

عنوان البحث

**استخدام نفايات الأكياس البلاستيكية المعاد تدويرها بديلاً جزئياً للركام الخشن وتأثيرها  
في خصائص الخرسانة**

عبدالعزیز أحمد محمد عبدالکريم<sup>1</sup>، محمد مفتاح مصطفى<sup>2</sup>

1 عضو هيئة تدريس، المعهد العالي للعلوم والتقنية، سرت، ليبيا. البريد الإلكتروني: zezoabojdeda@gmail.com

2 عضو هيئة تدريس، المعهد العالي للعلوم والتقنية، القوارشة، بنغازي، ليبيا. البريد الإلكتروني: m.m.alabar@hietg.edu.ly

HNSJ, 2026, 7(11); <https://doi.org/10.53796/hnsj711/33>

المعرف العلمي العربي للأبحاث: <https://arsri.org/10000/711/33>

تاريخ النشر: 2026/11/01م

تاريخ القبول: 2026/10/17م

تاريخ الاستقبال: 2026/10/10م

المستخلص

هدفت الدراسة إلى تقييم تأثير الاستبدال الجزئي للركام الخشن بنفايات الأكياس البلاستيكية، مع استخدام مادة سيكا بدلاً من جزء من الأسمنت، في كثافة الخرسانة ومقاومتها للضغط. استخدم المنهج التجريبي لمقارنة خلطة مرجعية بثلاث خلطات احتوت على نسب بلاستيك مقدارها 3% و6% و9% من وزن الركام الخشن، اقترنت بنسب سيكا مقدارها 10% و20% و30%، على الترتيب، وفق وصف الخلطات الأصلي. وأجريت الاختبارات على مكعبات بأبعاد  $150 \times 150 \times 150$  مم، مع عرض نتائج الضغط عند عمري 7 و28 يوماً للعينات المعالجة بالماء والعيّنات الموصوفة بالجافة. أظهرت النتائج انخفاض القيم المسجلة للكثافة مع الاستبدال مقارنة بالخلطة المرجعية. وعند 28 يوماً، حققت خلطة 3% بلاستيك و10% سيكا أعلى مقاومة للعينات المعالجة بالماء، بلغت 37.88 ميغاباسكال، مقابل 36.33 ميغاباسكال للخلطة المرجعية، بزيادة تقارب 4.27%. أما العينات الجافة فبلغت أعلى مقاومتها 33.55 ميغاباسكال عند 6% بلاستيك و20% سيكا. وانخفضت المقاومة عند رفع النسب إلى 9% بلاستيك و30% سيكا. وتشير النتائج إلى إمكان الاستفادة من الاستبدال المنخفض ضمن الخلطات المدروسة، مع تعذر فصل تأثير البلاستيك عن تأثير سيكا لتغير نسبتهما معاً. وتوصي الدراسة بتوثيق عدد العينات ووحدات الكثافة وظروف المعالجة، والتحقق من هوية المواد، وإجراء تجارب مستقلة لكل متغير قبل تعميم النتائج.

**الكلمات المفتاحية:** إعادة التدوير؛ نفايات الأكياس؛ الخرسانة؛ مقاومة الضغط.

## RESEARCH TITLE

## Recycled Plastic Bag Waste as a Partial Replacement for Coarse Aggregate and Its Effects on Concrete Properties

Abdulaziz Ahmed Mohammed Abdulkarim<sup>1</sup>, Mohamed M. Mustafa<sup>2</sup>

1 Lecturer, Higher Institute of Science and Technology, Sirte, Libya. Email: zezoabojdeda@gmail.com

2 Lecturer, Higher Institute for Engineering Technology, Alqwarsha, Benghazi, Libya. Email: m.m.alabar@hietg.edu.ly

HNSJ, 2026, 7(11); <https://doi.org/10.53796/hnsj711/33>

Arabic Scientific Research Identifier: <https://arsri.org/10000/711/33>

Received at 10/10/2026

Accepted at 17/10/2026

Published at 01/11/2026

### Abstract

This study evaluated the effects of partially replacing coarse aggregate with plastic bag waste, together with using a Sika material as a partial cement replacement, on concrete density and compressive strength. An experimental approach compared a control mix with three mixes containing plastic at 3%, 6%, and 9% of coarse aggregate mass, paired with reported Sika replacement levels of 10%, 20%, and 30%, respectively. Tests used  $150 \times 150 \times 150$  mm cubes, and compressive strength results were reported at 7 and 28 days for water-cured specimens and specimens described as dry. The recorded density values decreased relative to the control. At 28 days, the mix containing 3% plastic and 10% Sika achieved the highest water-cured strength, 37.88 MPa, compared with 36.33 MPa for the control, an increase of approximately 4.27%. For dry specimens, the highest strength was 33.55 MPa at 6% plastic and 20% Sika. Strength declined at 9% plastic and 30% Sika. These findings suggest potential benefits at low replacement levels within the tested mixes. However, the individual effects of plastic and Sika cannot be isolated because their proportions varied simultaneously. The study recommends documenting specimen allocation, density units, curing conditions, and material identity, and independently testing each variable before generalizing the results.

