Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

دراسة أثر إضافة مخلفات الطرق الاسفلتية المعاد تدويرها كبديل جزئي للركام الخشن على خواص الخرسانة الطازجة و المتصلدة

إسلام جبريل*[1]، عيادة امحمد ابوعجيلة[2]، عبد القوي سليمان ابوكنيشة[3]، عبد المتين سليمان ابوكنيشة[3]

[1]قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة غريان، غريان، ليبيا، eslam.gabreil@gu.edu.ly
[2]قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة غريان، غريان، ليبيا،
[3]قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة غريان، غريان، ليبيا،

*Corresponding author: eslam.gabreil@gu.edu.ly

Received: 13 June 2026	Accepted: 18 Aug 2026	Published: 01 Sep 2026

الملخص

تشكل مخلفات الطرق تحديًا بيئيًا كبيرًا نظرًا لكمياتها الضخمة وتأثيرها السلبي على البيئة، و إعادة تدوير هذه المخلفات تعد حلًا مستدامًا يقلل من التلوث ويوفر الحد من استخدام الموارد الطبيعية. إحدى طرق إعادة تدوير مخلفات الطرق الاسفلتية هي استخدامها كمواد مالئة جزئيا في الخلطات الخرسانة، مما يقلل من الاعتماد على المواد الأولية التقليدية. اجريت هذه الدراسة بهدف تقييم تأثير إضافة مخلفات الطريق على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلبة، عن طريق إعداد أربع خلطات خرسانية بنسب مختلفة من مخلفات الطريق (0%، 25%، 50%، 75%) كبديل جزئي للركام الخشن. اجري اختبار الخواص الميكانيكية، بما في ذلك الهبوط، والكثافة ومعدل الامتصاص، ومقاومة الضغط، ومقاومة الشد الغير مباشر، ومقاومة الانحناء، في أعمار مختلفة (7 و14 و28) يومًا. كما اجري ايضا اختبار تأثير التعرض الحراري (عند عمر 28 يومًا) على مقاومة الضغط. أظهرت نتائج هذه الاختبارات أن زيادة نسبة مخلفات الطرق الاسفلتية (RAP%) تودي إلى انخفاض ملحوظ في قابلية التشغيل (الهبوط)، والكثافة، ومقاومة الضغط، والشد غير المباشر، والانحناء، مع زيادة ملحوظة في معدل الامتصاص. كانت الخلطة القياسية (0%) هي الأفضل من حيث الأداء، بينما أظهرت الخلطات التي تحتوي على نسب معتدلة من مخلفات الطرق (25%) أداءً مقبولًا، مما يجعلها خيارًا بيئيًا واقتصاديًا مناسبًا. كما أظهرت نتائج اختبار مقاومة الضغط بعد التعرض الحراري انخفاضًا واضح، خاصةً عند استخدام نسب مرتفعة من مخلفات الطرق الاسفلتية RAP (50% و75%). وتشير هذه النتائج إلى أن استخدام مخلفات الطرق في الخرسانة يتطلب دراسة دقيقة لخصائصها واختيار نسب مناسبة للحصول على خواص ميكانيكية مقبولة. ويوصى بإجراء دراسات إضافية للتحسين من خواص مخلفات الطرق قبل استخدامها في الخلطات الخرسانة، مثل معالجة مخلفات الطريق حرارياً أو كيميائياً قبل إضافتها للخرسانة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، مخلفات الطرق الاسفلتية، الركام، ليبيا

Abstract

Road waste poses a significant environmental challenge due to its enormous quantities and negative impact on the environment. Recycling this waste is a sustainable solution that reduces pollution and minimizes the use of natural resources. One method of recycling asphalt road waste is to use it as a partial filler in concrete mixes, thus reducing reliance on traditional raw materials. This study aimed to evaluate the effect of adding road waste on the properties of fresh and hardened concrete by preparing four concrete mixes with different percentages of road waste (0%, 25%, 50%, and 75%) as a partial replacement for coarse aggregate. Mechanical properties, including slump, density, absorption rate, compressive strength, indirect tensile strength, and flexural strength, were tested at different ages (7, 14, and 28 days). The effect of heat exposure (at 28 days) on compressive strength was also tested. The results of these tests showed that increasing the percentage of asphalt road waste (RAP) leads to a significant decrease in workability (settlement), density, compressive strength, indirect tensile strength, and flexural strength, along with a significant increase in the absorption rate. The standard mix (0%) performed best,

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

while mixes with moderate RAP content (25%) showed acceptable performance, making them a suitable environmental and economic option. The compressive strength test results after heat exposure also showed a clear decrease, especially when using high RAP contents (50% and 75%). These results indicate that the use of RAP in concrete requires careful study of its properties and selection of appropriate proportions to achieve acceptable mechanical properties. Further studies are recommended to improve the properties of RAP before its use in concrete mixes, such as thermally or chemically treating the RAP before incorporating it into the concrete.

