

دراسة حول حماية البيئة من خلال
إعادة تدوير الركام الخرساني في
الخلطات الأسفلتية

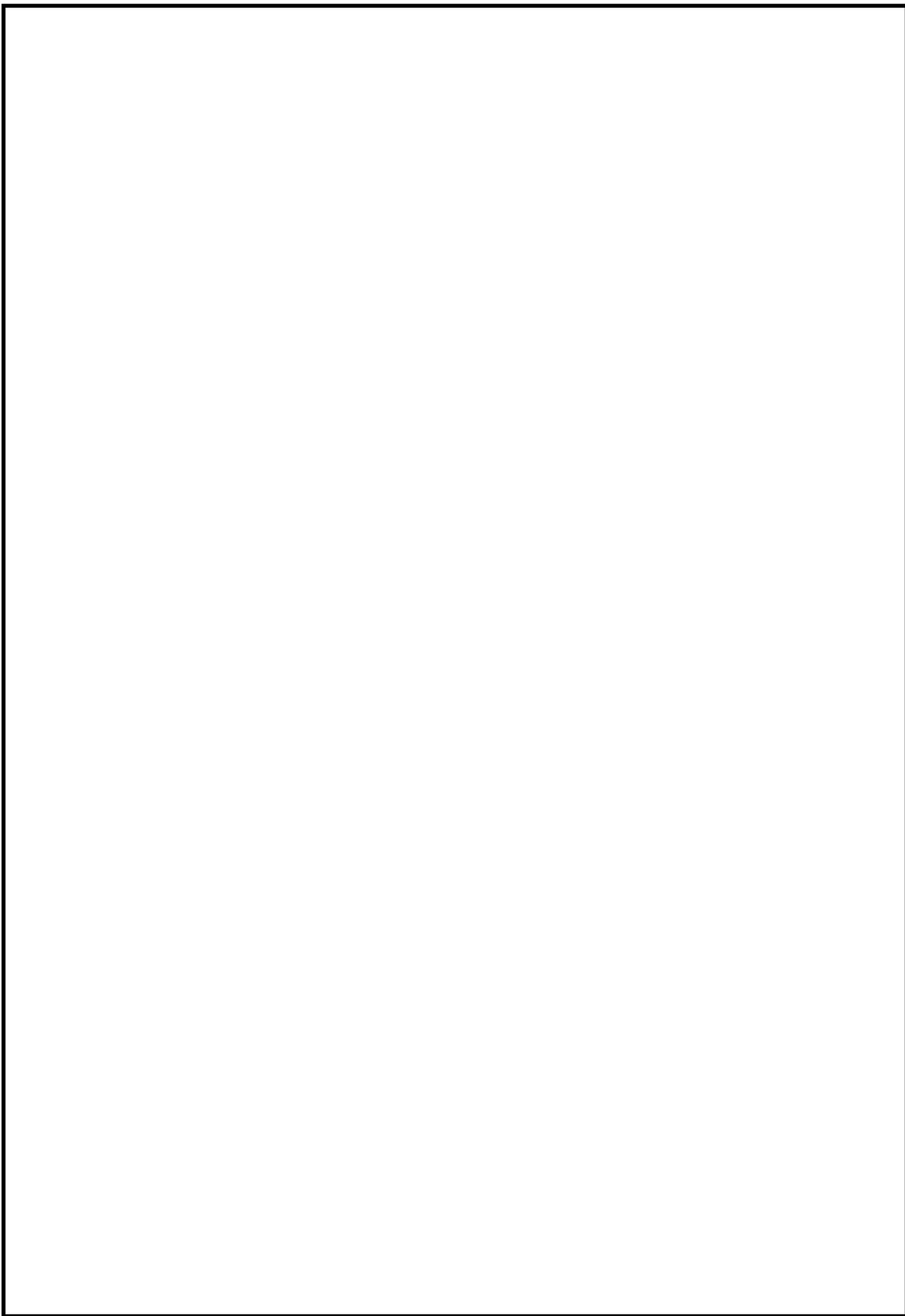
محمد عادل طيب

جامعة تكريت/كلية الهندسة

القسم المدني

٢٠١٢

matot٧٣@yahoo.com



ملخص

أجريت هذه الدراسة كتقييم أولي لإعادة استخدام ركام الخرسانة في الخلطات الأسفلتية. وقد تم الحصول على ركام خرسانة من مبنى عمره ٢٨ سنة وذلك بعد تكسير جسر خرساني وسحب حديد التسليح منه. وتم نخل الخرسانة المكسرة للحصول على حجم الركام الحبيبي اللازم لعمل خلطة أسفلتية محلية تعرف باسم "Type III" وذلك حسب المواصفات الهندسية. وخضعت الخلطة الأسفلتية لعدة اختبارات وهي اختبار "مارشال" واختبار "نسبة الضغط بعد الغمر" واختبار "فقدان الثبات" واختبار "مسار العجلة"، حيث كانت نتائجها موافقة للمواصفات المحلية. وفي حال إعادة تدوير ركام المباني المهدامة في الخلطات الأسفلتية فإن ذلك من شأنه توفير مبالغ طائلة في مشاريع إنشاء وصيانة الرصف الأسفلتي، وكذلك حماية البيئة من المخلفات الخرسانية وتقليل الطلب على الركام الجديد.

مقدمة

قبل خمسين عاماً تقريباً ازداد الطلب بصورة كبيرة على استخدام الخرسانة المسلحة ، وكان ذلك مصاحباً لازدياد تصدير النفط والنمو الاقتصادي للدولة. فأصبحت الخرسانة هي مادة البناء الرئيسية لأكثر المباني. وفي نهاية العقد الأخير من القرن العشرين تزايدت حركة هدم وإعادة إعمار المباني مما أدى إلى تراكم كميات كبيرة من المخلفات التي تشكل الخرسانة جزءاً كبيراً منها، فأصبح ذلك تحدياً جديداً للبيئة المحلية.

وبالإضافة إلى ذلك فإن الحركة العمرانية المستمرة وإنشاء وصيانة الطرق الداخلية والخارجية للدولة يمثل طلباً متزايداً على الركام، مما أدى إلى ازدياد حركة التنقيب عن المقالع المحلية. فأصبح ذلك تحدياً وتهديداً آخر للبيئة والموارد المحلية.

وقد أجريت أبحاث ودراسات لإعادة تدوير مخلفات البناء واستعمالها مجدداً في صناعة التشييد. بل هناك دول بدأت بوضع المواصفات لإعادة استخدام المخلفات الخرسانية، ومنها الولايات المتحدة الأمريكية واليابان وهولندا والمملكة المتحدة وألمانيا والدانمرك.

