African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)
Online ISSN: 2957-644X
Volume 4, Issue 4, 2025
Page No: 70-77
Website: *https://aaasjournals.com/index.php/ajapas/index*
ISI 2025: 1.126 **SJIFactor 2024: 6.752** **معامل التأثير العربي: 1.62**

دراسة تأثير استخدام ناتج مخلفات كشط الطرق كبديل جزئي للركام الخشن على مقاومة الضغط للخرسانة وقابلية التشغيل

د. ناجي امحمد صالح *
قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة بني وليد، ليبيا

Study on the Effect of busing Road milling waste as a partial Replacement for Coarse Aggregate on the Compressive Strength and Workability of Concrete

Dr. Naji Amhimmid Salih *
Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Bani Waleed University, Libya

*Corresponding author: najihassan@bwu.edu.ly

Received: August 11, 2025	Accepted: September 26, 2025	Published: October 07, 2025

الملخص:
يتناول البحث تأثير استخدام نسب إحلال جزئي للركام الخشن بواسطة ناتج كشط الأسفلت على خصائص الخلطة الخرسانية. تم اختبار عدة نسب إحلال تبدأ من 0% وحتى 50%، مع قياس معدل الهبوط (mm) ومتوسط مقاومة الضغط للخرسانة بعد 7 و28 يومًا. أظهرت النتائج أن زيادة نسبة الإحلال تؤدي إلى انخفاض تدريجي في معدل الهبوط، حيث انخفض من 90 مم عند 0% إحلال إلى 40mm عند 50% إحلال. كما لوحظ تراجع مستمر في مقاومة الضغط بعد 7 و28 يومًا، حيث تقلصت من (21MPa و 31MPa) إلى (13MPaو18.5MPa) على التوالي مع ارتفاع نسبة الإحلال. يمكن الاستنتاج من البحث أن استخدام ناتج كشط الأسفلت كبديل جزئي للركام الخشن يؤدي إلى تقليل مقاومة الضغط ومتانة الخلطة، ويزيد من معدل الهبوط. لذلك، يجب مراعاة نسب الإحلال الدقيقة لتحسين أداء الخلطة الخرسانية وتقليل التأثيرات السلبية.

الكلمات المفتاحية: مقاومة الضغط، قابلية التشغيل، تأثير، دراسة الركام الخشن.

Abstract:
The study investigates the effect of partially replacing coarse aggregate with asphalt milling byproduct on the properties of concrete mixtures. Several replacement ratios ranging from 0% up to 50% were tested, measuring slump (mm) and average compressive strength at 7 and 28 days. Results indicated that increasing the replacement ratio led to a gradual reduction in slump, decreasing from 90 mm at 0% replacement to 40 mm at 50% replacement. A continuous decline in compressive strength was also observed at both 7 and 28 days, dropping from 21 MPa and 31 MPa to 13 MPa and 18.5 MPa, respectively, with higher replacement percentages. The study concludes that using asphalt milling byproduct as a partial replacement for coarse aggregate reduces compressive strength and durability of the concrete mixture, while increasing slump loss. Therefore, precise control of replacement ratios is essential to optimize concrete performance and minimize adverse effects.

Keywords: Compressive strength, Workability, Effect, Coarse aggregate study.

مقدمة:

