

## توصيف وتوظيف المترابكات البوليمرية المحضرة من مزيج البوليمرات المعاد تدويرها ورمل السيليكا لتطبيقات بلاط الأرضيات المستدامة

نعيمة أحمد طيبة<sup>1</sup>، هناء عبد الوهاب جمهور\*<sup>2,1,3</sup>، أمال القارص سالم<sup>5</sup>، يقين عامر الشاوش<sup>1</sup>، الاء المبروك منصور<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>كلية التقنية الهندسية جنزور، قسم الهندسة الكيميائية والبيئية، شعبة الهندسة البيئية، جنزور، ليبيا

<sup>2</sup>المركز الليبي لبحوث اللدائن، طرابلس، ليبيا

<sup>3</sup>مكتب البحوث والاستشارات جامعة سرت، ليبيا، سرت

<sup>4</sup>المركز الليبي المهني التقني لبحوث اللحام

<sup>5</sup>المركز الليبي المتقدم للتقنية، طرابلس، ليبيا

\*[amnagred@gmail.com](mailto:amnagred@gmail.com) or [hanajamhour@prc.ly](mailto:hanajamhour@prc.ly) البريد الإلكتروني:

## Characterization and Utilization of Polymer Composites from Recycled Polymer Blends and Silica Sand for Sustainable Floor Tile Applications

Naima Ahmed Alsadiq Tbegha<sup>1</sup>, Hana Jamhour\*<sup>2,1,3</sup>, Amaal Alqaris Salim, Yaqeen Amer Al shawash,

Alaa Mabrouk Salm.

<sup>1</sup> Department of Chemical and Environment Engineering, Faculty of Engineering Technology, Janzour, Libya.

<sup>2</sup> Libyan Polymer Research Center, Tripoli, Libya

<sup>3</sup> Research and Consultancy Center, Sirte University

<sup>4</sup>Libyan Advanced Occupational Center for Welding Technologies, Tripoli, Libya

<sup>5</sup>Libyan Advanced Center for Technology, Tripoli, Libya

### الملخص

تأتي هذه الدراسة استجابةً للمخاوف البيئية المتزايدة واستنزاف الموارد الطبيعية، حيث تهدف إلى تعزيز مفهوم الاستدامة والاقتصاد الدائري عبر تطوير مواد بناء بديلة. يركز البحث على تصنيع واختبار مترابكات بوليمرية لاستخدامها كبلاط أرضيات، تعتمد على مصفوفة من البولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) مدعمة برمال سيليكا "العزيرية" وبوليمرات معاد تدويرها بنسب خلط مختلفة (C1, C2, C3, C4). أظهرت نتائج تحليل الأشعة تحت الحمراء (FT-IR) وجود تداخل فيزيائي جيد لرمال السيليكا داخل مصفوفة البوليمر دون حدوث تغيير جوهري في البنية الكيميائية، مع ظهور قمم امتصاص مميزة لروابط (C-H) الألفاتية واهتزازات الانثناء لروابط (Si-O-Si) ومن الناحية المورفولوجية، كشف الفحص المجهرى أن العينة (C3) المحتوية على السيليكا أظهرت توزيعاً منتظماً وروابط فيزيائية قوية مقارنة بالعينة (C2) التي ظهرت ببنية غير متجانسة نتيجة إضافة البوليمر المعاد تدويره. وعلى صعيد الخصائص الميكانيكية، كشفت اختبارات الشد عن تحول محوري في سلوك المادة من الحالة "المطلية" عالية الاستطالة في العينة المرجعية إلى السلوك "القصف (Brittle)" في العينات المركبة، حيث انخفضت الاستطالة لتتراوح بين (5% - 10%).

**الكلمات الدالة:** الاقتصاد الدائري، إعادة تدوير البوليمرات، تقنية التوصيف لبوليمرات، بلاط الأرضيات، رمال سيليكا العزيرية

---

## Abstract

This study is motivated by increasing environmental concerns and the depletion of natural resources, aiming to promote sustainability and the circular economy through the development of alternative construction materials. The research focuses on the fabrication and characterization of polymer composites intended for use as flooring tiles. These composites are based on a high-density polyethylene (HDPE) matrix reinforced with “Al-Azizia” silica sand and recycled polymers at different mixing ratios (C1, C2, C3, and C4).

Fourier Transform Infrared (FT-IR) analysis revealed effective physical interaction between the silica sand and the polymer matrix without significant alteration to the chemical structure. Characteristic absorption peaks corresponding to aliphatic (C–H) bonds and bending vibrations of (Si–O–Si) bonds were observed. Morphological examination further indicated that sample C3, containing silica, exhibited a more uniform distribution and stronger interfacial bonding compared to sample C2, which showed a heterogeneous structure due to the incorporation of recycled polymer.

In terms of mechanical properties, tensile testing demonstrated a significant transition in material behavior from the highly ductile nature of the reference sample to a brittle behavior in the composite samples. The elongation at break decreased markedly, ranging between 5% and 10%. These findings highlight the potential of the developed composites as sustainable alternatives for flooring applications, while also emphasizing the influence of composition on structural and mechanical performance.

**Keywords:** Circular economy, polymer recycling, polymer characterization technology, floor tiles, Al Azizia Silica sand.

---

## المقدمة

تستخدم المواد البلاستيكية على نطاق واسع في المنازل والصناعات المختلفة كصناعة السيارات و في مجال البناء لتحل محل العديد من المنتجات التقليدية ورغم الجهود المبذولة للحد من المشكلة لا يزال استخدام البلاستيك مستمرا نظرا لتطبيقاته الواسعة وخصائصه المفيدة وقد ازداد انتاج البلاستيك العالمي بشكل ملحوظ ويستخدم جزء كبير منه في التغليف، تشكل النفايات البلاستيكية ما بين 8-12% من النفايات البلدية لأغلب دول العالم، ففي استراليا وحدها مثلا يتم توليد 190 مليون طن سنويا والتي شكلت حوالي 16% من النفايات حتى عام 2008 [1].

ساهم النمو السكاني المتسارع و التوسع الحضري و التصنيع الى ارتفاع مستويات الاستهلاك و من الاسباب و النتائج في زيادة معدل توليد النفايات الصلبة و خاصة البلاستيك و لأن البلاستيك من المواد سهلة التشكيل بصور مختلفة ، فهو يتكون في الأساس من سلاسل تسمى البوليمرات فمن عصر الفحم الحجري إلى عصر الذهب الأسود (البتروال) والذي ساهم بدوره في ظهور صناعات جديدة وكثيرة تطورت بمرور الزمن ، وبالتالي ظهرت الصناعات البلاستيكية وازدهرت وأصبحت تحتل الصدارة بالنسبة للصناعات الحالية ، نظراً لاستخداماتها العديدة في الحياة اليومية. وتعود أهمية البلاستيك إلى إمكانية توفيره والقدرة على إعادة تدوير عدة أنواع من البلاستيك التقليدي

إن الكميات المنتجة يجب أن يمنع إلقائها في الطبيعة مثلها مثل المواد الخطرة كالنفايات النووية في انتظار إيجاد حلول تقنية مناسبة [2].

إن المنتجات التي تعتمد على مبدأ الاستدامة البيئية تعتمد بشكل أساسي على الموارد الطبيعية، وفي هذه الدراسة سنتناول كيفية تدوير مادة البلاستيك الأولية المعاد تدويرها واستخدامه في تصنيع بلاط مستدام وصديق للبيئة

## 1. أهمية الدراسة

تتمين النفايات البلاستيكية واتباع نهج فعال لإدارة النفايات البلاستيكية بطريقة صديقة للبيئة وتطوير طرق إعادة التدوير أحد أكثر المتطلبات الحاحا للتغلب على عبئ النفايات البلاستيكية في جميع انحاء العالم وليبيا خاصة، تكمن أهمية هذا البحث في تطوير منتجات ذات قيمة مضافة من خلال تطوير خصائص تدوير) خلائط النفايات البلاستيكية لاستخدامها في عينات بلاط الارضيات. والتي تشمل البولي ايثيلين (PE) منخفض وعالي الكثافة والبولي ايثيلين تيريفثالات PET وايضا نفايات (PVC) كمواد أساسية ورابطة مع حشوة رمال السليكا مما يمهد لإنتاج مواد بناء مستدامة وصديقة للبيئة ذات خصائص ميكانيكية وحرارية وفيزيائية محسنة ومتطورة.