**Keywords:** Recycling; Plastic bag waste; Concrete; Compressive strength.

## 1 المقدمة

تُعد إدارة النفايات البلاستيكية من القضايا المرتبطة بالاستدامة البيئية، نظرًا إلى صعوبة التخلص من كثير من هذه المخلفات وتراكمها في البيئة. ويتيح تدويرها وإعادة توظيفها في مواد البناء مسارا للاستفادة منها وتقليل استهلاك بعض الموارد الطبيعية، شريطة التحقق من ملائمة المادة المعاد استخدامها ومن أثرها في أداء المنتج النهائي. وتؤكد خطة جودة إعادة التدوير أهمية جودة المواد المسترجعة وقابلية استخدامها، بدلاً من الاكتفاء بزيادة كمياتها [3]، كما تدرج اعتبارات إعادة التدوير ضمن التصميم المسؤول بيئياً [4].

ترتبط خصائص الخرسانة بنوع مكوناتها ونسبها وظروف خلطها ودمكها ومعالجتها [1]. وقد تناولت دراسات توظيف مخلفات البوليمرات في الخلطات الخرسانية؛ فبحث Mohammed وزملاؤه استخدام حبيبات البوليسترين وألياف البلاستيك في خرسانة مستدامة [6]، ودرس Rashwan تأثير معالجة مطاط الإطارات قبل إضافته إلى الخرسانة [5]. وتختلف هذه المواد عن نفايات الأكياس في تركيبها وشكلها؛ لذلك لا يجوز نقل نتائجها مباشرة إلى المادة المستخدمة في هذه الدراسة. تعتمد فكرة الدراسة الحالية على استبدال جزء من الركام الخشن بنفايات الأكياس البلاستيكية المقطعة، مع استخدام مادة تجارية من سیکا بنسب متزامنة، ثم مقارنة الكثافة ومقاومة الضغط بخطة مرجعية. وتتبع أهمية الدراسة من بحث التوازن بين تقليل القيم المسجلة للكثافة والمحافظة على المقاومة، مع قصر الاستنتاجات على الخلطات والظروف الموثقة في البيانات المتاحة.

## 2 مشكلة البحث وأهدافه وأهميته

تتمثل مشكلة البحث في تحديد اتجاه التغير في كثافة الخرسانة ومقاومتها للضغط عند الاستبدال الجزئي للركام الخشن بنفايات الأكياس البلاستيكية، مع تغيير نسبة مادة سیکا بالتزامن. ويتمثل السؤال الرئيس في مدى اختلاف أداء هذه الخلطات عن الخلطة المرجعية عند عمري 7 و28 يوماً، وتحت حالي المعالجة المذكورتين في الدراسة.

تهدف الدراسة إلى مقارنة الخلطة المرجعية بثلاث خلطات ذات نسب استبدال متدرجة، وتحليل نتائج مقاومة الضغط والكثافة، وتحديد الخلطة الأعلى أداءً ضمن المقارنات المتاحة. كما تهدف إلى بيان أثر حالة المعالجة في النتائج، وتحديد حدود تفسيرها في ضوء توثيق البرنامج التجريبي.

تتمثل الأهمية التطبيقية في استكشاف مسار لإعادة استخدام المخلفات البلاستيكية في الخرسانة وتقليل الاعتماد على الركام الطبيعي. أما تقدير الوفورات الاقتصادية أو الأثر البيئي الكلي فيتطلب تحليلاً مستقلاً للتكلفة ودورة الحياة؛ إذ لا تتضمن البيانات الحالية قياسات تسمح بإثبات خفض التكلفة أو الانبعاثات.

## 3 خلفية الدراسة

يبين مرجع Li أن تقييم الخرسانة يتطلب مراعاة المواد الداخلة في تركيبها وخصائص الخرسانة المتصلة [1]. وتؤكد دراسة Mohammed وزملائه أهمية تحديد نوع المخلفات ونسبة الاستبدال وطريقة التعبير عنها عند تقييم الخرسانة المحتوية على البوليمرات [6]. كما توضح دراسة Rashwan أن معالجة سطح المطاط متغير مؤثر في أدائه داخل الخلطة [5]، وهو ما يدعم ضرورة وصف سطح المادة البديلة وأبعادها قبل تفسير النتائج.

وتقدم دراستا خليفة [8] وحواوي [9] مثالين لاختلاف تأثير المواد المسترجعة باختلاف نوعها وموقع استخدامها داخل الخلطة. وتناولت دراسة Hilles و Ziara نوعاً آخر من البوليمرات في الخرسانة، هو التسليح بالألياف الزجاجية [7].

وتُستخدم هذه الأدبيات لتأطير أهمية ضبط المتغيرات، مع عدم اعتبارها دليلاً مباشراً على نتائج نفايات الأكياس المستخدمة هنا.

#### 4 منهجية الدراسة والبرنامج التجريبي

##### 4.1 تصميم الدراسة وحدود المقارنة

اتبعت الدراسة منهجاً تجريبياً مقارناً باستخدام خلطة مرجعية وثلاث خلطات معدلة. ووفق الوصف الأصلي، استُبدلت نسب وزنية مقدارها 3% و6% و9% من الركام الخشن بنفايات الأكياس، واقرنت هذه النسب باستبدال جزء من الأسمنت بمادة سيكا بنسب 10% و20% و30%، على الترتيب. وضح التبادل الكتابي بين 9% و30% في وصف الخلطة الأخيرة اعتماداً على اتفاق الجداول على هذا الترتيب.

##### 4.2 المواد المستخدمة

###### 4.2.1 الأسمنت والركام الناعم

استُخدم الأسمنت البورتلاندي مادةً رابطة في الخلطات. واستُخدم ركام ناعم تُظف ووزن قبل الخلط. يوضح الشكلان (1) و(2) تجهيز هاتين المادتين.