تعتبر الخرسانة هي المادة الأكثر استخداما في تنفيذ كافة المشاريع الانشائية والبنية التحتية في الوقت الحاضر ومع تطور المجتمعات قد تزايد الطلب علي هذه المادة وكما هو معروف ان نسبة الركام الخشن في الخرسانة يشكل 70% من مكوناتها ويشكل عنصر أساسي في تحديد مواصفاتها الامر الذي يجعل من الركام الخشن المادة الأكثر طلبا لصناعة الخرسانة ونحن في ليبيا من الدول النامية والتي بها مشاريع تنموية عديدة وكبيرة الامر الذي الي تزايد الطلب علي الركام الخشن مما ادي الي ارتفاع أسعاره كما نشير الي ان صناعة الركام تؤدي الي اضرار بيئية كبيرة وخاصة اذا كانت في المناطق القريبة من التجمعات السكنية والزراعية كما نود الإشارة هنا الي انه في ليبيا منذ اكثر من خمس عقود قد تم تنفيذ شبكة من الطرق الرئيسية والفرعية يبلغ طولها اكثر من 5000 كيلومتر والتي يشكل الركام المادة الأساسية في تكوينها والتي انقضي العمر الافتراضي لأغلبها حيث ان بعضها حاليا يتطلب إعادة تأهيل والبعض الأخير يتطلب تجديد ومن خلال هذه العمليات ينتج مخلفات كبيرة وعملية التخلص منها يتطلب مصاريف كبيرة بالإضافة الي الضرر البئي الكبير الذي يسببه تركها بمكبات المخلفات ولذا اتجهت الأبحاث في الآونة الأخيرة نحو تحقيق الاستدامة في صناعة الانشاءات والبني التحتية من خلال إعادة التدوير والاستخدام ومن خلال هذا البحث سيتم إعادة استخدام ناتج كشط الاسفلت كبديل جزئي للركام الخشن في الخلطات الخرسانية ويمثل هذا التوجه حلاً بيئيا بالإضافة خفض تكاليف صناعة الخرسانة ودلك بالتقليل من الاعتماد علي الركام الطبيعي بالرجوع الي الدراسات السابقة ان مقاومة الضغط تبقي في الحدود المقبولة عند نسب إحلال حتي 20- 30% بينما عند نسب من 30 – 40%.يصبح الانخفاض واضح وقد يخرج عن المواصفات المطلوبة للبناء الانشائي [1]. كما تناولت دراسة اخري تأثير استخدام نسب مختلفة من ناتج كشط الإسفلت على مقاومة الضغط والانحناء للخرسانة، مع إظهار انخفاض تدريجي في القوة بزيادة نسبة الإحلال [2] ما اوضحت دراسة اخري بانه يجب مراعاة بعض الاعتبارات الفنية عند استخدام ناتج الإسفلت، مثل ضعف الترابط بين عجينة الأسمنت والركام الأسفلتي، مما قد يؤثر على الخصائص الميكانيكية للخلطة النهائية كما أظهرت نتائج البحث مراجعة شاملة حول متانة الخرسانة المحتوية على اختبارات الخرسانة المحتوية ناتج كشط الإسفلت، انخفاض مقاومة الخرسانة لظواهر مثل التجمد والذوبان بسبب امتصاص الركام الأسفلتي للماء [3] .

الهدف من الدراسة:

1. في هذا البحث سيتم دراسة مدي تأثير استخدام بعض نسب الاحلال من ناتج كشط الاسفلت كبدل جزئي للركام الخشن والتي لم يسبق استخدامها وتحديد تأثيرها علي قابلية التشغيل ومقاومة الخرسانة.
2. تقديم توصيات حول نتائج الاختبارات وتحديد النسب المثلى للإحلال للتطبيقات المختلفة.

البرنامج العملي:

هدف هذه الدراسة هو بحث مدي تأثير استخدام ناتج الكشط كبديل جزئي للركام الخشن على مقاومة الضغط للخلطات الخرسانية. ولتحقيق هذا الهدف، تم إعداد برنامج عملي شمل تحتوي على خلطة قياسية (M-0) تحقق مقاومة ضغط مقدارها (30Mpa) بإضافة إلى 6 خلطات أخرى تحتوي على نسب مختلفة من ناتج كشط الاسفلت، والذي استُخدم كبديل جزئي للركام الخشن وفقاً للجدول (1). ومن هذه الخلطات تم تجهيز (6) مكعبات بأبعاد (15×15×15 سم) لكل خلطة، علما بأن المعالجة تمت عن طريق غمر المكعبات بالماء الي قبل يوم من موعد الاختبار وقد تم اختبار عدد ثلاث مكعبات بعد 7 أيام، وثلاثة مكعبات أخرى بعد 28 يوماً.

جدول (1) يوضح مكونات الخلطات الخرسانية.

رمز الخلطة	نسبة الاحلال من لناتج الكشط %	ركام طبيعي Kg/m^3	ركام من ناتج الاحلال Kg/m^3	ركام ناعم Kg/m^3	اسمنت Kg/m^3	ماء litter
M-0	0%	1200	0	620	350	165
M-1	5%	1140	60	620	350	165
M-2	10%	1080	120	620	350	165
M-3	15%	1020	180	620	350	165
M-4	20%	960	240	620	350	165
M-5	25%	900	300	620	350	165
M-6	50%	600	600	620	350	165

مواد خلط الخرسانة:

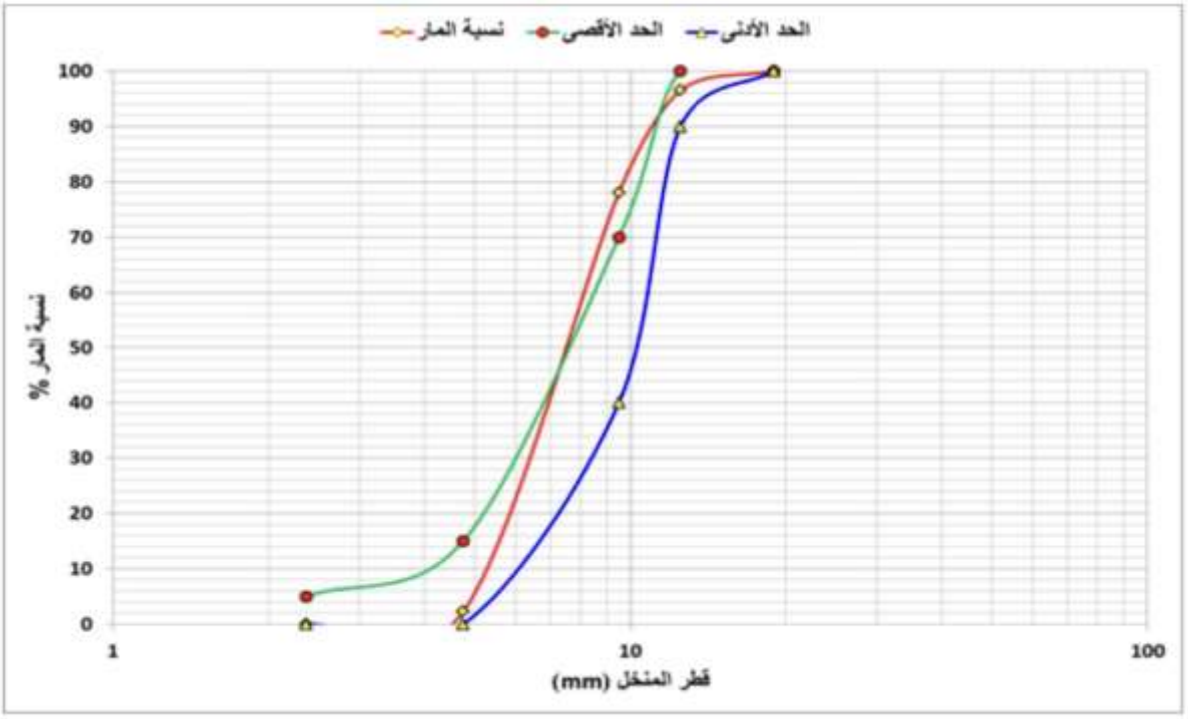
تم استخدام مواد أساسية لتنفيذ خلطات الخرسانة، وهي: الأسمنت البورتلاندي العادي، الركام الخشن، الركام الناعم، ناتج كشط الاسفلت، والماء. وفيما يلي عرض لخصائص هذه المواد:

الأسمنت:
تم استخدام الأسمنت البورتلاندي العادي، المورّد من مصنع الاتحاد العربي – زليتن، في تنفيذ جميع خلطات الدراسة، وهو مطابق للمواصفات القياسية الليبية (340/1997)[4]

الركام الخشن الطبيعي:
تم استخدام الركام من محاجر وادي ينار ببني وليـــد بحجم اسمي (20 ملم). وقد تم استخدام هذا النوع منفرداً دون خلطه مع أي نوع آخر من الركام، وذلك لأن منحنى تدرجه الحبيبي يقع ضمن حـــدود منحنى التدرج للركـــام الخشن حســـب المواصفة الليبية. وقد أُجـري التحـليل المنخلي وفقاً للمـــواصفات القيـاسية الليبية. يوضح الجدول (2) نتائج التحـــليل المنخلي، بينما يبين الشكل (1) منحنى التدرج الحبيبي للركام الخشن طبقاً للمواصفات الليبية.[4]

جدول (2) التحليل المنخلي للركام الخشن الطبيعي.

فتحة المنخل (mm)	وزن المتبقي g	وزن المتبقي التراكمي g	نسبة وزن المتبقي التراكمي %	نسبة المار %	المواصفات القياسية الليبية
19	0	0	0	100	100
14	153.25	153.25	7.663	92.34	90-100
10	797.23	950.48	47.524	52.48	50-85
5	1023	1973.48	98.674	1.33	0-10
pan	19.5	-	-	-	-
المقياس الاعتباري الأكبر للركام =mm20			**الوزن الإجمالي=2000 جرام**		