Keywords: Concrete, asphalt road waste, aggregate, Libya

1. المقدمة

الخرسانة هي مادة بناء صلبة تتكون من خمس مكونات رئيسية الإسمنت والماء والركام الخشن والركام الناعم والإضافات، يوفر الإسمنت الرابطة التي تربط الركام معاً، بينما يوفر الرمل الحجم والصلابة والماء يوفر الرطوبة اللازمة للتفاعل الكيميائي الذي يربط المكونات معا [1]. بالرغم من التوسع المتزايد في مجال مواد البناء ودخول العديد من المواد الجديدة فإنه تضل الخرسانة الأكثر استخدامًا سواء محلي أو عالميًا. تتزايد أهمية إجراء البحوث العلمية للوصول إلى خرسانة صديقة للبيئة، وتوصف على أنها خرسانة لا يؤدي إنتاجها إلى تدمير البيئة، وتتميز بأداء عال، ويدخل في إنتاجها على الأقل مادة نفايات واحدة. أن إعادة استخدام النفايات الصلبة تعد عملية مهمة حيث أنها تساهم في عدم نفاذ المصادر الطبيعية وتأمين المواد الأولية عن طريق استخدام النفايات بديلا عن المواد الخام، كما لها دور مهم من الناحية البيئية وذلك بالحد من تراكمها في [2]. يعتبر البيتون من أهم مواد البناء لما له من ميزات إيجابية، ولا سيما كونه مادة بناء رخيصة ومتوفرة محلياً. ومع تطور المدن تزداد حركة هدم واعادة إعمار المباني بغرض ملائمة أغراض جديدة أو بسبب انتهاء العمر التصميمي للمباني، مما يؤدي إلى تراكم كميات كبيرة من المخلفات التي يشكل البيتون جزءاً كبيراً منها، ويشكل ذلك تحدياً جديداً للبيئة والمجتمع. ازداد الوعي البيئي عالمياً في الآونة الأخيرة وأصبح إعادة استخدام أو تدوير مخلفات الهدم والبناء أحد أهداف التنمية المستدامة التي لها أثر إيجابي كبير على الجوانب البيئية والاقتصادية والاجتماعية، حيث أصبحت عملية إعادة التدوير سياسة معتمدة في الكثير من الدول المتقدمة. وتتلخص هذه العملية بتجميع نفايات الهدم والبناء ومعالجتها و إعادة استخدامها من جديد، أي إعادتها إلى دورتها الاستثمارية وجعلها مادة صالحة للاستعمال لنفس الغرض أو لأغراض أخرى وهذه الطريقة مفيدة بيئياً كونها تقلل حجم النفايات المتولدة وبالتالي توفر مساحة الأرض المستغلة كمكب للنفايات، كما أنها تساهم في الحفاظ على المصادر الطبيعية الأصلية [3]. يتناول هذا البحث دراسة مدى تأثير إضافة مخلفات الطرق الاسفلتية على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلبة، عن طريق اختبار خلطات خرسانية ذات نسب مختلفة من مخلفات الطرق الاسفلتية.

2. الدراسات السابقة

1. قام الباحث (سالم العريمي وآخرون، 2007) بإعادة تدوير الرصف الاسفلتي المعاد تدويره في الخرسانة الإسمنتية. حيث تناولت الدراسة خصائص الخرسانة المصنوعة من ركام الرصف الأسفلتي المعاد تدويره RAP بنسب (0%،

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

25%، 50%، 75% و 100%) كبديل جزئي للركام الخشن في خلطات الخرسانة، وذلك بتصميم مجموعتين من الخلطات الخرسانية تكون نسبة الماء الى الاسمنت في الأولى 45% ومحتوى اسمنت 380 كجم/م^3 وفي المجموعة الثانية 50% ومحتوى اسمنت 425 كجم/م^3. اجريت عدة اختبارات على الخلطات تضمنت اختبار الهبوط والكثافة، واجهاد الانضغاط، واجهاد الانحناء وبعمر 28 يوم. أظهرت النتائج أن زيادة نسبة RAP تؤدي إلى انخفاض في مقاومة الضغط، حيث انخفضت مقاومة الانضغاط إلى 58% عند 100% من الاستبدال. كما بينت النتائج إمكانية استخدام RAP في التطبيقات الخرسانية غير الهيكلية، مع ضرورة تحديد النسبة المناسبة حسب التطبيق.

2. في دراسة للباحث (نبيل حسينى وآخرون، 2010) تم استخدام الخرسانة التي تحتوي على نسب مختلفة من ركام الأسفلت المعاد تدويره (RAP) بنسبة (0%، 10%، 20%، و40%). كما تم إعداد خلطتين بمحتوى مائي واسمنتي مختلف، ففي الخلطة الاولى كانت نسبة الماء للإسمنت (w/c) 0.53 وكمية الاسمنت للمتر المكعب 301 كجم/م^3، و في الخلطة الثانية كانت نسبة الماء للأسمنت (w/c) (0.53، 0،48، 0.43) وكمية الاسمنت للمتر المكعب 373 كجم/م3. اجريت مجموعة من الاختبارات مثل اختبار الهبوط والكثافة ومقاومة الانضغاط والشد الغير مباشر، ومقاومة الانحناء وبعمر (14، 28، 90) يوم. أظهرت النتائج أن جميع الخصائص الميكانيكية الرئيسية للخرسانة (مقاومة الانضغاط، الشد الغير مباشر، ومقاومة الانحناء) تقل بزيادة نسبة ركام الاسفلت المعاد تدويرهRAP.
3. قام الباحث (محمد طه ابو العينين وآخرون، 2010) باستخدام أسفلت الطرق المعاد تدويره RAP كبديل للركام الخشن في الخرسانة، حيث تم استبدال الركام الخشن بنسبة 0%، 15% و30% من الوزن. تم عمل خلطات خرسانية باستخدام محتويات إسمنتية مختلفة (250، 300 و350 كجم/م^3)، واجريت دراسة الخواص الميكانيكية للخرسانة باختبار مقاومة الضغط بعد 28 يوما. أظهرت النتائج أن إضافة RAP تؤدي إلى انخفاض تدريجي في مقاومة الضغط، بينما أظهرت الخلطات التي لا تحتوي على RAP اداء افضل.
4. قام الباحث (نجيب الحق جادون وآخرون، 2020) باستخدام رصف الأسفلت المعاد تدويره RAP في الخرسانة، حيث استخدام أسفلت الطرق المعاد تدويره RAP كبديل للركام الخشن في الخرسانة الإسمنتية بنسبة استبدال (0%، 25%، 50%، 75% و100%) من وزن الركام الخشن. اجريت اختبارات مقاومة الضغط والشد والانحناء للعينات وبعمر 28 يوم، وأظهرت النتائج أن استخدام RAP في الخرسانة يؤدي إلى انخفاض تدريجي في الخصائص الميكانيكية. حيث انخفضت قوة الضغط بنسبة تصل إلى 57% عند استبدال 100% من الركام، بينما كانت النسبة 28% عند استبدال 25%، وبين ان نسبة الاستبدال 25% هي أفضل نسبة لتحقيق توازن بين الأداء والتكلفة.

3. المواد وطرق العمل

1.3 الإسمنت

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

استخدم الإسمنت البورتلاندي العادي نوع (42.5N) المورد من مصنع البرج زليتن (شركة الاتحاد العربي للمقاولات) في جميع الخلطات المتبعة في هذه الدراسة. ويعتبر هذا الاسمنت مطابق للمواصفات القياسية الليبية رقم (2009/340). الجدول 1 يبين الخواص الفيزيائية للإسمنت المستخدم في هذه الدراسة.

الجدول 1: الخواص الفيزيائية للإسمنت المستخدم في هذه الدراسة.