أما بالنسبة لصناعة الطرق فقد قطع شوط كبير في مجال إعادة تدوير مخلفات الرصف. ففي جنوب كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية، يستعمل ما نسبته ١٥% من الأسفلت المدور في الخلطات الأسفلتية الجديدة [٣]. وفي دولة الكويت يخلط ناتج قشط الأسفلت (Milling) في تربة القاعدة لتزيد من قوة تحملها، بالإضافة إلى استخدامه كطبقة تكسية مؤقتة لمواقف السيارات والمساحات المكشوفة للحد من تطاير الأتربة [٤ ، ٥]. وقد أجريت أيضاً عدة دراسات لإعادة تدوير المخلفات في إنشاء الطرق ، ومنها الإطارات المستهلكة.

وهذه الورقة تعرض نتائج إعادة استخدام نفاية خرسانية كركام لخلطة أسفلتية مطابقة للمواصفات المحلية وهي ما يسمى "Type III" والتي تستخدم كطبقة تكسية لمعظم أنواع الطرق.

أهداف الدراسة

إن الهدف الرئيسي لهذه الدراسة هو تقييم إمكانية إعادة استخدام الركام الخرساني المدور في الخلطات الأسفلتية بدلاً من الركام الجديد، وتحديدًا في نوع "Type III" من هذه الخلطات وذلك حسب المواصفات العامة. وسبب اختيار هذه الخلطة هو أنها الطبقة السطحية لمعظم أجزاء شبكة طرق (عدا الطرق السريعة) والتي تتعرض دائماً لأعمال الصيانة المتمثلة غالباً في قشط وإعادة فرش نفس الطبقة السطحية. لذا يتوقع أن يكون أكثر الطلب على هذا النوع من الخلطات الأسفلتية.

فوائد إعادة استخدام الركام الخرساني المدور

إن إعادة تدوير المخلفات لها فوائد اقتصادية وبيئية واضحة وعديدة. وإعادة استخدام الركام الخرساني تحديداً في الخلطات الأسفلتية لها فوائد منها:

- تقليل الحاجة إلى مساحات ردم النفايات، وذلك لأن نسبة كبيرة من مخلفات هدم المباني يتم إعادة استخدامها. وهذا من شأنه توفير هذه المساحات لأغراض أخرى، وحماية البيئة من آثار هذه المخلفات.
- توفير فرص عمل واستثمار من خلال إنشاء مصانع إعادة تدوير المخلفات الخرسانية. وبالإضافة إلى ذلك فإن إعادة تدوير حديد التسليح قد يزيد من الجدوى الاقتصادية لهذه المصانع.
- إذا صار الطلب على المخلفات الخرسانية أكبر من مخلفات المباني المهدومة، فإنه يمكن فتح مناطق الردم القديمة وإعادة تدوير المخلفات الخرسانية فيها. وذلك من شأنه المساعدة على إعادة تأهيل هذه المناطق.