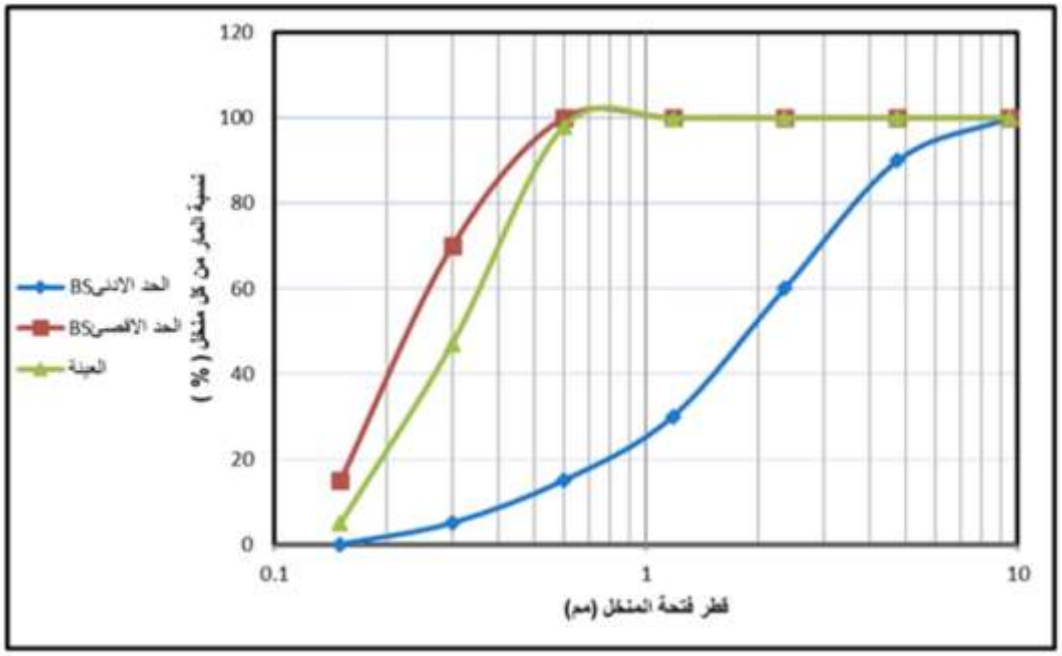


شكل (1) منحنى التحليل المنخلي للركام الخشن الطبيعي.

الركام الناعم:
تم استخدام الرمل الطبيعي المتوفر محلياً في منطقة زليتن، والذي تم غسله وتجفيفه قبل الاستخدام لإزالة الشوائب والمواد الضارة. وقد أُجري التحليل المنخلي للرمل وفقاً للمواصفات القياسية الليبية، وجاءت نتائجه ضمن حدود التدرج المسموح به للركام الناعم حسب المواصفة الليبية. يوضح الجدول (3) نتائج التحليل المنخلي، بينما يبين الشكل (2) منحنى التدرج الحبيبي للركام الناعم.

جدول (3) التحليل المنخلي للركام الناعم.

فتحة المنخل (mm)	وزن المتبقي g	وزن المتبقي التراكمي g	نسبة وزن المتبقي التراكمي %	نسبة المار %	المواصفات القياسية الليبية
5.00	0.489	0.486	0.024	99.976	-
2.36	0.972	1.458	0.073	99.927	100-80
1.18	0.972	2.43	0.122	99.878	100-70
0.60	38.88	41.31	2.066	97.934	100-55
0.30	930.69	972	48.6	51.4	70-5
0.15	881.604	1853.604	92.680	7.32	15-0
Pan	140.454				
معامل النعومة =1.44			**الوزن الإجمالي=2000 جرام**		



شكل (2) منحنى التحليل المنخلي للركام الناعم.

الركام الخشن من ناتج كشط الاسفلت:

تم الحصول على الركام الخشن من ناتج كشط الاسفلت بطريق ترهونة - صلاح الدين وبمعل الشركة المنفذة للطريق تم تنظيفه وازالة الشوائب منه وتكسيره وغربلته بالإضافة الغسل لإزالة المواد العالقة والملوثات لتحسين أدائها في الخرسانة وذلك للحصول على التدرج الحبيبي والذي يتوافق مع مواصفات الركام الخشن المستخدم في الخرسانة وقد تم الحصول على التدرج التالي وفق الجدول (4).

جدول (4) يوضح التحليل المنخلي للركام الخشن المعاد تدويره.