## 2. الدراسات السابقة

درس (Ramatai Somwanshi 2021) و آخرون إنتاج بلاط ارضي باستخدام نفايات البلاستيك بخصائص مختلفة مع رماد الفحم دون استخدام الاسمنت وقرانه ببلاط الاسمنت التقليدي من حيث الخصائص الفيزيائية والميكانيكية المختلفة، وأجريت اختبارات امتصاص الماء ومقاومة الانحناء ومقاومة التآكل وفقا للمواصفات القياسية للهند وقد اظهرت النتائج المتحصل عليها تفوقا ملحوظا على البلاط التقليدي بحسب النتائج وقد كانت نسبة المواد المضافة البلاستيكية المألثة حوالي 15% [3].

في دراسة أخرى قام بها (Mr. R Mohammed Ashick و آخرون 2024) لإنتاج بلاط من نفايات البلاستيك الغير قابل للتحلل شملت جمع نفايات بلاستيك PET و تقطيعها الى جزيئات صغيرة و خلط راتنج الإيبوكسي مع البلاستيك و ضغط الخليط في القالب لتشكيل البلاط وجدت أن تكلفة تصنيع ذلك البلاط البلاستيكي أقل نسبيا من البلاط العادي كما انه كان صديق للبيئة وذلك من خلال نتائج تقييم الخصائص الفيزيائية والميكانيكية المختلفة لذلك البلاط. حيث أوضحت اختبارات مثل اختبار امتصاص الماء والمقاومة العرضية ومقاومة الصدمات والصلابة ومقاومة التآكل وفقا للمواصفات الدولية القياسية ISO المتعارف عليها للبلاط انه أفضل من بلاط الاسمنت العادي وان مقاومته أعلى بحوالي 40% من البلاط العادي [4].

كما أنه قد قام كلا من (Adam W. Ahmed, and Fawzi H Jabrail 2024) بإعادة التدوير المباشر للنفايات البلاستيكية دون تحويل كيميائي باستخدام التقطيع الميكانيكي والكبس الحراري وتركز الهدف الرئيسي لهذا البحث على تصنيع بلاط البناء وقد تم في هذه الدراسة استخدام سبعة انواع من النفايات البلاستيكية وهي HDPE , LDPE , PP , PS , PVC , PET , PC واستخدم في الدراسة قالب من الفولاذ المقاوم للصدأ حيث تم تعبئة 250 غرام من نسب اوزان مختلفة من النفايات البلاستيكية المطحونة وتسخينها لمدة 30 دقيقة عند درجة حرارة 170 درجة مئوية ثم ضغطها داخل المكبس بضغط 5 اطنان / بوصة مربعة ( 44.2 ميغا باسك خلال فترة زمنية تراوحت حوالي 5 دقائق ثم برد البلاط المنتج تدريجيا داخل قابله حتى وصلت الحرارة الي 50 درجة مئوية ) أجريت بعد ذلك الاختبارات الميكانيكية المختلفة حيث اظهرت النتائج ارتفاعا وتحسنا في الخصائص الميكانيكية لتكوين من الخلائط البلاستيكية حيث بلغت قوة الضغط 17.0 ميغا باسكال للبلاطة المربعة و 17.4 ميغا باسكال للبلاطة الدائرية مما يعني ان شكل البلاطة يلعب دورا مهما في قوتها وبالمثل كانت اختبارات الشد .

كما أظهرت النتائج ارتفاعاً في نسبة الاستطالة للعينات التي احتوت على PVC بقيم بلغت 3.4 ميغا باسكال و2% وكانت نسبة الصلابة للبلاطة HRR=95 حيث تشير الأرقام الكبيرة إلى مواد عالية الصلابة كما أظهر اختبار الصدم أن أحد العينات لديها طاقة صدم تبلغ 2.421 كجم / متر وصلابة تبلغ 2.968 كجم. متر لكل سم<sup>2</sup> وبهذا أوضحت جميع القيم الميكانيكية السابقة أن البلاط البلاستيكي صالح كبديل محسن وحديث لمواد البناء التقليدية [5].

#### 4. الجانب العملي

##### 4.1 المواد المستخدمة:

تم استخدام المواد التالية في إجراء التجارب العملية

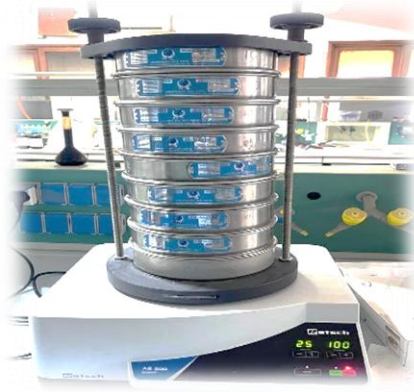
##### • الرمل الطبيعي (Silica Sand)

تم استخدام رمل طبيعي غني بالسيليكا، مصدره منطقة العزيرية (Aziziya Sand)، يُعد رمل العزيرية من الرمال الطبيعية المنتشرة في منطقة العزيرية الواقعة شمال غرب ليبيا، وهي منطقة معروفة بتكويناتها الرسوبية الرملية. ينشأ هذا الرمل نتيجة عمليات جيولوجية طبيعية طويلة الأمد، تشمل تعرية الصخور وتفككها بفعل العوامل الجوية المختلفة، مما أدى إلى تراكمه كرواسب سطحية. يتراوح لون رمل العزيرية بين الأصفر الفاتح واللون الرملي الباهت، وهو لون طبيعي ناتج عن طبيعة المعادن المكونة له. ويُصنّف هذا الرمل كرمل طبيعي غير مصنع، حيث يُستخرج مباشرة من الطبيعة ثم يُجهّز لاحقاً بعمليات الغسل والغرلة قبل استخدامه في التطبيقات الهندسية. تتميز حبيبات الرمل بأنها ناعمة إلى متوسطة الحجم، مع تدرج حبيبي متوسط، الأمر الذي يساهم في تحسين توزيع الحبيبات داخل الخلطات الخرسانية ويعزز من تماسكها. كما أن شكل الحبيبات شبه مستدير، مما يساعد على سهولة التشغيل وتحسين قابلية الدمك وتقليل الفراغات داخل الخرسانة. يُعدّ ثاني أكسيد السيليكون (SiO<sub>2</sub>) المكوّن الأساسي لرمل العزيرية، حيث تتراوح نسبته تقريباً بين 85% و95%، مما يدل على نقاوته النسبية وصلاحيته للاستخدام في أغراض البناء. ومع ذلك، يحتوي الرمل في حالته الطبيعية على بعض الشوائب مثل الطمي والغبار والمواد الدقيقة، والتي قد تؤثر سلباً على جودة الخرسانة إذا لم تتم إزالتها.

تتراوح نسبة المواد الناعمة جداً في هذا الرمل بين المنخفضة والمتوسطة، وهي نسبة مقبولة هندسياً، إذ إن الزيادة المفرطة في هذه المواد قد تؤدي إلى انخفاض مقاومة الخرسانة. لذلك، يُنصح بإخضاع رمل العزيرية لعمليات الغسل والغرلة قبل استخدامه في الخرسانة أو اللياسة، وذلك لتحسين خواصه وضمان جودة المنتج النهائي. بعد المعالجة والفحص، يصبح رمل العزيرية صالحاً للاستخدام في أعمال البناء والخرسانة، ويمكن أن يتوافق مع المواصفات القياسية العالمية المعتمدة مثل ASTM و BS [6].