الشكل (1): وزن الأسمنت المستخدم في الخلطات الخرسانية.



الشكل (2): تجهيز الركام الناعم ووزنه قبل الخلط.

###### 4.2.2 الركام الخشن

غُسل الركام الخشن لإزالة الغبار والأوساخ، ثم جُفف في الفرن لمدة 24 ساعة، وفق وصف الدراسة. ويوضح الشكل (3) تجهيز الركام ووزنه.



الشكل (3): وزن الركام الخشن المستخدم في الخلطة.

### 4.2.3 نفايات الأكياس البلاستيكية

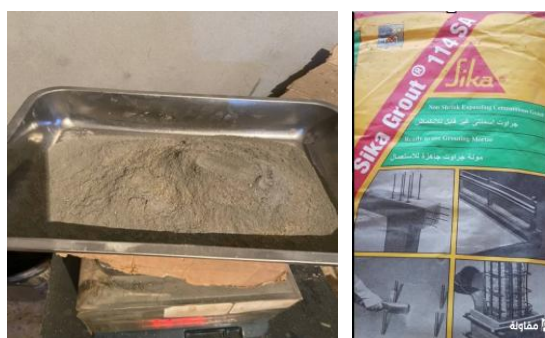
استُخدمت مخلفات موصوفة في الدراسة بأنها نفايات أكياس بلاستيكية، قُطعت يدوياً إلى أجزاء صغيرة لاستبدال جزء من الركام الخشن. يوضح الشكل (4) المادة البديلة مع الركام أثناء التجهيز.



الشكل (4): تجهيز المخلفات المستخدمة مع الركام قبل الخلط.

### 4.2.4 مادة سيكا

تُظهر العبوة المصورة في الشكل (5) اسم SikaGrout 214-11، وهو منتج جراوت أسمنتي وفق نشرة الشركة المصنعة [10].



الشكل (5): المادة المسماة سيكا في الدراسة وعبوتها التجارية الظاهرة في الصور الأصلية.

### 4.2.5 ماء الخلط والمعالجة

استُخدم ماء صالح للشرب في إعداد الخلطات، كما استُخدم الماء لمعالجة مجموعة من المكعبات بعد فك القوالب.

### 4.3 الخلط والصب والمعالجة

وُزنت المواد قبل الخلط، ثم خلط الركام الناعم والخشن وأضيفت المواد الرابطة والمخلفات وفق نسب كل خلطة، وأضيف الماء تدريجياً. ويوضح الشكل (6) تجهيز المواد قبل الخلط. ويحتاج تقييم قابلية إعادة تنفيذ التجربة إلى توثيق أوزان الخلط وزمنه وترتيب الإضافة على نحو كمي.



الشكل (6): تجهيز مكونات الخلطة الخرسانية قبل الصب.

استُخدمت قوالب مكعبة بأبعاد  $150 \times 150 \times 150$  مم، نُظفت وُزيت وأُحْكمت تثبيتها قبل الصب. وبقيت العينات في القوالب لمدة 24 ساعة في الظروف المحيطة، ثم فُكَّت بعناية. وعولجت مجموعة بالغمر في الماء حتى موعد الاختبار، بينما وُصفت المجموعة الأخرى في البيانات بأنها جافة.



الشكل (7): صب الخلطة في القوالب المكعبة وتجهيز العينات.



الشكل (8): العينات بعد فك القوالب ومجموعة المعالجة بالغمر في الماء.

## الجدول (1): نسب الاستبدال وتوزيع العينات

| البلاستيك (%) | سيكا (%) | العينات الجافة | المعالجة بالماء | المجموع |
|---------------|----------|----------------|-----------------|---------|
| 0             | 0        | 3              | 3               | 6       |
| 3             | 10       | 3              | 3               | 6       |
| 6             | 20       | 3              | 3               | 6       |
| 9             | 30       | 3              | 3               | 6       |
| المجموع       | —        | 12             | 12              | 24      |

## 4.4 الاختبارات ومعالجة البيانات

أُجري اختبار الضغط على المكعبات عند عمري 7 و 28 يوماً، وفق الجداول المتاحة، باستخدام آلة اختبار الضغط الموضحة في الشكل (9). وتحسب مقاومة الضغط بقسمة الحمل الأقصى على مساحة الوجه المحمل؛ وتبلغ مساحة وجه المكعب ذي الضلع 150 مم مقدار 22500 مم<sup>2</sup>. وعند التعبير عن الحمل بالنيوتن تكون المقاومة بوحدة ميغاباسكال.



الشكل (9): جهاز اختبار الضغط ووضع المكعب بين لوحي التحميل.

وُزنّت العينات كما يوضح الشكل (10). وتحسب الكثافة بقسمة الكتلة على الحجم، ويبلغ الحجم الاسمي للمكعب 0.003375 م<sup>3</sup>.



الشكل (10): وزن المكعب الخرساني باستخدام الميزان.

اعتمدت المراجعة على المتوسطات المدرجة في الجداول الأصلية، وأعيد رسم الأشكال البيانية منها لتوحيد دقة الأرقام وتصحيح رسوم عمر 7 أيام التي كانت تكرر قيم عمر 28 يوماً.