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة
زمن الشك الابتدائي	160 دقيقة	لا يقل عن 45 دقيقة
زمن الشك النهائي	225 دقيقة	لا يزيد عن 10 ساعات
النعومة	%9.25	لا تزيد عن 20%
التمدد	1 مم	لا يزيد عن 10 مم
نسبة المحتوى المائي القياسي	%26.5	ما بين (25–30) %
مقاومة الضغط بعد 7 أيام	23.18 ن/مم^2	لا تقل عن 23 ن/مم^2
مقاومة الضغط بعد 28 يوم	41.85 ن/مم^2	لا تقل عن 39 ن/مم2

2.3 الركام الناعم

استعمل الركام الناعم من محجر منطقة (أبو رشادة بمدينة غريان) في عمل الخلطات الخرسانية، حيث كانت نتائج التحليل المنخلي ضمن الحدود المواصفات الليبية رقم 49 لسنة 2002 و للمواصفات البريطانية (BS 882:1992) كما مبين في الجدول 2. الجدول 3 يعرض الخواص الفيزيائية للركام الناعم المستخدم.

الجدول 2: نتائج اختبار التحليل المنخلي للركام الناعم المستخدم.

رقم المنخل (mm)	وزن المحجوز (gm)	المحجوز التراكمي (gm)	نسبة المحجوز (%)	نسبة المار (%)	حدود المواصفة
5	0	0	0	100	100
2.36	11.8	11.8	0.59	99.41	100 – 80
1.18	79.2	91	4.56	95.44	100 – 70
0.6	84.5	175.5	4.23	95.77	100 – 55
0.3	1004.3	1179.8	59.08	40.92	70 – 5
0.15	565.6	1745.4	87.4	12.6	15 – 0
الوعاء	251.6	1997	100	0	–

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

الجدول 3: الخواص الفيزيائية للركام الناعم المستخدم.

الخواص	نتيجة الإختبار	حدود المواصفة
الوزن النوعي الظاهري	2.65	2.7 – 2.6
نسبة الإمتصاص	%0.92	لا تزيد عن 3%
نسبة المواد الناعمة	%1.56	لا تزيد عن 3%

3.3 الركام الخشن

استعمل ركام خشن بمقاسين اعتباريين 1سم و 1.5سم من نفس محجر الركام الناعم محجر منطقة (أبورشادة)، حيث تم الخلط بينهما بنسبة 1:1. نتائج اختبار التحليل المنخلي عند خلط الركام كانت ضمن الحدود المسموح بها حسب المواصفات البريطانية (BS 882:1992)، كما مبين في الجدول 4 . الجدول 5 يعرض الخواص الفيزيائية للركام الخشن المستخدم.

الجدول (4) نتائج إختبار التحليل المنخلي لركام الخشن بعد خلط بنسبة 1:1

رقم المنخل(mm)	نسبة المار (%)	حدود المواصفات
37.5	100	100
20	66.5	70 – 35
14	51.73	55 – 25
10	22.08	40 – 10
5	0.96	5 – 0
الوعاء	0	–

الجدول (5) الخواص الفيزيائية للركام الخشن.

الخواص	نتيجة الإختبار	حدود المواصفة
الوزن النوعي الظاهري	2.53	2.7 – 2.5
نسبة الإمتصاص	%0.68	لا تزيد عن 3%

4.3 ماء الخلط

يعتبر الماء عنصراً أساسياً في تكوين الخلطات الخرسانية، وتنص المواصفات على أن الماء المستخدم في الخرسانة يجب أن يكون نظيف وخالي من الشوائب والمواد الضارة مثل الأملاح والأحماض والقلويات والمواد العضوية والمواد الناعمة سواء كانت ذائبة أو عالقة. كما يجب أن يكون ماء الخلط مطابقة للمواصفات العالمية للماء المستخدم في الخلطات الخرسانية وبشكل عام فإن الماء الصالح للشرب يحققها، لذلك تم استخدام ماء صالح للشرب في إنتاج الخلطات الخرسانية. والجدول 6 يعرض نتائج التركيب المعدني للماء المستخدم في هذه الدراسة.

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

جدول 6: نتائج التركيب المعدني للماء المستخدم.

اسم الاختبار	التركيز (mg/L)	المواصفات الليبية رقم 294 لسنة 1988م الحد الأقصى المسموح به (mg/L)
الكبريتات $SO4^{+2}$	22	1000
الكلوريدات CL^{-}	20	500
مجموعة الأملاح الذائبة TDS	100	2000
الأس الهيدروجيني pH	6.8	8 – 6

5.3 مخلفات الطريق

تم استخدام مخلفات الطريق التي تم الحصول عليها من مشاريع إعادة تأهيل الطرق الاسفلتية، حيث تمت معالجة هذه المخلفات عن طريق التكسير اليدوي لتقليل حجمها إلى جزيئات مناسبة للاستخدام كركام في الخلطة الخرسانية. اجري اختبار التحليل المنخلي لمخلفات الطريق وكانت النتائج ضمن الحدود المسموح بها حسب المواصفات البريطانية (BS 882:1992). ويوضح الشكل 1 مخلفات الطريق المستخدمة في الدراسة بينما يعرض الجدول 7 نتائج التحليل المنخلي.

الشكل 1: مخلفات الطريق المستخدمة في الدراسة.

جدول 7: نتائج التحليل المنخلي لمخلفات الطريق.

رقم المنخل (mm)	وزن المحجوز على كل منخل (gm)	المحجوز التراكمي (gm)	نسبة المئوية للمحجوز (%)	نسبة المئوية للمار التراكمي (%)	المواصفات البريطانية (BS 882:1992)
37.5	0	0	0	100	100
20	130	130	6.5	93.5	100 – 90
14	816	946	47.3	52.7	80 – 40
10	270	1216	60.8	39.2	60 – 30
5	756	1972	98.6	1.4	10 – 0
الوعاء	28	2000	100	0	–

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

6.3 تصميم الخلطات الخرسانية

صممت جميع الخلطات الخرسانية باستخدام الطريقة الوضعية [8]، حيث حددت كميات مكونات الخلطة للمتر المكعب من الخرسانة: (350 كجم ما يعادل 7 اكياس) للإسمنت مقابل (0.4 م^3) للركام الناعم و (0.8 م^3) للركام الخشن، بينما كانت نسبة الماء الى الاسمنت W/C في حدود 50%. تم استبدال الركام الخشن الطبيعي بمخلفات الطرق الاسفلتية لإنتاج خرسانة جديدة بنسب استبدال (0%، 25%، 50%، و 75%) كما هو موضح في الجدول 8.