الخلطة الأسفلتية ومصدر الركام الخرساني المدور

تم الاعتماد في دراستنا على نتائج الدراسة التي قام بها مجموعة من المهندسين في مصر حيث تم الحصول على الركام الخرساني المدور من أعمال هدم مبنى عمره ٢٨ سنة بمدينة القاهرة. وقد تم أخذ عينات خرسانية من ناتج تكسير جسر خرساني في المبنى (شكل ١). وتراوحت العينات الخرسانية في حجمها من ٢٠-٥٠ سم، وتم نقلها إلى مصنع تدوير خرسانة حيث تم إدخالها إلى الكسارة وأخذ ناتج التكسير إلى المختبر لفصل حجمي الركام $\frac{3}{4}$ بوصة و $\frac{3}{8}$ بوصة المطلوبين للخلطة الأسفلتية نوع "Type III".



شكل ١: تم أخذ العينات من جسر خرساني.

أما بالنسبة للرمال المكسرة (Crushed Sand) والرمال الطبيعي (Natural Sand) والمادة المألثة (Filler) والبيتومين فقد تم الحصول عليها من الناتج المحلي حيث كانت هذه المواد مطابقة للمواصفات المحلية للخلطات الأسفلتية.

ويبين الشكل ٢ خليط الركام المستخدم وذلك قبل مزجه بالبيتومين وعمل العينات الأسفلتية.



شكل ٢ : خليط الركام المستخدم.

ثم تم عمل الخليط الأسفلتي واختباره عند نسب بيتومين مختلفة وذلك للوصول إلى المحتوى البيتوميني الأمثل حسب متطلبات طريقة مارشال القياسية المعتمدة محلياً لعمل تصميم الخلط الأسفلتي [٢٠ ، ٢١].

اختبارات الخلطة الأسفلتية

بعد الحصول على الركام الخرساني المدور ونوعي الرمل المعتمد (الطبيعي والمكسر) والمادة المائنة، فقد تم تجهيز خليط الركام الكلي حسب التدرج الحجمي المطلوب لخلطة أسفلتية "Type III". ويبين الجدول ١ التدرج الحجمي لأجزاء الركام المستخدم، كما يبين التدرج الحجمي لخليط الركام الكلي (Combined Gradation) وذلك بعد اعتماد نسب الخلط التالية:

- ٤٠% : ٣/٤ بوصة (ركام خرساني مدور)
- ٣٠% : ٣/٨ بوصة (ركام خرساني مدور)
- ١٥% : رمل مكسور (Crushed Sand)
- ١٢% : رمل طبيعي (Natural Sand)
- ٣% : مادة مائنة (Filler)

لعمل خليط ركام يقع ضمن حدود مواصفات التدرج الحجمي لخلطة أسفلتية "Type III" كما هو مبين في الجدول (١). ويلاحظ أن الركام الخرساني المدور يمثل نسبة ٧٠% من خليط الركام المستخدم. وتم عمل الخليط الأسفلتي حسب طريقة مارشال القياسية، والتي تم الحصول منها كذلك على خواص الخلطة عند المحتوى الأمثل للبيتومين كما سيتبين لاحقاً.

وقد تم اختبار الخليط الأسفلتي (عند محتوى البيتومين الأمثل) بثلاثة اختبارات قياسية أخرى هي اختبار نسبة الضغط بعد الغمر، واختبار فقدان الثبات، واختبار مسار العجلة.