حيث تم غسله عدت مرات بالماء المقطر ومن ثم تجفّفه عند 100 درجة مئوية بفرن التجفيف نوع (Model;SWOF-) (W105, Witeg Lab ortechnlk GmbH) ثم مرر على عدد من المناخل ذات الأرقام (300, 212, 150, 106,75,53) وميكرن طبقاً لمواصفة البريطانية رقم (ISO3310-1-2000).

واستخدم لذلك جهاز التنخيل نوع (Retch AB200) للحصول على حجم حبيبات 150 ميكرن في زمن ربع ساعة وبقدرة اهتزاز 70 دورة لكل دقيقة كما هو موضحاً بشكل رقم (1).



شكل 1: عملية نخل رمال العزيرية

#### • البلاستيك المعاد تدويره

تم استخدام بلاستيك معاد تدويره بعد جمعه وتنظيفه ومعالجته، وذلك بهدف الاستفادة من المخلفات البلاستيكية وتقليل الأثر البيئي، واستخدامه كمادة مضافة في الخلطة وكان عبارة عن خليط من بولي إيثيلين عالي ومنخفض الكثافة والمطاط والبولي فثيل كلوريد كما يظهر من خلال ألوانه المختلفة في شكل رقم (2).



شكل 2: البلاستيك المعاد تدويره.

#### • البولي إيثيلين عالي الكثافة (High Density Polyethylene – HDPE)

تم استخدام بولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) المنتج من مصنع راس لانوف لما يتميز به من مقاومة ميكانيكية جيدة وثبات كيميائي وتوضح خصائصه بجدول رقم (3)، حيث تم تكسير مكورات المادة الخام وتقليل حجمها الى حجم 1.5 مم بواسطة آلة الفرم نوع (Retsch ZM200) ومعالجته بالشكل المناسب ليتلاءم مع متطلبات التجربة.



شكل 3: بولي إيثيلين عالي الكثافة.

جدول 1: خصائص مادة البولي إيثيلين عالي الكثافة المستخدمة بالبحث (منتج محلي لراس لانوف).

الخصائص	HDPE
<i>Density/g.cm<sup>3</sup></i> الكثافة	0.918-0.922
<i>Melt flow index dg/min</i> معامل الانسياب	0.8-1.2
<i>Tensile strength/MPa</i> اجهاد الخضوع	34/26 (D882)
<i>Ultimate Tensile strength/MPa</i> اقصى اجهاد	21 (D638)
<i>Elongation</i> الاستطالة	550/700% (D882)

#### 4.2. تحضير وتجهيز المواد المركبة أو المترابطة لاختبارات

لتحضير المواد المركبة تم مزج خلانط البلاستيك مع بولي إيثيلين عالي الكثافة ورمال العزيرية المغرولة يدويا أولا حيث وضعت كل عينة في وعاء خاص لضمان عدم حدوث تداخل العينات وضمان تجانس الخلط وتحسين خواص المنتج النهائي وفق نسب وزنية محددة وجهزت أربع خلطات مختلفة بمعدل 5 عينات للخلطة الواحدة كما يوضح الجدول الآتي:

جدول 2: يبين خصائص النسب الوزنية لمتراكبات او المواد المركبة من البوليمرات المعادة التدوير.

الخلطة	النسبة الوزنية لي البولي ايثلين HDPE Wt. %	النسبة الوزنية البوليمر المعاد التدوير PVC+LDPE+HDPE+RUBBER+TTFLT Wt. %	النسبة الوزنية لرمل العزيرية SiO <sub>2</sub> Wt. %
C1	40	0	80
C2	20	20	80
C3	80	0	40
C4	100	0	0

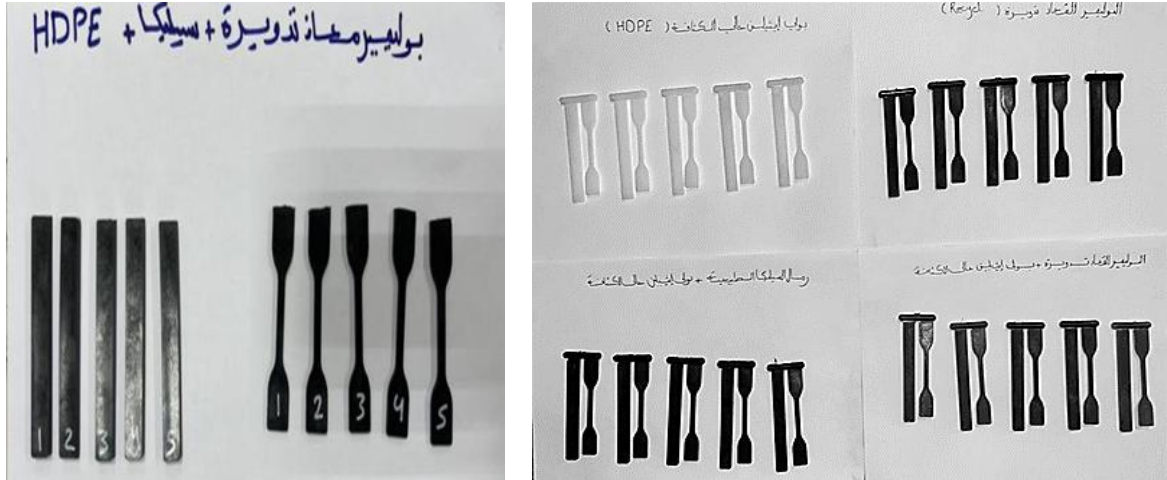
ثم تمت عملية الخلط الالي بعد ذلك او ما يعرف بالتشكيل بالبتق حيث استخدام جهاز بثق الحراري نوع (HAAK MiniCTW) ثنائي الأقطاب لخلط المكونات لكل عينة على حدي مما يؤدي الي حصول تجانس بين المواد وينتج عنه خيط بلاستيك رفيع خاص لكل عينة.

وتم البثق عند درجة حرارة بلغت 180 م° وسرعة 25دورة / الدقيقة، ثم تم تقطيع الخيوط الي قطع صغيرة لاستخدامها من اجل التشكيل بالحقن للحصول على المواد المركبة أو ما يعرف بالمتراكبات

والتي تستخدم كنماذج لدراسة خصائص الطوب والحصول على أفضل نسب خلط مما يمهد لإنتاج طوب بمواصفات ذات جودة عالية صناعيا. بعد الانتهاء من عملية البثق وتقطيع الخيوط الناتجة الي قطع صغيره باستخدام مقص قاطع وذلك لتسهيل استخدامها في جهاز الحقن شكلت العينات النهائية باستخدام القولية في جهاز الحقن نوع (Xplore12ml) حيث وضعت القطع الصغيرة داخل الجهاز تم أجريت عملية التسخين عند رجة حرارة 180 م° مئوية والحقن عند ضغط 16 بار في قالب درجة حرارته 45 م° للحصول على عينات منتظمة بشكل عظمة الكلب وعينات بشكل مستطيل بأبعاد القالب وفق المواصفة القياسية ISO 179 ASTM527 الخاصة باختبارات الميكانيكية لشد والصدم ومواصفة ASTM D 2240 الصلادة كما تم تشكيل الأفلام باستخدام مكبس الهيدروليكي حيث تم وزن قطع البلاستيك المحضرة من الحقن بوزن 1.25 جرام لكل عينة ووضعها في المكبس عند ضغط 5 بار ودرجة حرارة 180 م° والشكل رقم (3.4) يبين صور العينات التي شكلت بالمركز الليبي لبحوث اللدائن .