جدول 8: مكونات الخلطات الخرسانية في المتر المكعب.

الخلطة	الاسمنت C (kg)	الماء W (kg)	W/C (–)	الركام الناعم (kg)	الركام الخشن (الطبيعي) (kg)	الركام الخشن (مخلفات الطرق) (kg)
Mix-00	350	175	0.5	700	1400	0
Mix-25					1050	350
Mix-50					700	700
Mix-75					350	1050

4. مناقشة النتائج

1.4 نتائج إختبار الهبوط

يعد إختبار الهبوط Test Slump من أهم الاختبارات التي تجرى على الخرسانة الطازجة لتحديد قابلية التشغيل ومدى سهولة تشكيل وصب الخرسانة، ويوضح جدول 9 مقدار الهبوط للخلطات الخرسانية المعدلة بإضافة مخلفات الطرق بنسب مختلفة (0%، 25%، 50%، 75%) كبديل جزئي لركام الخشن.

جدول 9: نتائج اختبار الهبوط.

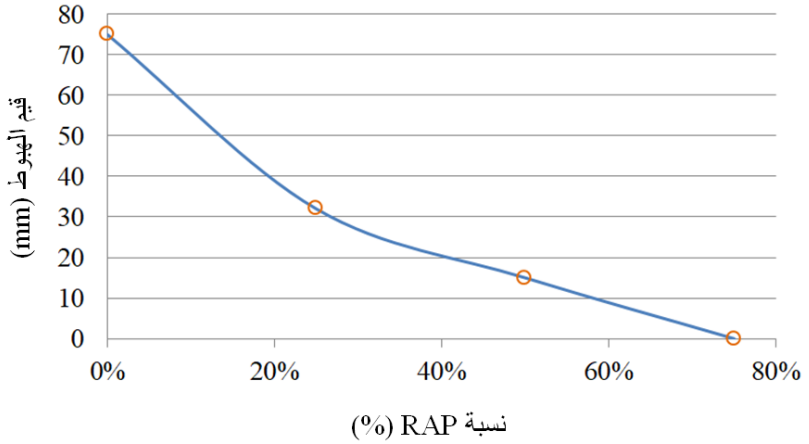
الخلطة	نسبة (RAP) (%)	مقدار الهبوط (mm)	درجة التشغيل
Mix-00	0	75	متوسطة
Mix-25	25	32	منخفضة
Mix-50	50	15	منخفضة جداً
Mix-75	75	0	منخفضة جداً

تشير هذه النتائج الي أن مقدار الهبوط ينخفض تدريجيًا مع زيادة نسبة مخلفات الطرق في الخلطات الخرسانية، أي أن قابلية التشغيل تقل مع زيادة نسبة مخلفات الطرق. سجلت اعلى قيمة للهبوط بمقدار 75 ملم للخلطة الاولى Mix-00 (0%RAP)، مما يشير إلى قابلية عالية للتدفق والتشغيل، ومع زيادة نسبة RAP إلى 25% انخفض الهبوط إلى القيمة

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

32 ملم، وواصل الانخفاض بشكلٍ أكبر عند نسب RAP 50% و75%، ليصل الهبوط إلى 0 ملم، وهذا يتوافق مع دراسة الباحث (سالم العريمي وآخرون، 2007) التي تشير إلى أن زيادة نسبة مخلفات الطرق تؤثر بشكل كبير على قابلية التشغيل. الشكل 2 يوضح العلاقة بين نسبة مخلفات الطرق وقيم الهبوط.



الشكل 2: العلاقة بين نسبة مخلفات الطرق وقيم الهبوط.

2.4 نتائج نسبة الامتصاص

تعتمد نسبة الامتصاص للخرسانة المتصلدة بشكل كبير على نسبة الماء للإسمنت وتعتمد أيضا على محتوى المواد الإسمنتية الرابطة ونوعها. تم اجراء اختبار الامتصاص للعينات بعمر 28 يوما وذلك بتجفيف العينات في فرن كهربائي درجة حرارته 105 درجة مئوية ولمدة 24 ساعة، تم بردت ووزنت بميزان الكتروني لتحديد وزن العينات وهي حافة. تم غمرت العينات مباشرة في ماء درجة حرارته 20 درجة مئوية ولمدة 24 ساعة واخرجت بعد ذلك وجفف سطحها ووزنت لتحديد وزنها قبل التجفيف. وتم حساب نسبة الامتصاص بقسمة الفرق بين الوزن قبل التحفيف والوزن بعد التجفيف على الوزن قبل التجفيف والنتائج موضحة في الجدول 10.

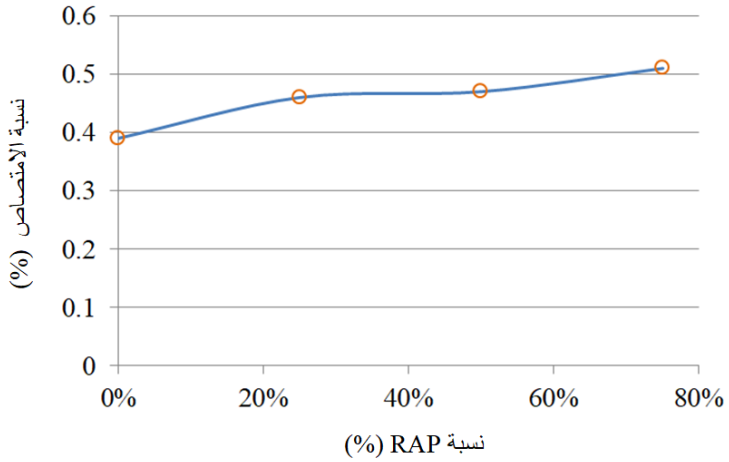
جدول10: نتائج إختبار نسبة الامتصاص.