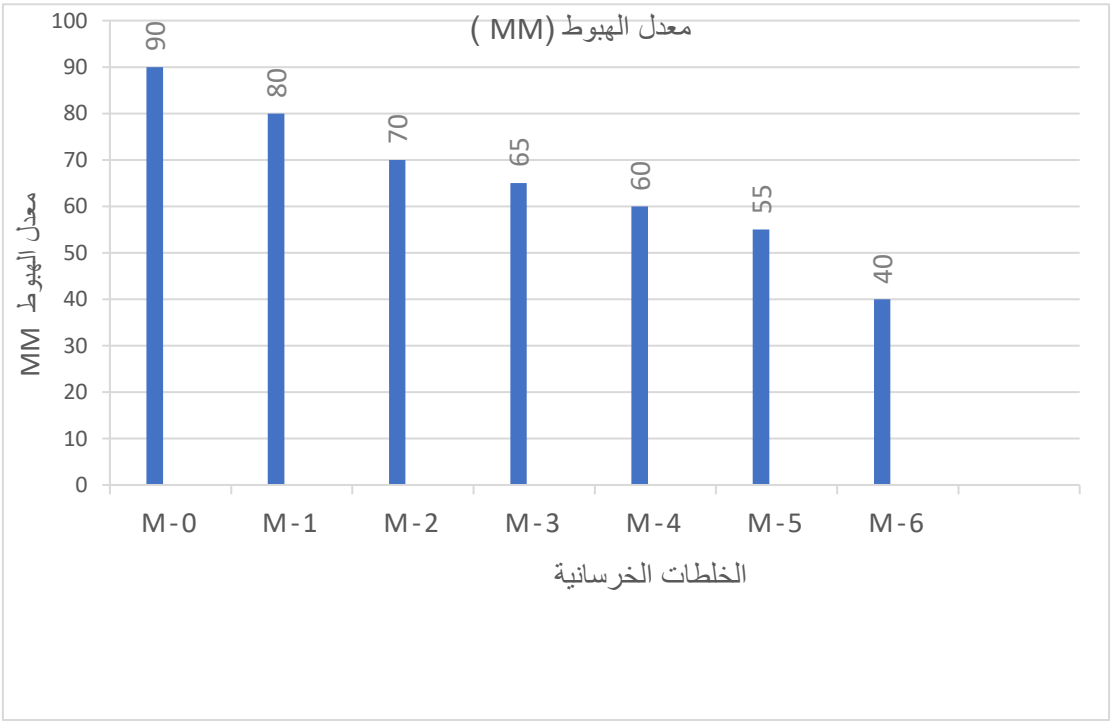
فتحة المنخل (mm)	وزن المتبقي g	نسبة وزن المتبقي التراكمي %	نسبة المار %	النسبة المئوية للمار حدود المواصفات- ASTM C33
25	0	0	100	100
19	96	4.8	95.2	100-90
12.5	304	15.2	80	50-85
9.5	410	20.5	59.2	25-60
4.75	596	29.8	29.4	0-10
2.36	300	15	14.4	0-5
*0	294	14.7	0.3	0-5
	2000			

نتائج الاختبارات:

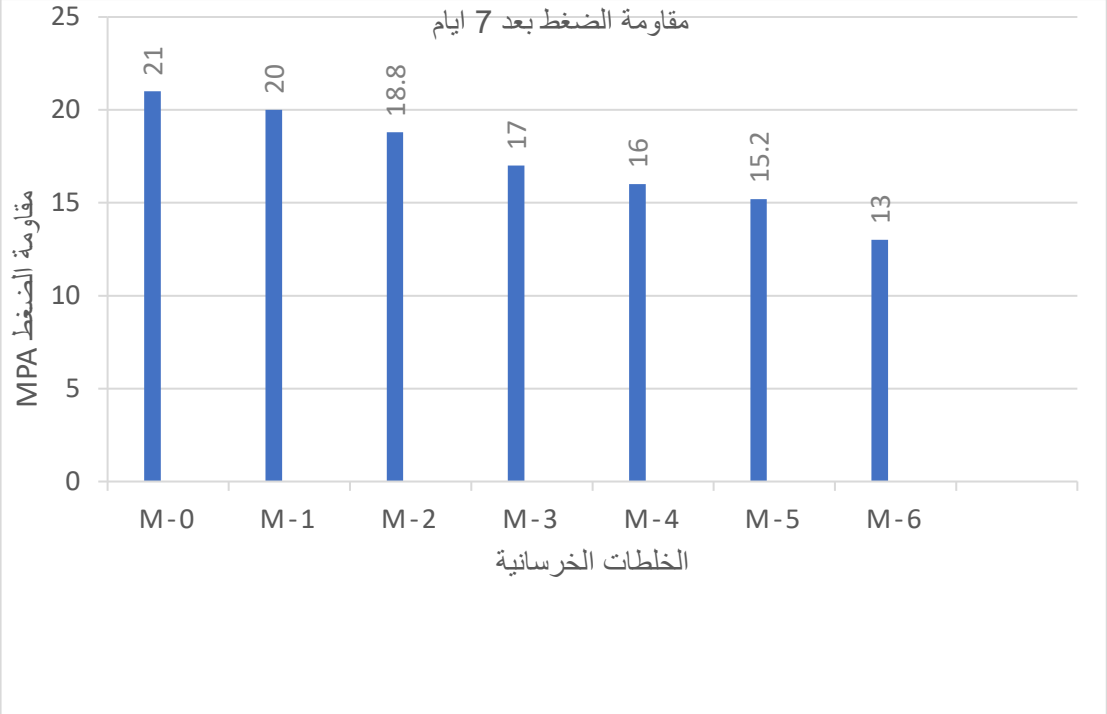
تم إجراء اختبارات لمعرفة مدي تأثير النسب المختلفة للإحلال علي معدل الهبوط للخرسانة والجدول (5) والشكل (3) يوضح مقدار التغير في الهبوط لكل خلطة، كما تم اجراء اختبارات لمعرفة مقاومة الضغط للخرسانة والتي تعبر عن جودتها وخصائصها الميكانيكية، ولتحديد مدى تأثير النسب المختلفة للإحلال من ناتج الكشط للإسفلت كبديل عن الركام الخشن على هذه الخاصية ولجميع الخلطات الخرسانية التي تم تحضيرها والجدول (5) والرسم البياني شكل (4) وشكل (5) يوضح نتائج اختبارات مقاومة الضغط بعد 7 أيام و28 يوم من عمر الخرسانة، بينما يوضح جدول (6) التغير النسبي لنتائج الاختبار مقارنة بالخلطة المرجعية.