## 5 النتائج ومناقشتها

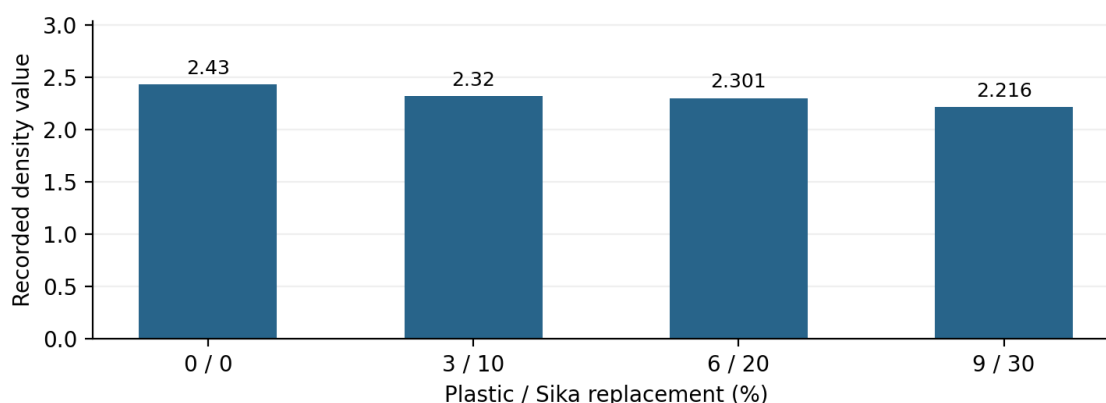
## 5.1 القيم المسجلة للكثافة

الجدول (2): القيم المسجلة للكثافة بحسب نسب الاستبدال وحالة العينات

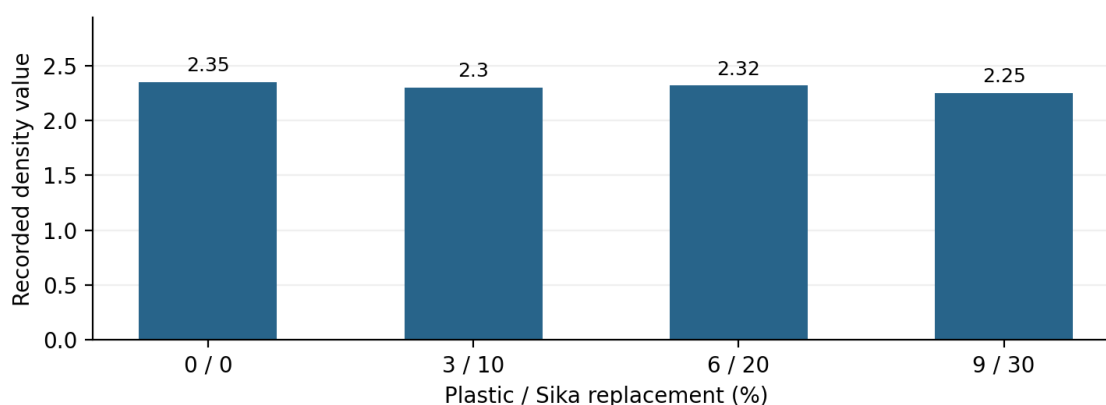
| البلاستيك (%) | سيكا (%) | المعالجة بالماء | العينات الجافة |
|---------------|----------|-----------------|----------------|
| 0             | 0        | 2.43            | 2.35           |
| 3             | 10       | 2.32            | 2.30           |
| 6             | 20       | 2.301           | 2.32           |
| 9             | 30       | 2.216           | 2.25           |

المصدر: بيانات الدراسة.

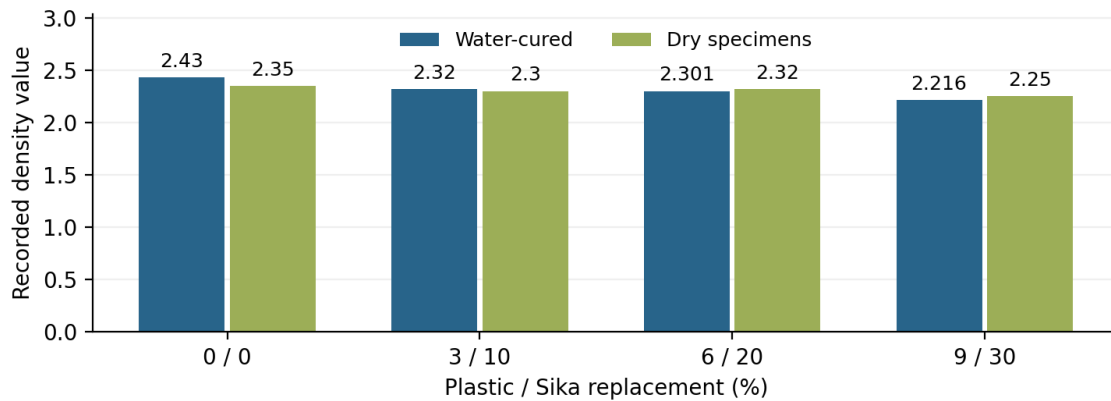
انخفضت القيم المسجلة للعينات المعالجة بالماء من 2.43 في الخلطة المرجعية إلى 2.32 و 2.301 و 2.216، بانخفاض نسبي يقارب 4.53% و 5.31% و 8.81%، على الترتيب. أما قيم العينات الجافة فبلغت 2.32 و 2.30 و 2.25 مقابل 2.35 للخلطة المرجعية؛ أي إن اتجاهها لم يكن تنازلياً منتظماً بين جميع الخلطات المعدلة. وتوضح الأشكال (11-13) هذه المقارنات.