جدول ١: التدرج الحجمي لخليط الركام المستخدم

Sieve Size	$\frac{3}{4}$ " (٤٠%)	$\frac{3}{8}$ " (٣٠%)	Crushed Sand (١٥%)	Natural Sand (١٢%)	Filler (٣%)	Combined Gradation	Specification Range
$\frac{3}{4}$ "	٩٦	١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	٩٨.٤	١٠٠
$\frac{1}{2}$ "	٧٣	١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	٨٩.٢	٦٦-٩٥
$\frac{3}{8}$ "	٥٤	٧٠.٤	١٠٠	١٠٠	١٠٠	٧٢.٧	٥٤-٨٨
No. ٤	٢٨	٢٦.٤	٩٩.٩	٩٩.٦	١٠٠	٤٨.٩	٣٧-٧٠
No. ٨	١٧	١٣	٩٧.٤	٩٥	١٠٠	٣٩.٧	٢٦-٥٢
No. ١٦	١٢	٨.٤	٧٦	٨٤.٤	١٠٠	٣١.٨	١٨-٤٠
No. ٣٠	٨	٦	٥٣	٦٢	١٠٠	٢٣.٣	١٣-٣٠
No. ٥٠	٤	٣.٣	٣٠.٥	٢٣	٩٥	١٢.٦	٨-٢٣
No. ١٠٠	٢.٤	٢.١	١٥.٥	٦	٩٠	٧.٢	٦-١٦
No. ٢٠٠	١.٥	١.٤	٧.٥	٤	٨٥	٥.١	٤-١٠

اختبار مارشال (Marshall Test)

وقد تم إجراء هذا الاختبار حسب الطريقة القياسية المعتمدة في مواصفات أعمال الرصف ، ومن الاختبار تم تعيين المحتوى البتوميني الأمثل وهو ٧.٢% لخلطة أسفلتية "Type III". ويبين الجدول ٢ نتائج اختبار مارشال للخلطة الأسفلتية مقارنة بالمواصفات المحلية.

جدول ٢: نتائج اختبار مارشال

	At optimum bitumen content	Specification limits
Bulk Density (g/cm^٣)	٢.٢٦٧	-
Marshall Stability (kg)	٢٠١٤.٤	١٨٠٠ minimum
Marshall Flow (٠.٠١")	١٤.٢٥	٨-١٦
Air Voids (%)	٤.٠	٤-٦
Voids filled with bitumen (%)	٧٦	٧٠-٨٥
Voids in mineral aggregate (%)	١٩	١٥ minimum

اختبار نسبة الضغط بعد الغمر (Immersion Compression Ratio Test)

ويستخدم هذا الاختبار لقياس نسبة فقد تماسك أجزاء الخلطة الأسفلتية المدمكة بسبب الماء وذلك بحساب ما يسمى بمؤشر القوة المتبقية (Index of Retained Strength). ويقاس هذا المؤشر بمقارنة قوة الضغط لخلطة أسفلتية مدمكة قبل وبعد الغمر بالماء تحت ظروف قياسية. ويبين الجدول ٣ نتائج هذا الاختبار على خلطة "Type III" الأسفلتية المستخدمة.

جدول ٣: نتائج اختبار نسبة الضغط بعد الغمر

Average stability of dry specimens, S_1
٢٥٣٠.٢ kg

Average stability of wet specimens, S_2
٢٣٢٢.٥ kg

Loaded area of specimen, A
٨١.٧٤٩ cm^٢

Index of retained strength = $\frac{S_2}{S_1} \times 100\%$

٩١.٧%

Net retained strength = $\frac{S_2}{A}$

٢٨.٤ kg/cm^٢

وتتطلب المواصفات المحلية [٢٠] أن لا يقل مؤشر القوة المتبقية عن ٧٠% للركام العادي، و٩٠% للركام المغلف بالأسمنت. لذلك يتبين أن خليط الركام المستخدم قد أوفى بمتطلبات المواصفات بالنسبة لهذا الاختبار.

كما أن المواصفات المحلية تتطلب أن لا تقل القوة المتبقية (Net Retained Strength) عن ١٤ كجم/سم^٢، ويلاحظ من الجدول ٣ أن القوة المتبقية للخلطة المختبرة (٢٨.٤ كجم/سم^٢) قد أوفت بهذه المتطلبات.

اختبار فقدان الثبات (Loss of Stability Test)

هذا الاختبار شبيه بالاختبار السابق مع بعض الاختلاف في طريقة تنفيذه وطريقة حساب مؤشر فقدان الثبات. ويبين الجدول ٤ نتائج هذا الاختبار على خلطة "Type III" الأسفلتية المستخدمة.