شكل 4: شكل الخلطات بعد البثق (خيوط لمتراكبات او المواد المركبة).



شكل 5: شكل العينات بعد الحقن حيث استخدمت عينات عظمة الكلب لاختبار الشد .

#### 4.3. اختبارات التوصيف

##### 4.3.1. اختبار الأشعة تحت الحمراء (FT-IR) :-

أجري اختبار FTIR باستخدام جهاز Thermo Scientific Nicolet iS10 لتحديد الروابط الكيميائية والمجموعات الوظيفية للرمل و، والبولي إيثيلين HDPE وكذلك للعينات المركبة المكون من خلاط البوليمرات معادة التدوير مع الرمل وبدونه حسب الجدول 3.2 تم القياس باستخدام طريقة الانعكاس الكلي المخفف (ATR)، وكان شكل العينة أغشية رقيقة شكلت بعد عملية البثق بتقطيع الخيوط الى قطع صغيرة حيث تم وزن ما يعادل 1.35 جرام لتكوين الغشاء الواحد بسلك اقل من 0.5مم وقطر 10 مم و أجري تحليل FTIR عند أطوال موجية تتراوح بين 400 و4000 سم<sup>-1</sup> بمسح متدرج ودقة 4 سم<sup>-1</sup> لقياس نطاق امتصاص عينات المواد المركبة وقد اجري هذا الاختبار بالمركز الليبي لبحوث اللدائن .

##### 4.3.2. اختبار الفحص المجهرى (Optical Microscopy) :-

تم إجراء اختبار مورفولوجيا لبولي إيثيلين عالي الكثافة وكذلك للخلطات المكونة من البوليمرات معادة التدوير من اجل التأكد من تجانس الخلطات وتغلل رمل السليكا دخلها والمقارنة بين البنية المجهرية للخلطات من حيث التجنس وتوزيع المادة المألنة (رمل السليكا) حيث أجري الاختبار بمجهر الضوئي نوع (HST 402-AW made by Jinan Hensgrand instrument CO.;Ltd) واجري الاختبار بالمركز الليبي لبحوث اللدائن.

##### 4.3.3. التحليل الوزني الحراري (Thermal Decomposition analysis) :-

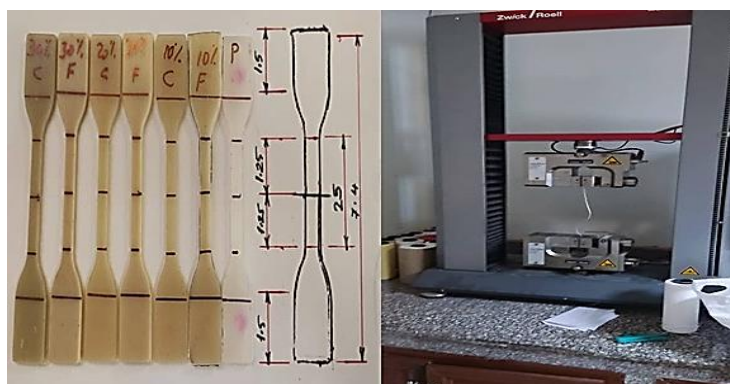
تم إجراء التحليل الحراري الوزني من أجل دراسة الثبات الحراري للعينات المركبة المحضرة باستخدام جهاز التحليل الحراري نوع Goloble mr (TGA101) -Solution BAXT للمواد المركبة ومقارنتها بخلطات مواد مرجعية الخالية من المادة المألنة

(رمل) حيث أُجري الاختبار عند درجات حرارة من 25 إلى 800 م° وبمعدل تسخين 10 م° / دقيقة في مع وجود النيتروجين. حيث تم الحصول على المنحنى الطبيعي ومنحنى مشتق لنتيجة التحليل الحراري الوزني للعينات وكان ذلك بالمركز الليبي لبحوث اللدائن.

#### 4.4. الاختبارات الميكانيكية

##### 4.1 اختبار الشد: -

تم تقييم خصائص الشد باستخدام جهاز اختبار الشد نوع أجري الاختبار وفقاً للمعيار ISO 527-2 بقدرة تحميل 50 كيلو نيوتن وسرعة رأس متحرك 10 مم/دقيقة. قُيست قوة عينات المجموعة المرجعية وعينات الخلائط من البوليمرات معادة التدوير مع الرمل للنسب الوزنية الأربعة السالفة الذكر حيث أُجري لعدد خمس تكرارات من كل نسبة خلط وأُجري القياس في درجة حرارة الغرفة بوضع العينة على سطح مستوي، ثم تطبيق حمل منتظم حتى كسرها. يمثل القياس بمقدار القوة المسلطة على العينة بمعدل معين مع مقدار التغير في الطول المسلط عليه التحميل حتى الكسر، والتي تُقاس مباشرةً بواسطة البرنامج المدمج في الجهاز كما هو موضح في الشكل (6).



شكل 6: يوضح كيفية تجهيز عينات لاختبار الشد.