جدول (5) يوضح متوسط نتائج اختبار مقاومة الضغط بعد7, 28 يوم بالإضافة الي معدل الهبوط.

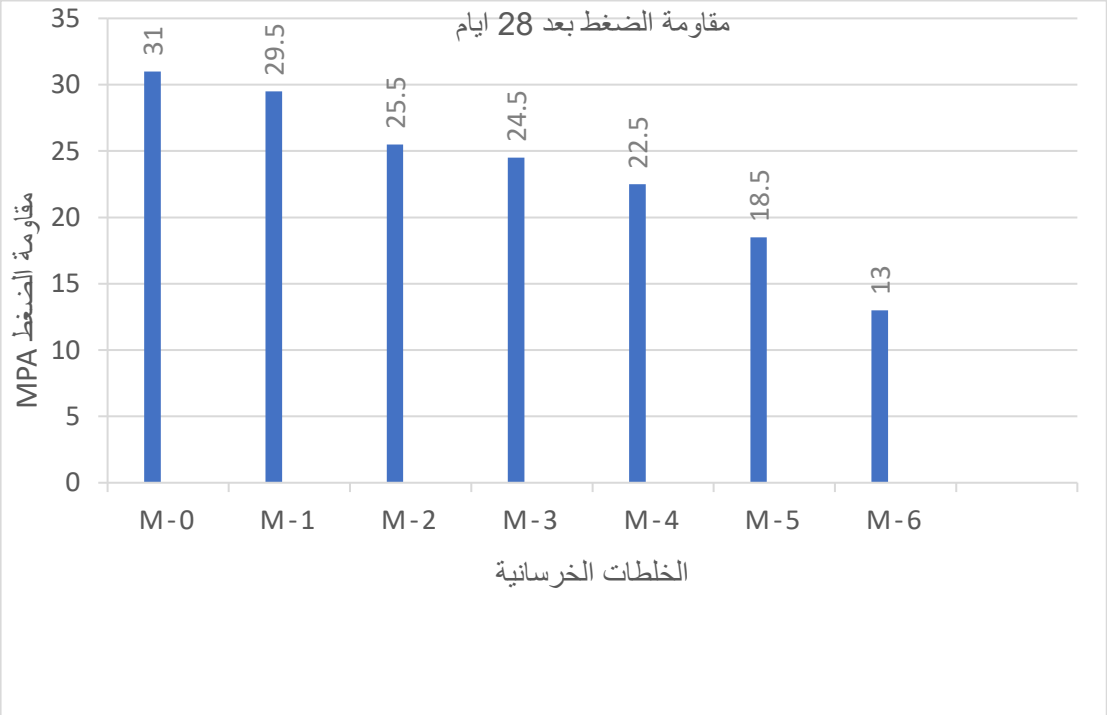
رمز الخلطة	نسبة الاحلال من لناتج الكشط %	معدل الهبوط (mm)	متوسط نتائج اختار مقاومة الضغط بعد (7) أيام (MPa)	متوسط نتائج اختبار مقاومة الضغط بعد (28) يوم (MPa)
M-0	0%	90	21	31
M-1	5%	80	20	29.5
M-2	10%	70	18.8	28
M-3	15%	65	17	25.5
M-4	20%	60	16	24.5
M-5	25%	55	15.2	22.5
M-6	50%	40	13	18.5



شكل (3) يوضح معدل التغير في الهبوط للخلطات الخرسانية.



شكل (4) يوضح معدل التغير في مقاومة الضغط بعد 7 أيام.



شكل (5) يوضح معدل التغير في مقاومة الضغط بعد 28 يوم.

جدول (6) يوضح معدل التغير النسبي لمقاومة الضغط مقارنة بالخلطة المرجعية.