الشكل (11): القيم المسجلة لكثافة العينات المعالجة بالماء بحسب الخلطة.



الشكل (12): القيم المسجلة لكثافة العينات الجافة بحسب الخلطة.



الشكل (13): مقارنة القيم المسجلة للكثافة بين حالتي العينات.

تعني أزواج النسب على المحور الأفقي نسبة البلاستيك ثم نسبة سیکا. وتسمية Water-cured تشير إلى المعالجة بالماء، و Dry specimens إلى العينات الموصوفة بالجافة. وتكشف المقارنة أن قيم العينات الجافة تتجاوز قيم المعالجة بالماء عند خلطي 6% و 9%.

## 5.2 مقاومة الضغط عند عمر 7 أيام

توضح صورة الاختبار في الشكل (14) تحميل المكعب حتى الفشل. وترد متوسطات مقاومة الضغط عند 7 أيام في الجدول (3)، وتعرضها الأشكال (15-17).



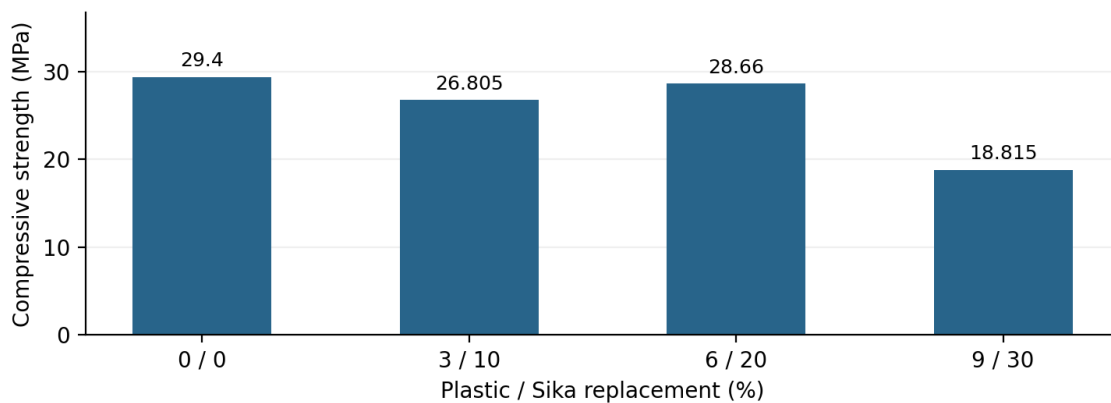
الشكل (14): تحميل مكعب الخرسانة في اختبار مقاومة الضغط.

الجدول (3): متوسط مقاومة الضغط عند عمر 7 أيام

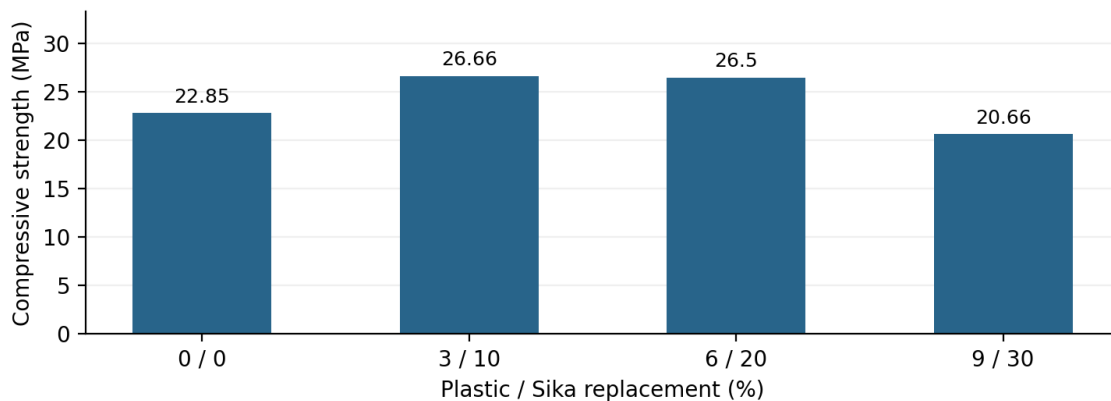
| البلاستيك (%) | سیکا (%) | المعالجة بالماء (MPa) | العينات الجافة (MPa) |
|---------------|----------|-----------------------|----------------------|
| 0             | 0        | 29.4                  | 22.85                |
| 3             | 10       | 26.805                | 26.66                |
| 6             | 20       | 28.66                 | 26.50                |
| 9             | 30       | 18.815                | 20.66                |

بلغت أعلى مقاومة للعينات المعالجة بالماء 29.4 ميغاباسكال في الخلطة المرجعية، بينما بلغت أفضل قيمة بين الخلطات المعدلة 28.66 ميغاباسكال عند 6% بلاستيك و 20% سیکا، وهي أقل من المرجعية بنحو 2.52%. وبلغت أعلى