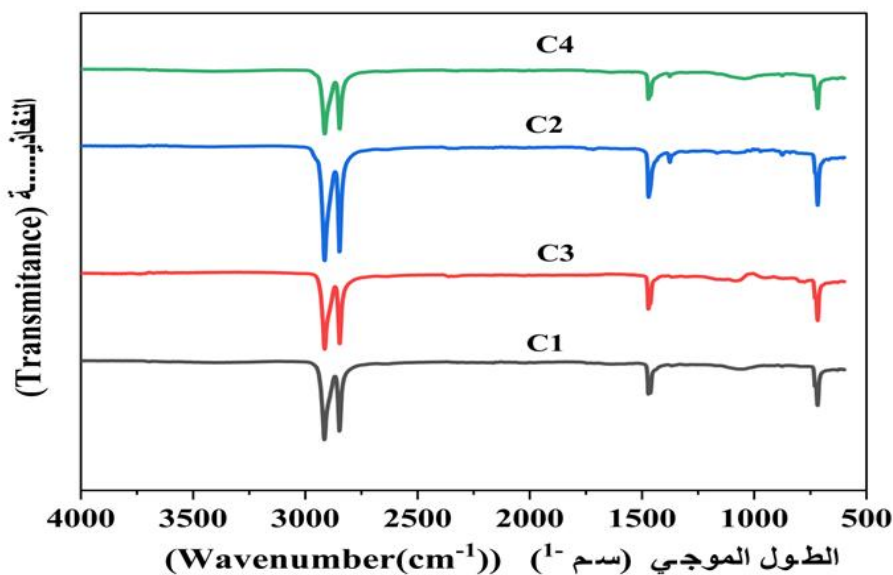
#### 5. النتائج والمناقشة

##### 5.1. اختبارات التوصيف

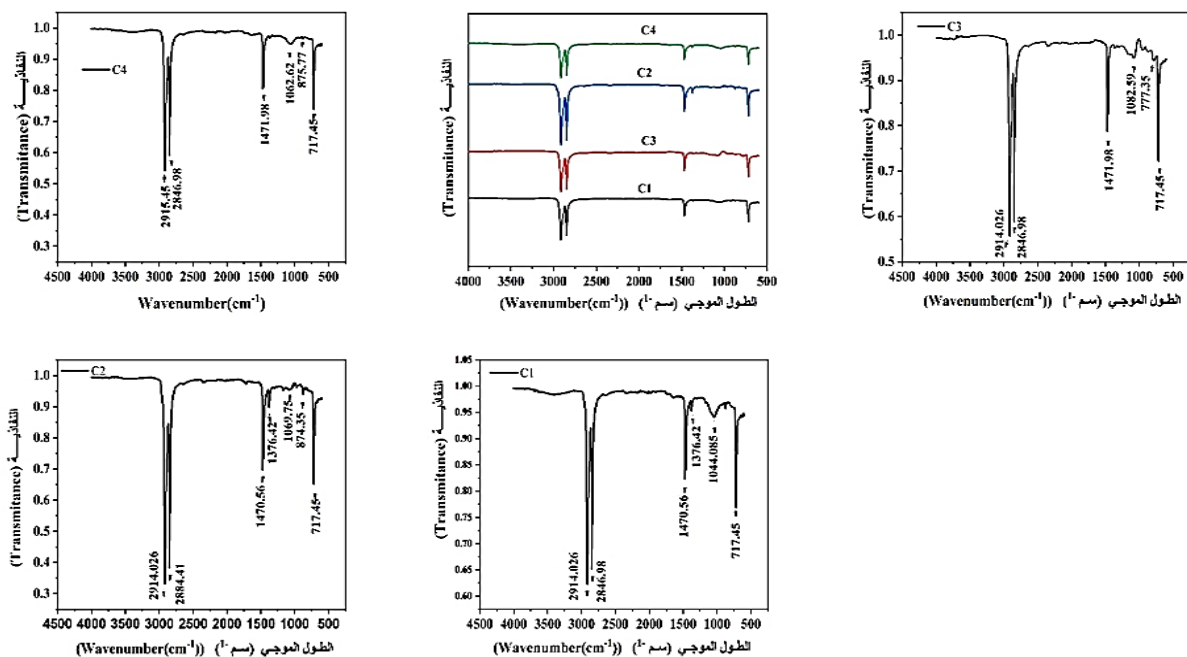
##### 5.1.1. نتائج اختبار الأشعة تحت الحمراء (FT-IR)

تمت دراسة أطياف الأشعة تحت الحمراء للخلطات المحضرة C1, C2, C3, C4 وبين الشكل (7) تداخل رمال السليكا العزيرية فيزيائياً داخل مصفوفة البوليمرات مما يدل على امتزاج جيد للسليكا وتظهر الأشعة تحت الحمراء ضمن مدى من 500 إلى 400 سم<sup>-1</sup> حيث تظهر جميع الأطياف قمم متقاربة من بعضها جداً خاصة عند المنطقة (2848.41 – 2915.49) والمرتبطة باهتزازات استطالة مجموعة C-H الألفانية، الخاصة ببوليمر البولي إيثيلين عالي الكثافة وكذلك تظهر اهتزازات مرتبطة بروابط CH<sub>2</sub> عند أطياف موجية 1470.56 - 1062.62 سم<sup>-1</sup> و اهتزازات الانثناء عند 717.54 و 875.77 سم<sup>-1</sup> وهي اهتزازات خاصة ببنية البولي إيثيلين عالي الكثافة وتمثل بنيته الهيكلية الكيميائية وباعتبار الخلطة رقم C4 هي خلطة المرجعية لطيف البولي

ايتلين فانه عند مقارنتها بباقي الخلطة فلا نلاحظ ذلك الاختلاف الكبير بخلاف ظهور قمم المجال 1100 1376.42 سم<sup>-1</sup> في كلا من C1,C2 و 1080.56 سم<sup>-1</sup> لي C3 والتي تُنسب إلى اهتزازات روابط Si-O-Si ، وهو ما يدل على وجود جسيمات السليكا داخل المصفوفة البوليمرية واندماجها في التركيب المركب. وبمقارنة الأطياف بين العينات، لا تُلاحظ قمم جديدة أو انتقالات ملحوظة في مواقع القمم الرئيسية، مما يشير إلى عدم تكوّن روابط كيميائية جديدة بين HDPE والسليكا أو المواد المعاد تدويرها. ومع ذلك، فإن الاختلافات الطفيفة في شدة القمم تعكس تغيرًا في نسب المكونات أو درجة التشتت والتوزيع داخل المصفوفة البوليمرية، إضافة إلى تأثير ظروف الخلط والمعالجة. وعليه، يمكن الاستنتاج أن إدماج السليكا والمواد المعاد تدويرها في مصفوفة HDPE تم بشكل رئيسي عبر تفاعل فيزيائي دون تعديل جوهري في البنية الكيميائية للبوليمر، مع تأثير واضح على الخصائص التركيبية المرتبطة بالتوزيع والتركيب النسبي للمكونات و يبرز ذلك خاصة من خلال وضوح اهتزازات الانتشاء لروابط Si-O-Si للعينة التي تحتوي على البولي ايتلين والسليكا والبوليمرات معادة التدوير حيث كان الأكثر اتساعا كما موضح بالشكل (8) [7].



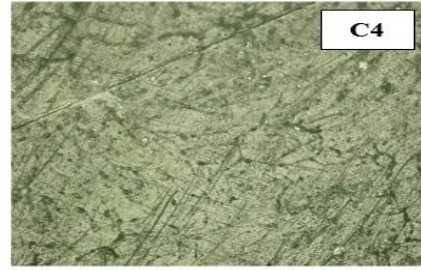
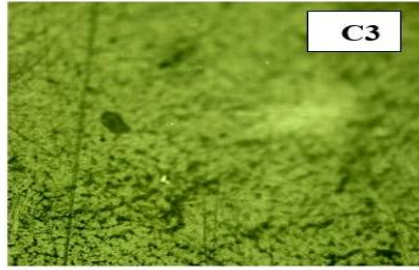
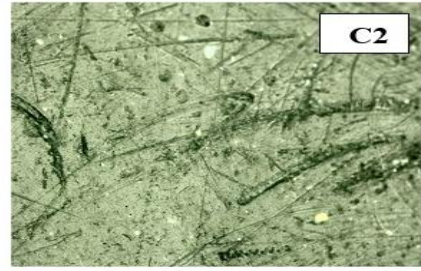
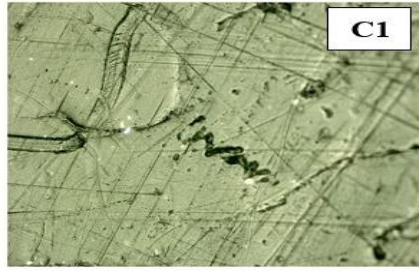
شكل 7: طيف الأشعة تحت الحمراء للعينات.



شكل 8: الاختلاف والتباين بين الاطوال الموجية واماكنها.

### 5.1.2. نتائج اختبار الفحص المجهرى

تبين صور الفحص المجهرى للعينات تحت تكبير 20X أن العينة التي تتكون من البولي ايثيلين عالي الكثافة ورمال سليكا العزيرية (C3) تملك توزيعاً منتظماً لرمال السليكا وعند مقارنتها بالعينة المرجعية (C4) والتي تتكون من البولي ايثيلين عالي الكثافة فقط يظهر لنا أن هناك تباين لوني ناتج عن انعكاس الضوء على أسطح حبيبات الرمل، مما يشير إلى وجود روابط فيزيائية جيدة، ولكن خشونة السطح تزداد بفعل الحجم الحبيبي للرمل مقارنة بالبوليمر النقي أما العينة (C2) فتظهر سطوح ومورفولوجية غير متجانسة (Heterogeneous structure) وبذلك يتضح ضعف البنية مقارنة بالعينة المرجعية وعينة البولي ايثيلين مع الرمل حيث ان وجود البوليمر معاد التدوير يؤدي إلى ظهور مناطق ذات كثافة بصرية مختلفة بسبب اختلاف درجة الانصهار واللزوجة بين بولي ايثيلين عالي الكثافة والبوليمرات معادة التدوير وهذا من الممكن تحسنه بإضافة روابط تعمل على تعديل البنية المجهرية للحصول على بنية متجانسة ذات خصائص افضل رغم أن السيليكا بهذه المركبة قد كانت عامل ربط للفراغات، لكن التداخل بين السلاسل البوليمرية المختلفة قلل من نعومة السطح مقارنة بالعينة C4 والتي تحتوي فقط على البولي ايثيلين.