رمز الخلطة	نسبة الاحلال من ناتج الكشط للإسفلت%	متوسط مقاومة الضغط بعد (7) أيام (MPa)	معدل التغير في مقاومة الضغط بعد 7 ايام %	متوسط مقاومة الضغط بعد (28) يوم (MPa)	معدل التغير في مقاومة الضغط بعد 28 يوم %
M-0	0%	21	0	31	0
M-1	5%	20	-4.76	29.5	-4.83
M-2	10%	18.8	-10.47	28	-9
M-3	15%	17	-19.04	25.5	-17.74
M-4	20%	16	-23.8	24.5	-21
M-5	25%	15.2	-27.61	22.5	-25
M-6	50%	13	-38.1	18.5	-40.32

مناقشة نتائج الاختبارات:

بالرجوع الي الجدول (5) والشكل (3) نلاحظ ان معدل الهبوط ينخفض بشكل ملحوظ مع زيادة نسبة الاحلال من ناتج الكشط. حيث انخفض من (90mm) في الخلطة المرجعية (M-0) إلى (40mm) في الخلطة ذات الاحلال 50% -(M-6) مما يؤشر الي التأثير السلبي على التشغيلية للخرسانة.

بالرجوع إلى نتائج اختبارات مقاومة الضغط للخرسانة بعد 7 أيام والموضحة في الجدول (6) والذي يوضح التغير النسبي لمقاومة الضغط للخرسانة ومقارنتها بالخلطة المرجعية (M-0)، حيث تبين انخفاضاً بمعدل 4.76% في مقاومة الضغط للخلطة **M-1** والتي تحتوي على نسبة إحلال 5% بينما اظهرت الخلطة **M-2** والتي تحتوي نسبة إحلال 10% انخفاضا بمعدل 10.74% كما أظهرت الخلطة **M-3** انخفاض بمعدل 19.04% كما أظهرت الخلطة M-4 انخفاضا بمعدل 23.8% ويعتبر الانخفاض بالنتائج السابقة تدريجي مما يظهر ان نسب الاحلال حتى 20% من ناتج الكشط لها تأثير محدود على مقاومة الخرسانة المبكرة. بينما اظهرت الخلطات (M-5 , M-6) انخفاض كبير في مقاومة الضغط حيث تراوحت ما بين (27.61% الي 38.1%) مما يؤشر الي ان النسب العالية من ناتج الكشط والتي تزيد عن 25% لها تأثير على مقاومة الخرسانة المبكرة.

وبالرجوع الي الجدول (6) والذي يوضح معدل التغير النسبي في مقاومة الضغط للخرسانة بعد 28 يوم ومقارنتها بمقاومة الخرسانة للخلطة المرجعية حيث لوحظ ان مقاومة الضغط للخلطات (M-1 , M-2 , M-3 , M-4) تراوحت ما بين (4.83% الي 21%) مما يؤشر الي أن نسب الاحلال لناتج كشط الاسفلت حتى 20% له تأثير محدود على مقاومة الضغط للخرسانة في العمر متقدم، فيما أظهرت الخلطات (M-5 , M-6) انخفاض كبير في مقاومة الضغط حيث تراوحت ما بين (25% - 40.32%) مما يؤشر الي ان النسب العالية من ناتج الكشط والتي تزيد عن 25% لها تأثير سلبي على مقاومة الخرسانة في العمر متقدم.

الاستنتاجات:

1. بالرجوع الي الشكل (3) والذي يوضح معدل التغير في الهبوط للخرسانة ولمختلف نسب الاحلال حيث لوحظ هذا الانخفاض راجع إلى الطبيعة الخشنة وبسبب امتصاص ناتج كشط الإسفلت للماء، والذي يقلل من سيولة الخرسانة ويجعلها أقل قابلية للتشغيل وقد يكون بسبب زيادة المساحة للركام المعاد تدويره.
   - الخلطات ذات الاحلال المنخفض (حتى 20%) تحافظ على هبوط مقبول (60mm فأعلى).
   - الخلطات ذات الاحلال العالي (50% فأكثر) تعاني من هبوط منخفض (40mm أو أقل)، مما قد يتطلب تعديل في ماء الخلط لتحسين قابلية التشغيل.

2. **تأثير نسبة الاحلال على مقاومة الضغط:**

أ. **مقاومة الضغط بعد 7 أيام:**

تنخفض مقاومة الضغط بعد 7 أيام بشكل تدريجي مع زيادة نسبة الاحلال. من (21Mpa) في الخلطة المرجعية (M-0) إلى (13Mpa) في الخلطة (M-6) نسبة الانخفاض تتراوح من 4.8% عند 5% احلال إلى 38.1% عند 50% إحلال، هذا الانخفاض يشير إلى أن ناتج الكشط يؤثر سلبًا على التطور المبكر للقوة، نتيجة ضعف الترابط بالإضافة الي تأثير الاسفلت الملتصق بالركام أو وجود شوائب في المادة المعاد تدويرها.