الخلطة	نسبة (RAP) (%)	الوزن قبل التجفيف (kg)	الوزن بعد التجفيف (kg)	نسبة الامتصاص (%)
Mix-00	0	8.578	8.545	0.39
Mix-25	25	8.320	8.282	0.46
Mix-50	50	8.210	8.172	0.47
Mix-75	75	8.204	8.162	0.51

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

يلاحظ أن نسبة الامتصاص تزداد تدريجيًا مع زيادة نسبة مخلفات الطرق، حيث ارتفعت نسبة الامتصاص من 0.39% عند RAP 0% إلى 0.51% عند RAP 75%، ويبين الشكل 3 العلاقة بين مخلفات الطرق ونسبة الامتصاص.



الشكل 3: العلاقة بين نسبة مخلفات الطرق ونسبة الامتصاص.

3.4 نتائج اختبار الكثافة

الكثافة هي العامل الأساسي الذي له علاقة بوزن الخرسانة حيث خفت وزن الخرسانة تعتمد على كثافتها فكلما انخفضت الكثافة قل الوزن ونوعها. في هذا الاختبار عينت الكثافة الجافة للعينات بوزنها بعد التجفيف بشكل تام في الفرن الكهربائي وحددت الكثافة بقسمة الوزن الجاف على حجم العينة كجم/م^3، بينما حددت الكثافة المبللة بقسمة وزن العينة بعد غمرها في الماء على حجمها، كما مبين في الجدول 11.

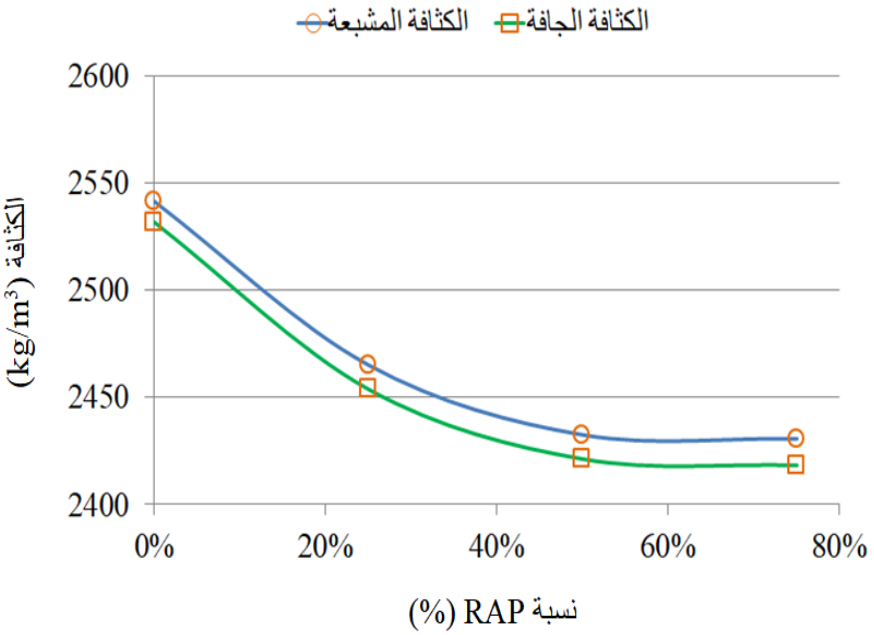
جدول11: نتائج إختبار الكثافة

الخلطة	نسبة (RAP) (%)	الوزن قبل التجفيف (kg)	الوزن بعد التجفيف (kg)	حجم العينة (m^3)	كثافة العينات المبللة (kg/m^3)	كثافة العينات الجافة (kg/m^3)
Mix-00	0	8.578	8.545	0.003375	2541.6	2531.9
Mix-25	25	8.320	8.282	0.003375	2465.2	2453.9
Mix-50	50	8.210	8.172	0.003375	2432.6	2421.3
Mix-75	75	8.204	8.162	0.003375	2430.8	2418.4

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

يلاحظ أن الكثافة تقل تدريجيًا مع زيادة نسبة مخلفات الطرق RAP، وهو ما يمكن تفسيره بأن مخلفات الطرق أقل كثافة من الركام الطبيعي المستخدم في الخلطة. تبين النتائج انخفضا في الكثافة من 2531.9 كجم/م^3 عند استخدام RAP 0% إلى 2418.4 كجم/م^3 عند استخدام RAP 75% بنسبة 4.5% تقريبا، وهذا يتوافق مع دارسة الباحث (سالم العريمي وآخرون، 2007) الذي أشار بأن الكثافة تقل بزيادة نسبة مخلفات الطرق. ويبين الشكل 4 العلاقة بين مخلفات الطرق والكثافة.



الشكل 4: العلاقة بين نسبة مخلفات الطرق وقيم الكثافة.

4.4 نتائج اختبار مقاومة الضغط

اختبار مقاومة الضغط يعد من الاختبارات الهامة لخواص الخرسانة المتصلدة، حيث يعبر عن درجة جودتها وصلاحيتها. أن مقاومة الضغط تعتبر المقاومة الرئيسية للخرسانة، حيث معظم الخواص مثل الشد والانحناء والقص تزيد بزيادة مقاومة الضغط والعكس صحيح. اجري إختبار قوة مقاومة الانضغاط على عدد 36 مكعب خرساني للأعمار (28، 14، و7) يوما بواقع ثلاثة مكررات لكل عمر، وذلك باستخدام قوالب حديدية مكعبة الشكل بأبعاد (150×150×150) ملم. كما اجري اختبار الضغط على العينات بعمر 28 يوم بعد تجفيفها وذلك لدراسة مدى تأثير درجة الحرارة على مقاومة الضغط. استخدام جهاز إختبار ضغط معاير بسعة 100 طن وذلك بتسليط قوة ضغط مباشرة على العينة، ولكل خلطة اخذت القيمة المتوسطة لثلاثة مكررات للحصول على قيم اكثر دقة، ويعرض الجدول 12 نتائج إختبار الضغط.