شكل 9: البنية المجهرية للمترابكات (Composite Material) البوليمرية تحت تكبير  $\times 20$ .

### 5.1.3. اختبار التحليل الحراري الوزني: -

تمت دراسة الفقد في الوزن للخلطات المحضرة C1, C2, C3, C4 وبين الشكل ( ) ان التحليل الحراري يتبع نمط الية التحلل الأحادية (Single Step Degradation) في جميع الخلطات وحيث أن التحلل الرئيسي لمادة البولي إيثيلين (Polyethylene) النقي كما في الخلطة C1 , والذي يحدث بين 400–500 درجة مئوية، وهي درجات أعلى بكثير من ظروف الخدمة الفعلية لطوب الارضيات ولكن الفروق في درجة حرارة التفكك للسلال البوليمرية (Tonset) ودرجة حرارة الفقد النصف للكتلة (T50) تعد مؤشرا مهما حيث يوضح الشيخوخة الحرارية واستقرار البنية الداخلية ودرجة التحمل لإجهادات طويلة الأمد للحرارة والاحتكاك بالتالي التحليل الحراري لا يقيس فقط التحلل، بل يعكس جودة المادة للاستخدام طويل المدى كم يتوضح من الجدول:

جدول 3: مؤشرات الشيخوخة الحرارية والتحلل الحراري.

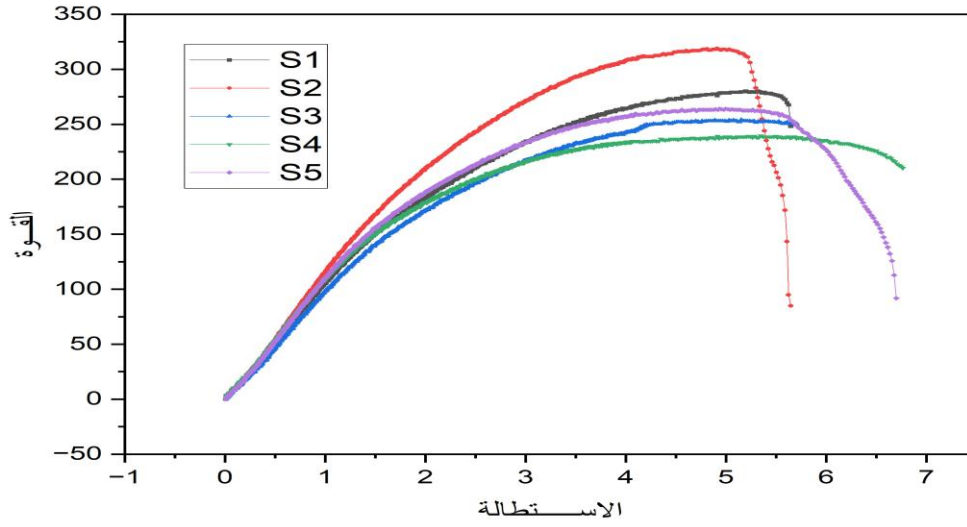
الخلطة	T <sub>onset</sub>	T50
C1	380	430
C2	395	445
C3	410	455
C4	420	470

يظهر الجدول بالأعلى ومنحني وجود فروق واضحة في الثبات الحراري بين الخلطات حيث ارتفعت من حوالي 380 الى 420 درجة مئوية أي بفارق 40 درجة مئوية كما ارتفعت درجة فقد الكتلة من 430 الى 470 أي بفارق 40 درجة مما يدل على تحسن في مقاومة التحليل الحراري وانتقال السلوك من تحلل سريع ومبكر الى تحلل أكثر استقراراً مع زيادة السليكا واستخدام خليط من بوليمر نقي ومعاد التدوير معا.

وأيضاً يتضح من نتائج التحليل الوزني الحراري أن التركيبة C3 تُعد الأكثر ملاءمة لتطبيقات بلاط الأرضيات، حيث توفر توازناً جيداً بين الثبات الحراري والخواص الميكانيكية الناتجة عن تدعيم السليكا. في المقابل، أظهرت العينة C1 أداءً ضعيفاً نتيجة وجود البوليمر المعاد وسوء تشتت الحشوة، مما قد يؤثر سلباً على العمر التشغيلي للبلاط. وتؤكد هذه النتائج أن جودة التشتت والتوافقية بين المكونات تمثل العامل الحاسم في تحديد الأداء النهائي للمواد المركبة .

## 5.2 . اختبار الشد الميكانيكي

تبين الجداول (4.4, 3.4, 4.2, 4.1) والأشكال البيانية (4.4 و 3.4, 4.2, 4.1) لكلا من اجهاد الشد واجهاد الخضوع واجهار الكسر ومعامل يونج للمواد المركبة حيث أظهرت نتائج اختبار الشد تبايناً جذرياً في السلوك الميكانيكي للمادة عند الانتقال من الحالة النقية إلى الحالة المركبة؛ فبينما سجلت عينة البولي إيثيلين المرجعية استطالة فائقة بلغت 98 % تعكس مرونة السلاسل البوليمرية العالية وقدرتها على التشوه اللدن، أدى تدعيم المصفوفة برمال السليكا إلى تحول محوري نحو السلوك "القصف" (Brittle Behavior). وقد تجلّى هذا التحول في الانخفاض الحاد لنسب الاستطالة التي تراوحت ما بين 5% و 10% في كافة العينات المركبة، وهو ما يُفسر علمياً بقدرة حبيبات الرمل على العمل كعوائق فيزيائية تُقيد حركة السلاسل البوليمرية وتعمل في الوقت ذاته كمراكز لتتركيز الإجهادات (Stress Concentrators) تُعجل بفشل المادة. وبالنظر إلى نوع البوليمر المستخدم، فقد تبين أن العينات المعتمدة على البوليمرات المعادة التدوير (C1) سجلت استطالة منخفضة (7%) نتيجة التدهور الحراري السابق لسلاسله (C1)، في حين ساهم دمج البولي إيثيلين النقي مع المعاد تدويره في تحسين المرونة نسبياً لتصل إلى 10% بفضل دور البوليمر النقي في تعزيز الترابط السطحي وامتصاص الطاقة (C2). وعلى النقيض، أظهرت عينة البولي إيثيلين النقية مع الرمل أقل نسبة استطالة (5%)، مما يشير إلى أن زيادة الصلابة الناتجة عن تغلغل الرمل تأتي دائماً على حساب المطولية، لتقدم هذه المادة المركبة في النهاية بديلاً إنشائياً يتميز بالجساءة العالية والاستقرار الأبعادي مقارنة بالبوليمر المرن ولتصبح أكثر مثالية يجب معالجة السليكا وأيضاً تدعيم هذه المادة المركبة ببعض المواد الرابطة والتي تعمل على توحيد وتجانس هذا الخليط المترابك [55-58]. ويتبين ذلك أيضاً من خلال شكل المنحنيات ومن جدول الخواص الميكانيكية بمقارنة أقصى اجهاد في الشكل 4.4 بمقارنة العينات من حيث أقصى اجهاد واجهاد الكسر والخضوع حيث أدى تدعيم البولي إيثيلين بالرمل إلى رفع أقصى إجهاد 28.59 ميجا بسكال في العينة (C4) الى 27.13 في العينة (C1) و (C2) وهو يمثل زيادة بمقدار 9% ويشير هذا السلوك إلى أن حبيبات الرمل عملت كدعامة هيكلية رفعت من صلابة المصفوفة البوليمرية، محولةً إياها من مادة مرنة بسيطة إلى مادة مركبة ذات متانة عالية قادرة على امتصاص أحمال ميكانيكية كبيرة، مما يؤكد تفوق هذه الخلطات خاصة (C2) في التطبيقات التي تتطلب صموداً إنشائياً كبيراً مثل صناعة الطوب والبدايل الخشبية.