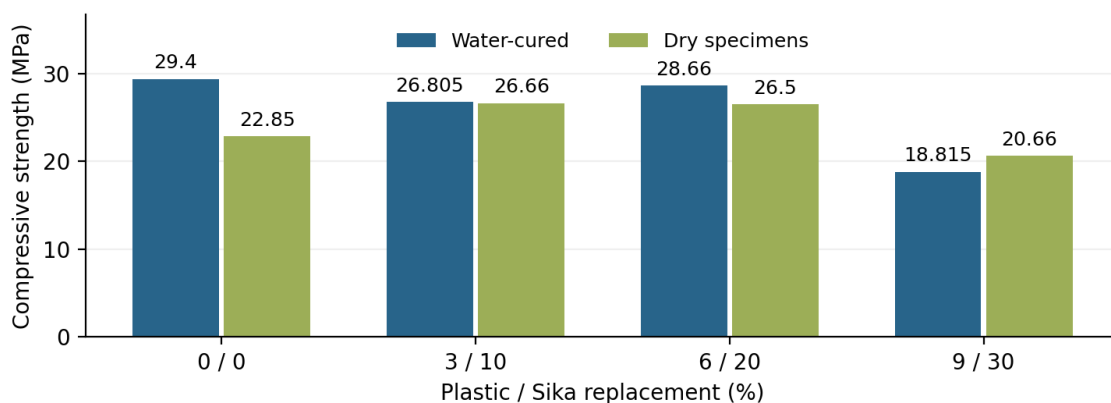
مقاومة للعينات الجافة 26.66 ميغاباسكال عند 3% بلاستيك و10% سیکا، بزيادة وصفية تقارب 16.67% على الخلطة المرجعية الجافة. أما خلطة 9% و30% فسجلت أدنى مقاومة في حالتی العينات.



الشكل (15): متوسط مقاومة الضغط للعينات المعالجة بالماء عند 7 أيام.



الشكل (16): متوسط مقاومة الضغط للعينات الجافة عند 7 أيام.



الشكل (17): مقارنة مقاومة الضغط بين حالتی العينات عند 7 أيام.

تزيد مقاومة العينات المعالجة بالماء على مقاومة العينات الجافة في الخلطات الثلاث الأولى، بينما ينعكس الاتجاه عند خلطة 9% بلاستيك و30% سیکا، حيث بلغت القيمتان 20.66 و18.815 ميغاباسكال، على الترتيب.

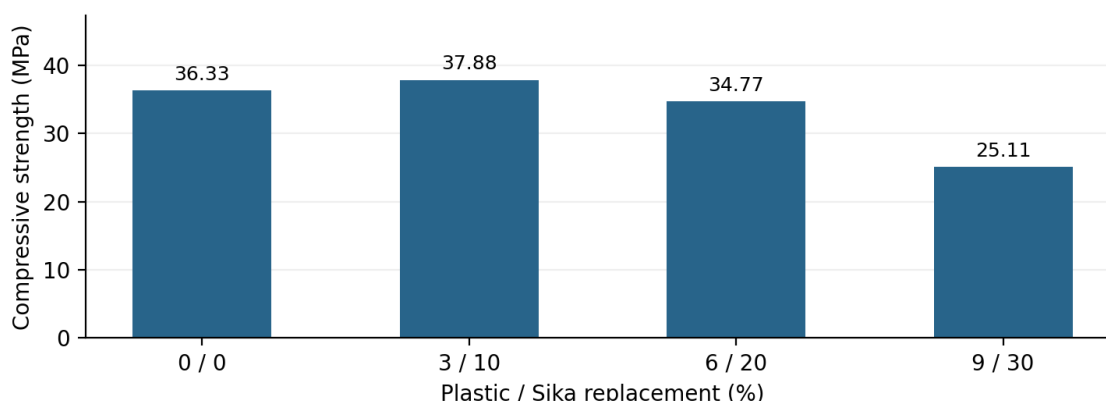
## 5.3 مقاومة الضغط عند عمر 28 يوماً

الجدول (4): متوسط مقاومة الضغط عند 28 يوماً وزيادة مقاومة المعالجة بالماء مقارنة بالجافة

| البلاستيك (%) | سيكا (%) | المعالجة بالماء (MPa) | الجافة (MPa) | الزيادة (%) |
|---------------|----------|-----------------------|--------------|-------------|
| 0             | 0        | 36.33                 | 32.37        | 12.23       |
| 3             | 10       | 37.88                 | 33.11        | 14.41       |
| 6             | 20       | 34.77                 | 33.55        | 3.64        |
| 9             | 30       | 25.11                 | 23.77        | 5.64        |

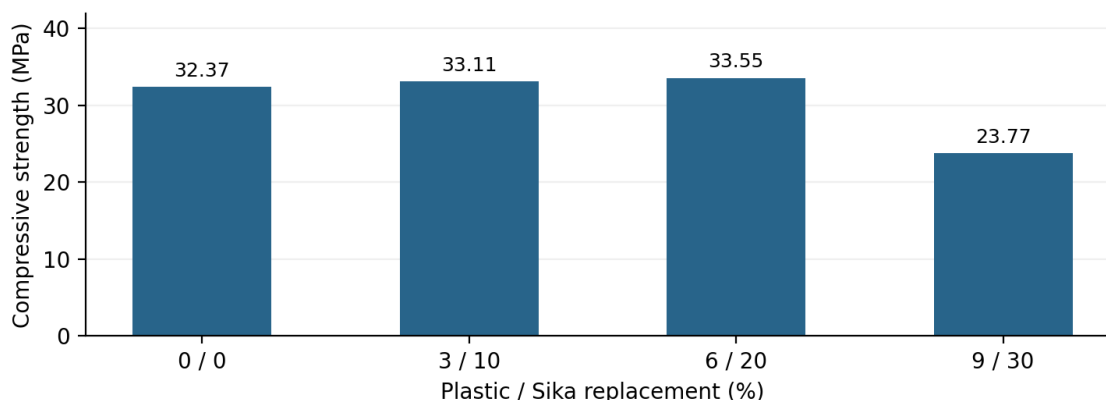
حُسبت الزيادة في العمود الأخير وفق العلاقة: الزيادة (%) = [(مقاومة المعالجة بالماء - مقاومة العينات الجافة) ÷ مقاومة العينات الجافة] × 100.