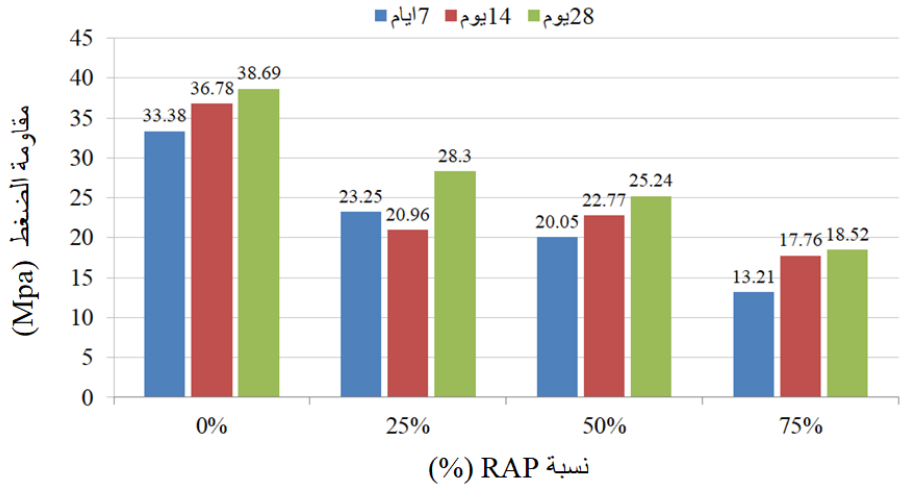
"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

جدول 12: نتائج إختبار الضغط.

الخلطة	نسبة (RAP) (%)	مقاومة الضغط (Mpa)			بعد التجفيف
		7 أيام	14 يوم	28 يوم	28 يوم
Mix-00	0	33.38	36.78	38.69	36.80
Mix-25	25	23.25	20.96	28.30	21.44
Mix-50	50	20.05	22.77	25.24	17.02
Mix-75	75	13.21	17.76	18.52	11.77

تبين النتائج المدرجة في الجدول 12 أن زيادة نسبة مخلفات الطرق في الخلطات الخرسانية يؤدي إلى انخفاضًا ملحوظًا في مقاومة الضغط في جميع الأعمار. اعلى قيمة لمقاومة الضغط سجلت عند استخدام نسبة RAP 0%، بينما القيمة الأدنى لمقاومة الضغط سجلت عند استخدام نسبة RAP 75%. ونجد ان للخلطات الخرسانية وبعمر 28 يوم انخفضت مقاومة الضغط عن الخلطة القياسية بنسبة 27%، 35%، و52% عند استخدام نسب استبدال RAP 25%، 50%، و 75% على التوالي. نتائج هده الدراسة تتفق مع دراسة الباحثون (نجيب الحق جادون، محمد طه ابو العينين، سالم العريمي، نبيل حسينى) حيث أشاروا إلى أن إضافة مخلفات الطرق بنسب عالية تؤدي الي انخفاض واضح في مقاومة الضغط. ويبين الشكل 5 العلاقة بين مقاومة الضغط ونسب الاستبدال بمخلفات الطرق.



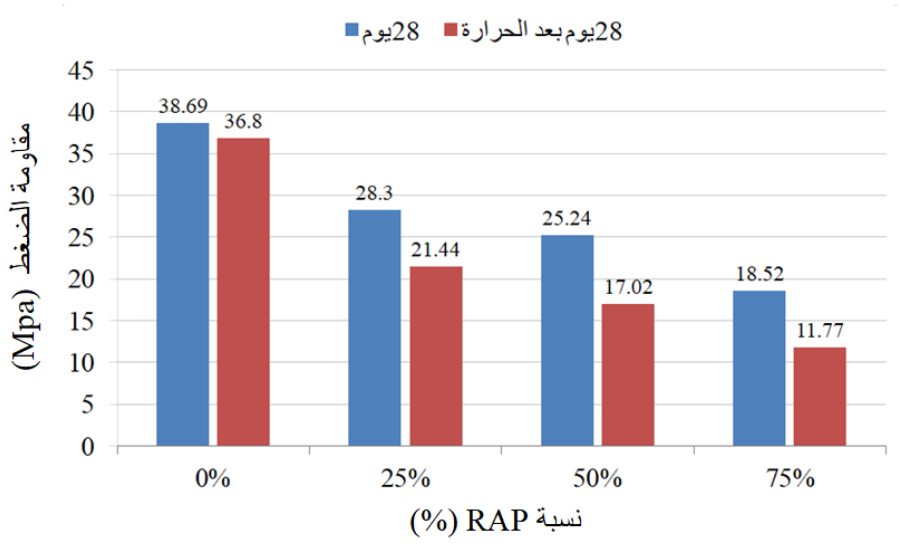
الشكل 5: العلاقة بين نسبة مخلفات الطرق ومقاومة الضغط.

ويوضح الشكل 6 نتائج تأثير التعرض للحرارة على مقاومة ضغط الخرسانة بعمر 28 يوم و المضافة إليها مخلفات الطريق بنسب مختلفة. يلاحظ أن تأثير الحرارة يختلف باختلاف نسبة مخلفات الطريق، حيث انخفضت مقاومة الضغط لعينات

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

الخلطات الخرسانية المعرضة للحرارة تقريبيا بنسبة 5%، 24%، 33%، و37% عند استخدام نسب استبدال RAP 0%، 25%، 50%، و 75% على التوالي. مما يعكس ضعف استقرار الخرسانة تحت ظروف الحرارة.



الشكل 6: العلاقة بين نسبة مخلفات الطرق ومقاومة الضغط بعد التعرض للحرارة.

5.4 نتائج اختبار الشد الغير مباشر

تم إجراء الإختبار على عينات إسطوانية الشكل بأبعاد (150×300) ملم وذلك لتحديد مقاومة الشد الغير مباشر على عدد 16 عينة إسطوانية للأعمار (14، 28) يوما بواقع اثنان مكررات لكل عمر. ولكل خلطة اخذت القيمة المتوسطة للمكررات للحصول على قيم اكثر دقة، ويعرض الجدول 13 نتائج إختبار الشد الغير مباشر.

الجدول 13: نتائج إختبار الشد الغير مباشر.