ب. مقاومة الضغط بعد 28 يومًا:

تنخفض مقاومة الضغط من (31Mpa) في الخلطة(M-0) إلى (18.5Mpa) في الخلطة (M-6) نسبة الانخفاض تتراوح من 4.8% عند 5% احلال إلى 40.32% عند 50% إحلال، الانخفاض في مقاومة الضغط بعد 28 يومًا مشابه لنسبة الانخفاض في مقاومة 7 أيام، مما يدل على أن تأثير الاحلال مستمر على المدى الطويل ولا يتم تعويضه بمرور الوقت الخلطات ذات الاحلال حتى 10% (M-2) تحافظ على مقاومة ضغط بعد 28 يومًا فوق (28Mpa)، وهي مناسبة لمعظم التطبيقات الإنشائية التقليدية (مثل البلاطات والعناصر غير الحاملة).

- الخلطات ذات احلال 15-25% (M-3 إلى M-5) تتراوح مقاومتها بين (25.5MPa – 22.5)، وقد تكون مناسبة للتطبيقات الإنشائية الخفيفة أو غير الحرجة (مثل الأساسات غير العميقة أو الأرصفة).
- الخلطات ذات احلال 50% فأكثر (M-6) تقل مقاومتها عن 20 MPa، مما يجعلها غير مناسبة للتطبيقات الإنشائية إلا إذا كانت هناك متطلبات خاصة للاستدامة وتحت إشراف دقيق. قد تستخدم في أعمال الردم أو الخرسانة غير الإنشائية.

3. العلاقة بين معدل الهبوط ومقاومة الضغط:

بشكل عام، هناك علاقة طردية بين انخفاض معدل الهبوط وانخفاض مقاومة الضغط في هذه البيانات. حيث أن كلا من منهما ينخفض مع زيادة نسبة الاحلال، هذا يختلف عن العلاقة التقليدية بين الهبوط والمقاومة (حيث زيادة الهبوط بسبب زيادة الماء تؤدي إلى انخفاض المقاومة). هنا العامل الرئيسي هو إضافة ناتج الكشط الذي يقلل كل من الهبوط والمقاومة بسبب خصائصه الجوهرية، للتغلب على هذا، يمكن اقتراح تعديل نسبة الماء أو استخدام الإضافات لتحسين الهبوط دون الإضرار بالمقاومة، ولكن هذا يتطلب اختبارات إضافية.

التوصيات:

اولاً: لتحسين أداء الخرسانة

1. عند استخدام ناتج الكشط، يوصى بالحد من نسبة الاحلال إلى 10% كحد أقصى إذا كانت هناك حاجة للحفاظ على قوة عالية وقابلية تشغيل جيدة.
2. للإحلال أعلى من 10%، يجب إجراء تعديلات على الخلطة مثل زيادة نسبة الاسمنت لتعويض نقص القوة او استخدام الملدنات لتحسين الهبوط دون زيادة الماء.
3. ضبط التدرج الحبيبي للركام الخشن المعاد تدويره من ناتج كشط الاسفلت.

ثانياً: للتطبيقات العملية

1. الخلطة (M-0): مناسبة للتطبيقات الإنشائية ذات المتطلبات العالية للقوة والتشغيل.
2. الخلطة (M-1 إلى M-3): مناسبة للتطبيقات المتوسطة حيث يمكن التضحية بجزء بسيط من القوة لتحقيق استدامة (مثل المباني غير الحاملة).
3. الخلطة (M-4 إلى M-5): قد تستخدم في أعمال مثل الأرصفة أو البلاطات ذات الأحمال الخفيفة، مع مراقبة الجودة.
4. الخلطة (M-6): يوصى باستخدامها فقط في التطبيقات غير الإنشائية إلا إذا تم تعزيزها بإضافات خاصة.

ثالثاً: الاعتبارات البيئية

استخدام ناتج الكشط يساهم في الاستدامة وتقليل النفايات. لذلك، حتى مع انخفاض الأداء، يمكن اعتماد هذه الخلطات في مشاريع ذات أولوية بيئية، شريطة أن تفي بالحدود الدنيا للمواصفات القياسية.

المراجع

[1] ACI 555R-01. 2001.Recycled Concrete and Masonry Aggregate. ACI Committee 555, American Institute, Farmington Hills, MI.

[2] Al-Habaibeh, A., and Al-Ghamidi, H. (2015). Mechanical properties of concrete with recycled asphalt pavement as coarse aggregate. Journal of Sustainable Engineering.

[3] Pytlik, K., and Toman, J. (2019). "Durability of concrete with recycled asphalt as aggregate: a review." Construction and Building Materials.

[4] Libyan specifications (1997/340).