بلغت مقاومة الخلطة المرجعية المعالجة بالماء 36.33 ميغاباسكال، وارتفعت إلى 37.88 ميغاباسكال عند 3% بلاستيك و10% سيكا، بزيادة تقارب 4.27%. ثم انخفضت إلى 34.77 ميغاباسكال عند 6% و20%، وإلى 25.11 ميغاباسكال عند 9% و30%، بانخفاض يقارب 4.29% و30.88% عن المرجعية، على الترتيب. ويوضح الشكل (18) أن الخلطة الأولى المعدلة هي الأعلى مقاومة ضمن العينات المعالجة بالماء عند هذا العمر.

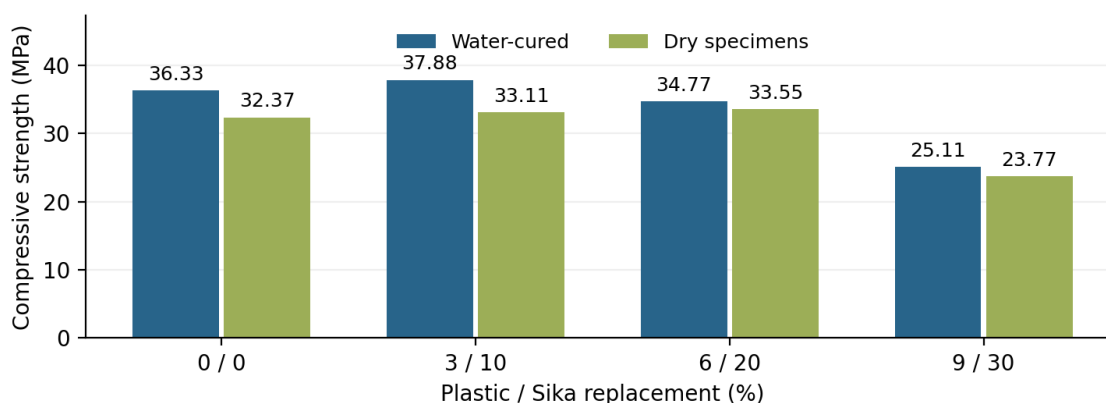


الشكل (18): متوسط مقاومة الضغط للعينات المعالجة بالماء عند 28 يوماً.

في العينات الجافة، بلغت مقاومة الخلطة المرجعية 32.37 ميغاباسكال، وسجلت خلطة 3% و10% قيمة 33.11 ميغاباسكال، بينما حققت خلطة 6% و20% أعلى قيمة، مقدارها 33.55 ميغاباسكال، بزيادة تقارب 3.65% على المرجعية الجافة. وانخفضت المقاومة إلى 23.77 ميغاباسكال عند 9% و30%، كما يوضح الشكل (19).



الشكل (19): متوسط مقاومة الضغط للعينات الجافة عند 28 يوماً.



الشكل (20): مقارنة مقاومة الضغط بين حالتي العينات عند 28 يوماً.

تُظهر المقارنة في الشكل (20) ارتفاع مقاومة العينات المعالجة بالماء عن العينات الجافة في جميع خلطات عمر 28 يوماً. وتراوحت الزيادة النسبية المحسوبة مقارنة بالجافة بين 3.64% و 14.41%. كما زادت متوسطات المقاومة عند 28 يوماً عن نظيراتها عند 7 أيام في جميع الخلطات وحالتي العينات.

#### 5.4 مناقشة النتائج

تشير المقارنات إلى أن الاستبدال المنخفض قد يجمع بين انخفاض القيم المسجلة للكثافة والمحافظة على مقاومة قريبة من المرجعية أو أعلى منها في بعض الحالات. لكن زيادة النسب إلى 9% بلاستيك و 30% سیکا اقترنت بانخفاض واضح في مقاومة الضغط.

قد ترتبط الفروق بخصائص المادة البديلة وتماسكها مع العجينة الأسمنتية وقابلية الخلطة للدمك، وهي تفسيرات محتملة تتطلب قياسات إضافية؛ إذ لم تُجر في البيانات المتاحة اختبارات للبنية المجهرية أو المحتوى الهوائي أو التماسك البيني. وتؤكد اختلافات المواد التي تناولتها الدراسات السابقة [5-9] ضرورة عدم مساواة مخلفات الأكياس بمطاط الإطارات أو الألياف الزجاجية أو الرماد.

#### 6 الخاتمة

تناولت الدراسة إمكانية استخدام نفايات الأكياس البلاستيكية بديلاً جزئياً للركام الخشن ضمن خلطات تتغير فيها نسبة مادة سیکا بالتزامن. وأظهرت البيانات انخفاض القيم المسجلة للكثافة، وتباين مقاومة الضغط باختلاف الخلطة والعمر وحالة

المعالجة. وقدمت خلطة 3% بلاستيك و10% سیکا أعلى مقاومة للعينات المعالجة بالماء عند 28 يوماً، بينما تفوقت خلطة 6% و20% ضمن العينات الجافة في العمر نفسه.

