وتنتج بنية أكثر مرونة.
- يؤثر أكسيد المغنزيوم على كيفية تفاعل مكونات البولي أوريثان مع بعضها البعض والذي يؤثر بدوره على البنية الداخلية للمنتج النهائي وكثافته.
- إضافة أكسيد المغنزيوم بنسبة (5%) سببت تشوهات في البنية على شكل فجوات.
- إضافة أكسيد المغنزيوم بنسبة (5%) عند نسبة خلط (60/40) حققت أعلى قيمة لمقاومة الضغط.

التوصيات:

- دراسة تأثير نسبة الخلط على خواص البولي أوريثان في وسط مغلق.
- دراسة تأثير النسب المضافة من أكسيد المغنزيوم على الاستقرار الحراري للمادة عند كل نسبة خلط.
- التحقق من تأثير النسبة MgO 5% على ثبات البنية والخواص مع الزمن، ومقاومة المادة للهب والاحتراق.

References:

[1] A. Díaz-Gomez ; M. Godoy; M.E. Berrio; J. Ramirez; A.F. Jaramillo; C. Medina; M. Montaño; M.F. Meléndrez, "Evaluation of the Mechanical and Fire Resistance Properties of Rigid Tannin Polyurethane Foams with Copper Oxide Nanoparticles", *Fibers Polymer*, 23,pp. 1797–1806, 2022.

[2]M.R. Chandan; K . Radhakrishnan; D.K. Bal; M. Rizwan; A.H .Shaik, "Flexible Polyurethane Foam-ZnO Nanocomposite for Photocatalytic Degradation of Textile Dye," *Fibers Polymer*, 21, pp. 2314–2320, 2020

[3]D.K Vo; T.D. Do; B.T. Nguyen; C.K. Tran; T.A. Nguyen; D.M. Nguyen; L.H. Pham; T.D. Nguyen; T.-D. Nguyen; D. Hoang, "Effect of metal oxide nanoparticles and aluminum hydroxide on the physicochemical properties and flame-retardant behavior of rigid polyurethane foam," *Construction. Build. Mater*, 356, 129268,2022.

[4]T. Khan; O.A. Aydın; V. Acar; M.R . Aydın; B .Hülagü; H. Bayrakçeken; M.Ö. Seydibeyo˘ glu; H. Akbulut, "Experimental Investigation of Mechanical and Modal Properties of Al2O3 Nanoparticle Reinforced Polyurethane Core Sandwich Structures," *Mater. Today Commun*, 24, 101233,2020.

[5]H. Wang; X. Yang; Y. Liu; L Lin, "Changes and Trends—Efficiency of Physical Blowing Agents in Polyurethane Foam Materials," *Materials*, 16, 3186, 2023.

[6]M. Azari; M. Sadeghi; M. Aroon; T. Matsuura, "Polyurethane Mixed Matrix Membranes for Gas Separation: A Systematic Study on Effect of SiO2/TiO2 Nanoparticles," *J. Membr. Sci. Res*, 5, pp. 33–43, 2019.

[7] J. Hornak; J. C˘ ernohous; P. Prosr; P. Rous; P. Trnka; A. Baran; Š. Hardo˘ n," A Comprehensive Study of Polyurethane Potting Compounds Doped with Magnesium Oxide Nanoparticles," *Polymers*. 15, 1532,2023. https://doi.org/10.339o/ polym15061532