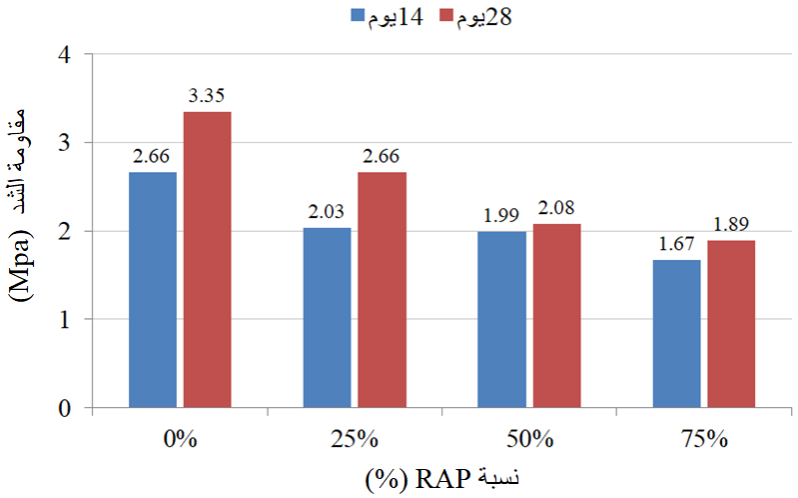
الخلطة	نسبة (RAP) (%)	مقاومة الشد (Mpa)	
		14 يوم	28 يوم
Mix-00	0	2.66	3.35
Mix-25	25	2.03	2.66
Mix-50	50	1.99	2.08
Mix-75	75	1.67	1.89

يبين الجدول 13 انخفاضًا واضحًا في مقاومة الشد غير المباشر مع زيادة نسبة مخلفات الطرق RAP في كلا العمرين (14 و28) يومًا. وهذا يتوافق مع دراسة الباحثون (نجيب الحق جادون، نبيل حسينى) التي تشير إلى أن استخدام مخلفات الطرق

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

بنسب عالية تؤدي الي انخفاض في مقاومة الشد، والشكل 7 يوضح العلاقة بين نسبة مخلفات الطرق ومقاومة الشد. نجد ان للخلطات الخرسانية بعمر 28 يوم انخفضت مقاومة الشد عن الخلطة القياسية بنسبة 20%، 38%، و44% عند استخدام نسب استبدال RAP 25%، 50%، و 75% على التوالي.



الشكل 6: العلاقة بين نسبة مخلفات الطرق ومقاومة الشد.

6.4 نتائج اختبار الانحناء

اختبار مقاومة الانحناء للخرسانة Flexural Strength هي طريقة معملية تستخدم لقياس مقاومة الخرسانة للتشوه عند تطبيق قوى الانحناء عليها. يتم استخدام هذا الاختبار لتقييم قوة الانحناء الخرسانية ولفهم سلوك الخرسانة تحت أحمال الانحناء، حيث يعتبر هذا الاختبار مهماً لتصميم العناصر الخرسانية مثل الأعمدة والجدران والبلاطات. تم إجراء الاختبار على كمرات خرسانية بأبعاد (750×150×150) ملم لتحديد مقاومة الانحناء للخرسانة المتصلدة، حيث تم تعيين مقاومة انحناء لعدد اربعة كمرات خرسانية بواقع كمرة لكل خلطة خرسانية وبعمر 28 يوم من المعالجة، ويوضح الجدول 14 نتائج اختبار مقاومة الانحناء للكمرات.

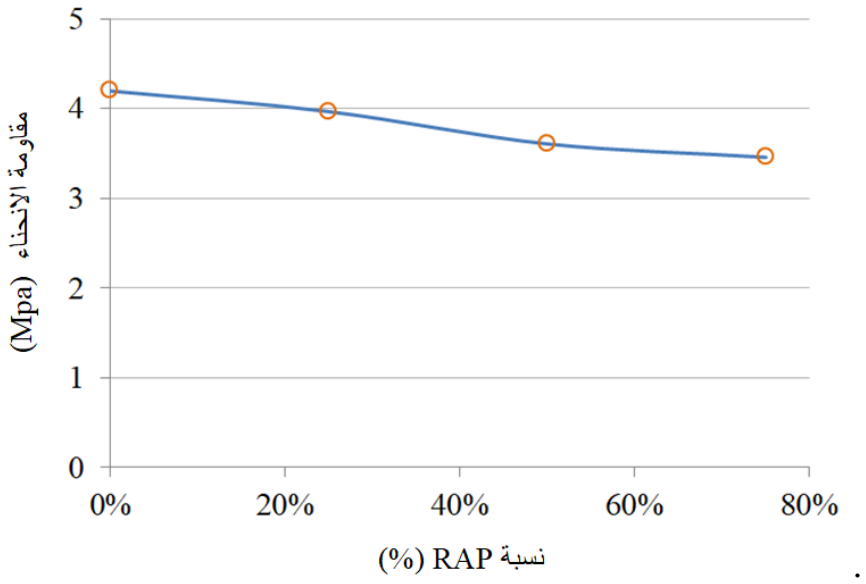
الجدول 14: نتائج إختبار مقاومة الإنحناء.

الخلطة	نسبة (RAP) (%)	مقاومة الإنحناء (Mpa)
Mix-00	0	4.2
Mix-25	25	3.97
Mix-50	50	3.61
Mix-75	75	3.46

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

من خلال النتائج المتحصل عليها المدرجة في الجدول 14، يلاحظ انخفاضًا تدريجيًا في مقاومة الانحناء مع زيادة نسبة مخلفات الطريق، هذا الانخفاض مشابه للاتجاه المرصود في اختبارات مقاومة الضغط و الشد غير المباشر، ويمكن تفسير سبب ذلك الى خصائص مخلفات الطريق التي تؤثر سلبًا على تماسك الخرسانة وقوتها. نتائج هذه الدراسة تتفق دراسة الباحثون (نجيب الحق جادون، نبيل حسينى) التي تشير إلى أن إضافة مخلفات الطرق تقلل من مقاومة الإنحناء. يبين الشكل 7 العلاقة بين نسبة مخلفات الطريق ومقاومة الإنحناء، حيث انخفضت مقاومة الانحناء عن الخلطة القياسية بنسبة 5%، 14%، و18% عند استخدام نسب استبدال RAP 25%، 50%، و 75% على التوالي.



الشكل 7: العلاقة بين نسبة مخلفات الطريق ومقاومة الانحناء.

5. الخلاصة

تناول هذا البحث دراسة مدى تأثير إضافة مخلفات الطرق الاسفلتية على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلبة، عن طريق اختبار خلطات خرسانية ذات نسب مختلفة من مخلفات الطرق الاسفلتية. نتائج هذه الدراسة بينت ان الخلطة القياسية (0%) هي الأفضل من حيث الأداء، بينما أظهرت الخلطات التي تحتوي على نسب معتدلة من مخلفات الطرق (25%) أداءً مقبولًا، مما يجعلها خيارًا بيئيًا واقتصاديًا مناسبًا، حيث يمكن تلخيص النتائج في ما يلي.