## 7 الاستنتاجات

1. انخفضت القيم المسجلة للكثافة للخلطات المعدلة مقارنة بالمرجعية، وبلغ أكبر انخفاض نسبي في عمود المعالجة بالماء نحو 8.81% عند 9% بلاستيك و30% سیکا؛ ولا يثبت ذلك وحده تصنيف الخرسانة بأنها خفيفة الوزن.
2. عند 7 أيام، بقيت الخلطة المرجعية الأعلى مقاومة ضمن العينات المعالجة بالماء، وكانت خلطة 6% بلاستيك و20% سیکا الأفضل بين الخلطات المعدلة في هذه الحالة.
3. عند 28 يوماً، حققت خلطة 3% بلاستيك و10% سیکا أعلى مقاومة للعينات المعالجة بالماء، مقدارها 37.88 ميغاباسكال، بزيادة وصفية قدرها نحو 4.27% على المرجعية.
4. بلغت أعلى مقاومة للعينات الجافة عند 28 يوماً 33.55 ميغاباسكال لخلطة 6% بلاستيك و20% سیکا؛ لذلك تختلف الخلطة الأعلى أداءً باختلاف حالة العينات.
5. اقترنت خلطة 9% بلاستيك و30% سیکا بانخفاض مقاومة الضغط في العمرين، مقارنة بالخلطة المرجعية في حالة المعالجة نفسها.
6. كانت مقاومة المعالجة بالماء أعلى من الجافة في جميع خلطات 28 يوماً، مع وجود استثناء في بيانات 7 أيام عند خلطة 9% و30%.

## 8 التوصيات

3. تنفيذ تصميم تجريبي مستقل يتضمن خلطات بالبلاستيك وحده، وأخرى بمادة سیکا وحدها، وخلطات مشتركة، مع تثبيت باقي المتغيرات.
4. إعادة اختبار النسب المنخفضة، ولا سيما الخلطة المكونة من 3% بلاستيك و10% سیکا، بوصفها مرشحاً للتحقق الإضافي، وعدم اعتبارها نسبة مثلى عامة قبل تكرار التجربة.
5. توفير مكررات مستقلة كافية لكل عمر وحالة، والإبلاغ عن النتائج الفردية والمتوسط والانحراف المعياري، وإجراء تحليل إحصائي مناسب متى اكتملت البيانات.
6. توسيع الاختبارات لتشمل قابلية التشغيل والامتصاص والمسامية والشد والانحناء والديمومة، وإجراء تحليل للتكلفة ودورة الحياة قبل التوصية بالاستخدام التطبيقي.

## المراجع

- [1] Li, Z. (2011). Advanced concrete technology. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470950067>
- [2] Moore, D. (1995). The Roman Pantheon: The triumph of concrete. Office Outlet Publishing. <https://www.romanconcrete.com/questions.htm>
- [3] Department for Environment, Food & Rural Affairs. (2013). Quality action plan: Proposals to promote high quality recycling of dry recyclates.

[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/221028/pb13875-qap-recycling.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221028/pb13875-qap-recycling.pdf)

[4] Lienig, J., & Bruemmer, H. (2017). Recycling requirements and design for environmental compliance. In *Fundamentals of electronic systems design* (pp. 193–218). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55840-0>

[5] Rashwan, E. F. (2016). Effects of pre-treated recycled tire rubber on fresh and mechanical properties of concrete [Master's thesis, Islamic University of Gaza].

[6] Mohammed, S. J., Al-Hadithi, A. I., & Ahmed, S. K. (2018). Producing of eco-friendly lightweight concrete using waste polystyrene particles as aggregates with adding waste plastic. *Iraqi Journal of Civil Engineering*, 12(1), 45–56. <https://doi.org/10.37650/ijce.2018.142407>

[7] Hilles, M. M., & Ziara, M. M. (2018). Mechanical behavior of high strength concrete reinforced with glass fiber reinforced polymer. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 8(4), Article 318. <https://doi.org/10.4172/2165-784X.1000318>

[8] خليفة، هدى نعمة. (2005). تأثير إضافة رماد فحم الخشب على بعض خواص الخرسانة الطرية والمتصلبة. *مجلة التقني*، 18(2)، 7–14.

Khalifa, H. N. (2005). The effect of adding wood ash on some properties of wet and solid concrete. *Journal of Techniques*, 18(2), 7–14.

[9] حاوي، خالد حسن. (2015). تأثير الرماد المتطاير كبديل جزئي عن الرمل على خواص خرسانة الركام الخشن المعاد. *مجلة جامعة بابل، العلوم الهندسية*، 23(4)، 804–820.

Hawi, K. H. (2015). Effect of fly ash as a partial replacement for sand on the properties of recycled coarse aggregate concrete. *Journal of University of Babylon, Engineering Sciences*, 23(4), 804–820.

[10] Sika. (2025). SikaGrout-214-11: Shrinkage compensated, pumpable, cementitious grout [Product data sheet, Version 03.02]. [https://vnm.sika.com/dam/dms/vn01/n/sikagrout\\_-214-11.pdf](https://vnm.sika.com/dam/dms/vn01/n/sikagrout_-214-11.pdf)