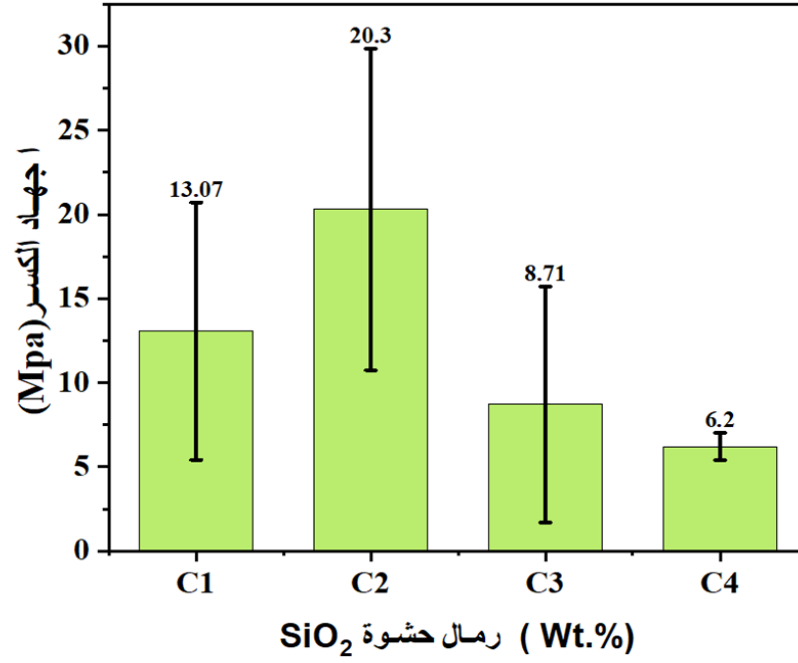
شكل 1: السلوك الميكانيكي تحت اختبار الشد للخلطات المقترحة.

جدول 4: اهم الخواص الميكانيكية لاختبار الشد.

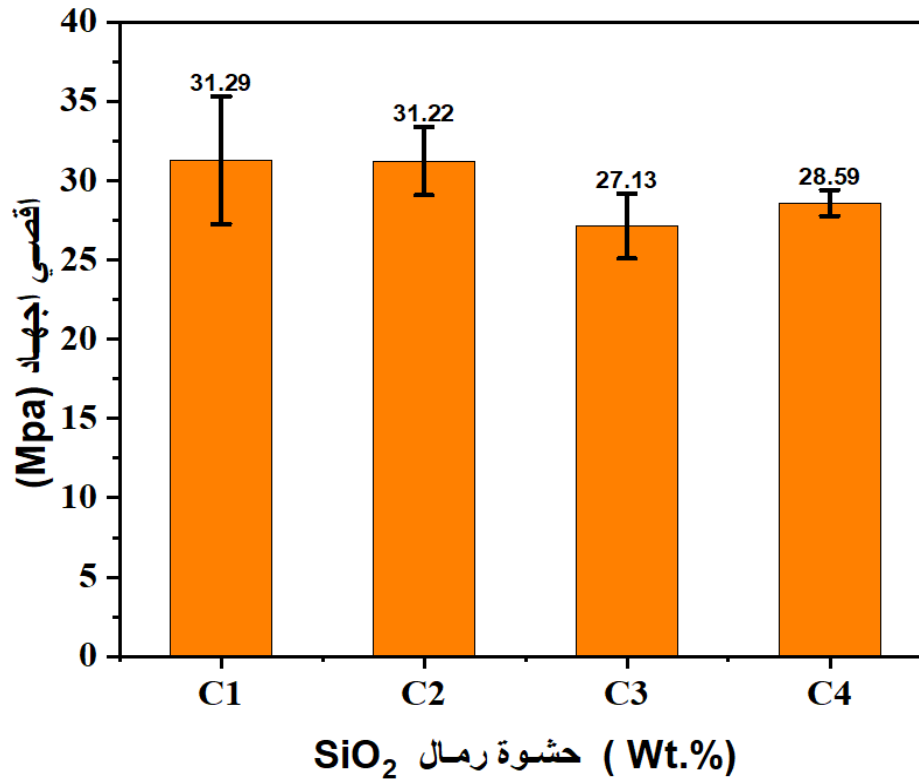
معامل المرونة (Mpa)	اجهاد الخضوع (Mpa)	اجهاد الكسر (Mpa)	اقصى اجهاد (Mpa)	رقم العينة
237.59	21.40	13.07	31.29	C1
322.66	11.97	20.30	31.22	C2
333.89	16.1	8.71	27.13	C3
321.07	14.09	6.20	28.59	C4

جدول 5: قيم الانحراف المعياري والمتوسط القراءات لاهم الخصائص الميكانيكية.

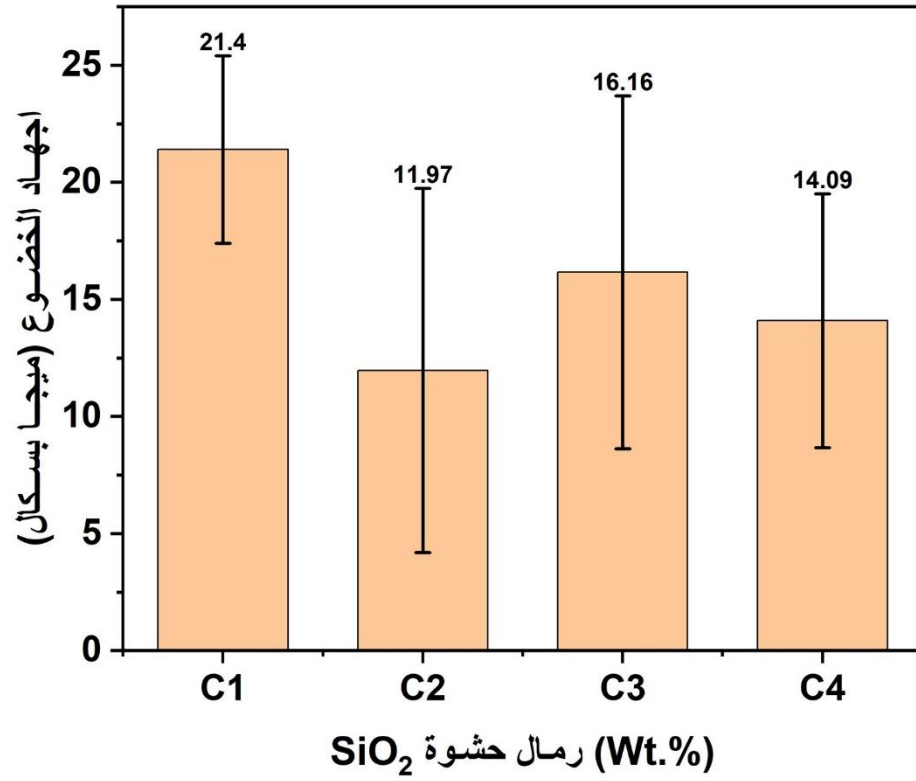
معامل المرونة (Mpa)	اجهاد الخضوع (Mpa)	اجهاد الكسر (Mpa)	اقصى اجهاد (Mpa)	رقم العينة
24.32	4.01	7.65	4.01	C1
39.00	7.78	9.55	2.15	C2
52.46	7.5	7.00	2.05	C3
28.30	5.42	0.79	0.89	C4