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

- أظهرت نتائج اختبار Slump Test انخفاضًا تدريجيًا في الهبوط مع زيادة نسبة مخلفات الطرق، حيث انخفضت قابلية التشغيل بشكل كبير عند استخدام نسب مخلفات طرق 50% و 75%.
- أظهرت نتائج اختبار الامتصاص والكثافة وجود وزيادة في نسبة الامتصاص و انخفاض في الكثافة كلما زادت نسبة مخلفات الطرق، مما يشير إلى زيادة الفراغات وتقليل الترابط الداخلي للخلطة.
- نتائج اختبار مقاومة الضغط تظهر انخفاضًا للمقاومة مع زيادة نسبة مخلفات الطرق. للخلطات الخرسانية بعمر 28 يوم انخفضت المقاومة عن الخلطة القياسية بنسبة 27%، 35%، و52% عند استخدام مخلفات الطرق بنسب 25%، 50%، و 75% على التوالي. في حين ان اختبار التعرض للحرارة، بين ايضا وجود انخفاض في مقاومة الضغط حيث انخفضت المقاومة بنسبة 5%، 24%، 33%، و37% عند استخدام مخلفات الطرق بنسب 0%، 25%، 50%، و 75% على التوالي.
- بينت نتائج اختبار الشد غير المباشر الخلطات ذات النسب العالية انخفاضًا واضحًا في مقاومة الشد غير المباشر. للخلطات الخرسانية بعمر 28 يوم، انخفضت مقاومة الشد عن الخلطة القياسية بنسبة 20%، 38%، و44% عند استخدام مخلفات طرق بنسب 25%، 50%، و 75% على التوالي.
- أظهرت نتائج اختبار مقاومة الانحناء انخفاضًا تدريجيًا في المقاومة مع زيادة نسبة مخلفات الطرق، مع الحفاظ على أداء مقبول عند استخدام نسبة مخلفات طرق (25%). حيث انخفضت مقاومة الانحناء عن الخلطة القياسية بنسبة 5%، 14%، و18% عند استخدام مخلفات طرق بنسب 25%، 50%، و 75% على التوالي.

6. التوصيات

استنادًا إلى نتائج هذا البحث، يمكن تقديم التوصيات التالية:

- يوصى باستخدام مخلفات الطرق بنسبة لا تزيد عن 25% للحصول على توازن بين الأداء الميكانيكي والبيئي.
- ينصح باستخدام مواد محسنة مثل الرماد المتطاير أو غبار السيليكا لتعويض الانخفاض في الخصائص الميكانيكية عند استخدام مخلفات الطرق، وذلك لتعزيز الاداء الميكانيكي.
- يمكن استخدام الخلطات ذات النسب المرتفعة من مخلفات الطرق (50% و75%) في تطبيقات الغير إنشائية مثل الأرصفة والممرات، حيث لا تتطلب مقاومة ميكانيكية عالية.

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"

Gharyan University Journal of Engineering Science (GUJES)
ISSN (3105-4560)
Website: http://journals.gu.edu.ly
email: gujes@gu.edu.ly

- عمل دراسة وتحليل اوسع لمخلفات الطريق من خلال إجراء تحليل شامل لخصائص مخلفات الطريق، بما في ذلك توزيع حجم الجسيمات، ونسبة المواد العضوية، ونسبة الرطوبة، قبل استخدامها في خلطات الخرسانة، قد يساعد هذا التحليل على فهم تأثيرها على خواص الخرسانة بشكلٍ أفضل.
- البحث عن طرق محسّنة لمعالجة مخلفات الطريق قبل استخدامها في خلطات الخرسانة، مثل المعالجة الحرارية أو الكيميائية، لزيادة كثافتها وتقليل امتصاصها وتحسين خواصها.
- إجراء دراسات إضافية على المدى الطويل لدراسة سلوك الخرسانة المضافة إليها مخلفات الطريق تحت ظروف بيئية مختلفة، وتحديد متانتها على المدى البعيد.

المراجع

[1] علي محمود إغليو وإمحمد حسن القط وعبد الكريم خليفة الأطرش وعبد الله علي شفتر، "العلاقة بين مقاومة الضغط ومقاومة الشد في الخرسانة عالية المقاومة"، مجلة جامعة سبها للعلوم البحتية والتطبيقية، قسم الهندسة المدنية، جامعة مصراته، مصراته ليبيا، 2024.

[2] د. بشير معمر أبوراوي، د. فؤاد محمد الكوت، "إستخدام تكنولوجيا إعادة تدوير الإسفلت واستخدامها في التنمية المستدامة"،المؤتمر الهندسي الثاني لنقابة المهن الهندسية بالزاوية، جامعة المرقب – كلية الهندسة – قسم الهندسة المدنية ليبيا، 2019.

[3] ايلاف محمود حسن، "جدوى إعادة تدوير مخلفات البناء البيتونية من الناحيتين البيئية والاقتصادية"، كلية الهندسة المدنية – قسم الهندسة البيئية، جامعة البعث، سوريا، 2021

[4] Salim Al-Oraimi, Hossam F. Hassan and Abdulwahid Hago, "Recycling of Reclaimed Asphalt Pavement in Portland Cement Concrete", Department of Civil and Architectural Engineering, P.O. Box 33, Al-Khoud, P. Code 123, Sultan Qaboos University, Muscat, Sultanate of Oman, 2007.

[5] Nabil Hossiney, Mang Tia and Michael Bergin, "Concrete Containing RAP for Use in Concrete Pavement", I SSN 1997-1400 Int. J. Pavement Res. Technol. 3(5):251-258, 2010.

[6] Mohamed Taha Abo-Elenain, Metwally Abd Allah Abd Elaty, Mariam Farouk Ghazy, "Feasibility of Using Recycled Asphalt Pavement Aggregates in Concrete Pavement", Structural Engineering Dept, Faculty of Engineering, Tanta University, Tanta, Egypt, 2020.

[7] Najeeb ul Haq Jadoon, Irfan Ullah, Muhammad Sarir, Muhammad Noman, Abid Ali Shah, "Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) in Concrete in Perspective of Rigid Pavements",Civil Engineering Infrastructures Journal 2023, 56(2): 381-392,University Islamabad, Pakistan, 2022.

[8] أ.د محمود إمام (2002)، تكنولوجيا خرسانة، جامعة القاهرة.

"Articles published in GUJES are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License"