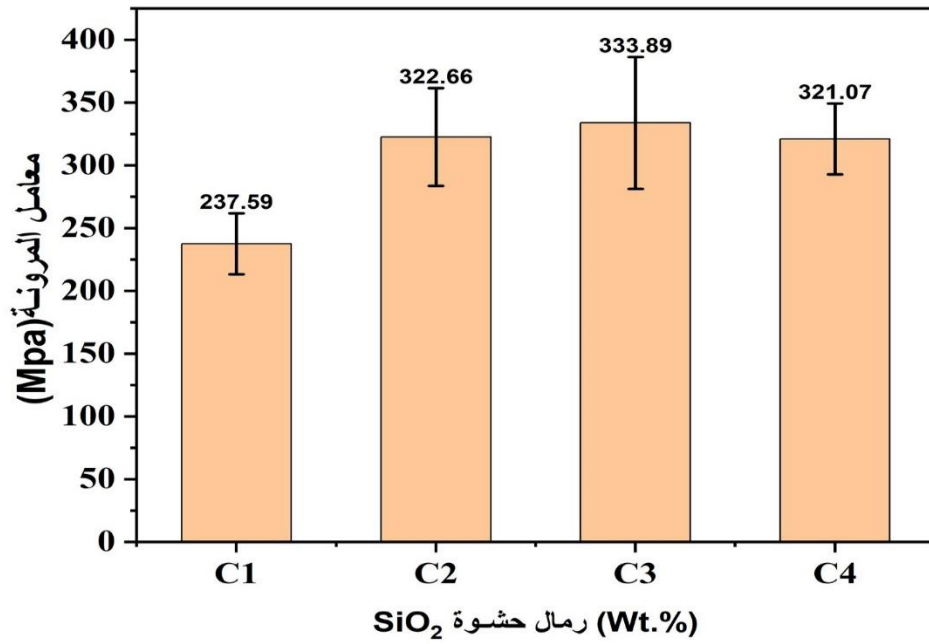
شكل 10: اجهاد الكسر للعينات.



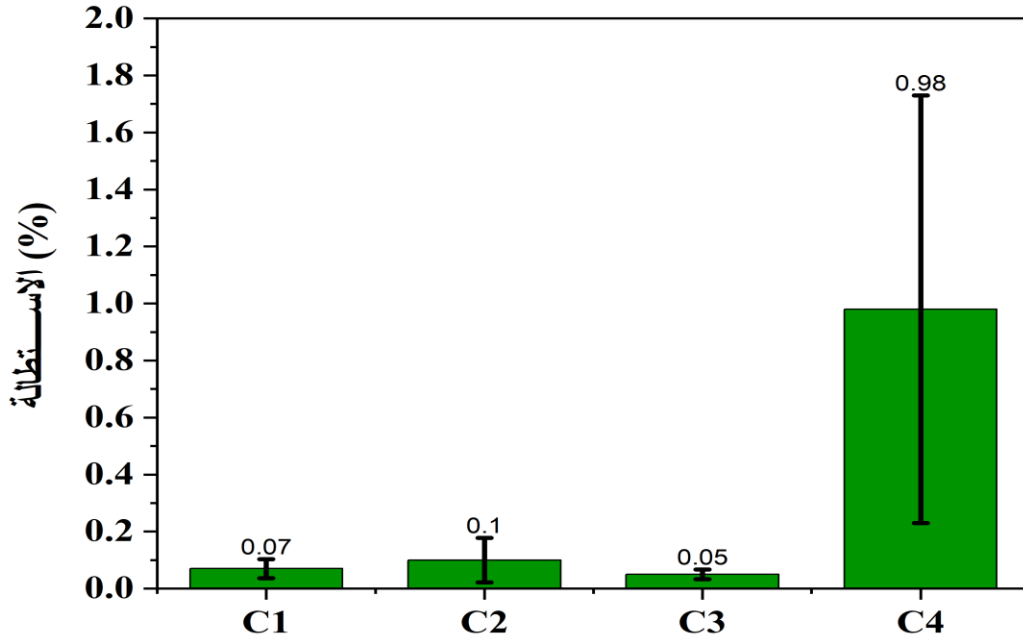
شكل 5.4: اقصى اجهاد للعينات.



شكل 11: اجهاد الخضوع للعينات.



شكل 12: معامل المرونة للعينات.



شكل 13: نسبة الاستطالة للعينات (طول القياس 25 مم).

جدول 6: نسبة الاستطالة عند الطول القياسي 25 مم (Gauge length)

الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	رقم العينة
0.033	%7	C1
0.077	%10	C2
0.0178	%5	C3
0.753	%98	C4

## 6. الاستنتاج

من النتائج السابقة تبين ان استخدام النفايات البلاستيكية المعادة التدوير الحرارية و خلطها برمل السيليكا كمواد مائنة يقلل الحاجة لاستخدام مواد خام جديدة مما يؤدي لخفض تكاليف البناء وتحسين الوضع البيئي.

كما خلصت النتائج الى وجود تماسك كاف بين الاسطح وان توزيع رمل السيليكا منتظم مما يؤكد تجانس الخليط و تبين ومن خلال النتائج اختبار الشد أن معدل الاستطالة عند دمج البولي ايثيلين النقي مع المعاد تدويره أدى الى تحسين المرونة بنسبة وصلت الى 10 % إلى جانب خصائص ميكانيكية جيدة، وهو ما يتوافق مع نتائج التحليل المجهرى للبنية الداخلية و بالتالي يمكننا القول

---

ان خلط النفايات البلاستيكية المعاد تدويرها مع رمل السليكا و بناء عل كل النتائج السابقة و خاصة لبعض العينات كافية لتطوير بلاط و استخدامه كمادة رصف في الأماكن العامة والتي لا يكون عليها ضغط كبير كجوانب الطرقات الغير مرورية للمركبات الالية أي تستخدم ( كا انترلوك معشق عل جانبي الطرقات العامة ) مع الاستمرار في الدراسات و تحسين الخلطات.

## 6. التوصيات

- 1- دراسة استخدام رمال السليكا العزيرية كمواد حديثة محتملة لإنتاج طوب صديق للبيئة بعد تحويلها لنانو سليكا و اجراء مقارنة بين هذه الخلطات من حيث الخواص الميكانيكية والفيزيائية.
- 2- دراسة مقاومة الإنحناء للخلطات واستخدام مواد رابطة ومضافات أخرى مما يعزز من كفات هذه الخلطات بصورة أكثر جودة لصناعات طوب مواد البناء.
- 3- اجراء اختبار الضغط على العينات.
- 4- تقييم الجدوى الاقتصادية والبيئية لإمكانية التطبيق الصناعي ومقاربة المنتج ببلاط التقليدي.

## 7. المراجع

- [1] Soni, A., et al. (2022). Challenges and opportunities of utilizing municipal solid waste as alternative building materials for sustainable development goals: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 27, 100706. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100706>
- [2] GESAMP. (2010). *Proceedings of the GESAMP International Workshop on Micro-plastic Particles as a Vector in Marine Environmental Management*. GESAMP Reports and Studies No. 82.
- [3] Somwanshi, R., et al. (2021). [Insert Full Paper Title Here]. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 9(6), [Insert Page Numbers].
- [4] Ashick, R. M. (2024). [Insert Full Paper Title Here]. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 11(4), [Insert Page Numbers].
- [5] Ahmed, A. W., & Jabrail, F. H. (2024). [Insert Full Paper Title Here]. *Pharmacognosy Journal*, 16(2), 307-311. <https://doi.org/10.5530/pj.2024.16.46>
- [6] Ghernouti, Y., Rabehi, B., Safi, B., & Chaid, R. (2015). Strength and durability of plastic-sand composites for building applications. *Journal of Composite Materials*, 49(5), 480-487. <https://doi.org/10.1177/0021998314521060>

---

[7] Guendouz, M., & Debieb, A. (2016). Use of plastic waste in sand concrete: Mechanical and physical properties. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 30(22), 2419-2435.

<https://doi.org/10.1080/01694243.2016.1191054>