جدول ٤: نتائج اختبار فقدان الثبات

Ave. stability of specimens submerged for ½ hr, S₁

١٩٣٨.٤ kg

Ave. stability of specimens submerged for ٢٤ hrs, S_٢

١٤٦٨.٣ kg

Loss of stability = $\frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100\%$

٢٤.٢%

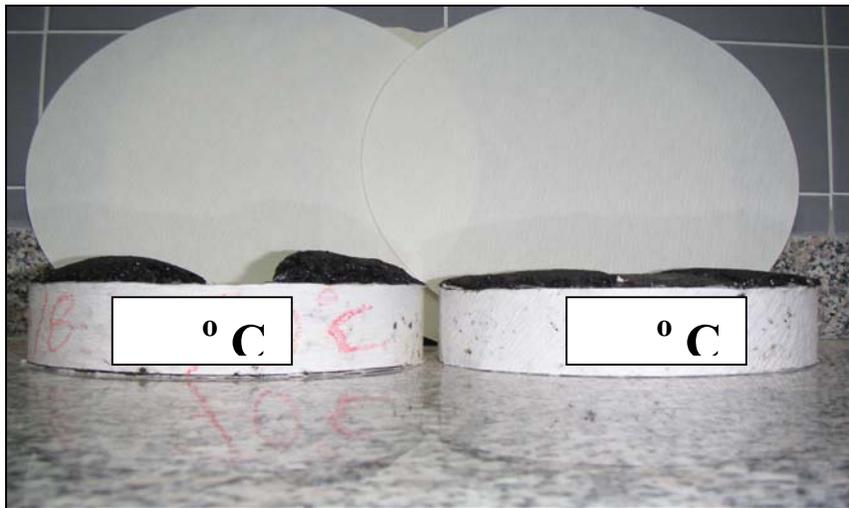
ومقدار فقدان الثبات المحسوب (٢٤.٢%) أقل من الحد الأعلى المسموح به في المواصفات وهو ٢٥%.

اختبار مسار العجلة (Wheel Track Test)

يستخدم هذا الاختبار لقياس مدى انضغاط الخليط الأسفلتي (بعد دمكه) تحت تأثير الأحمال المرورية [٢٢]، وذلك بوضع العينات الأسفلتية تحت عجلة محملة تمر عليها مرات متتالية مع قياس مقدار الانضغاط (التخدد) كما في الشكل ٣.



شكل ٣: اختبار مسار العجلة
وقد أجري هذا الاختبار عند درجتي حرارة ٤٥ و ٧٠ درجة مئوية. وبعد انتهاء الاختبار تكون العينات الأسفلتية كما في الشكل ٤.



شكل ٤: اختلاف درجة انضغاط العينات الأسفلتية باختلاف درجة حرارة الاختبار.

والجدول ٥ يشمل نتائج هذا الاختبار على خلطة "Type III" الأسفلتية المستخدمة، والذي يبين أن كل العينات المختبرة لم يتجاوز فيها الانضغاط (Maximum Depth) عن الحد الأعلى المسموح به وهو ١٥ مم.

جدول ٥: نتائج اختبار مسار العجلة

Test Temperature	Test No.	Maximum Depth (mm)
٤٥°C	١	٣.٥
	٢	٢.٣
	٣	١.٩
	٤	٢.٨
	٥	١.٧
	٦	٢.٠
٧٠°C	١	١١.٧
	٢	١٣.٧
	٣	٩.٨
	٤	١٢.٠
	٥	١٤.٩
	٦	١٤.٠

النتائج والتوصيات

إن أكثر مخلفات هدم المباني عبارة عن خرسانة تحتوي في الجزء الأكبر منها على ركام بحالة جيدة. وهذه الدراسة تبين أنه يمكن اعتبار هذا النوع من المخلفات سلعة يمكن إعادة استخدامها في مشاريع تتطلب كميات كبيرة من الركام كإنشاء وصيانة الطرق.

وصيانة الرصف الأسفلتي في العراق غالباً ما يشمل قشط الطبقة السطحية وفرش طبقة جديدة. فإذا علم أن ٩٥% تقريباً من الخليط الأسفلتي هو عبارة عن ركام، فإن التوفير في هذه المادة ينتج عنه توفير كبير في مشاريع إنشاء وصيانة الرصف.

وبالإضافة إلى ذلك فإن المخلفات الخرسانية تحتوي عادة على كميات من حديد التسليح الذي يمكن إعادة تدويره كذلك مما قد ينتج عنه مصدر إضافي للربح.

وكذلك فإن إعادة تدوير المخلفات الخرسانية لها إيجابيات بيئية واضحة تتمثل في تقليل الحاجة لمواقع الردم وبالتالي تقليل التلوث البيئي.

وهناك وفر إضافي أيضاً من ناحية أن الخلطات الأسفلتية تكون أقل تكلفة بسبب أن نسبة كبيرة من الركام فيها هو ناتج إعادة تدوير وليس ركاماً جديداً. وهذا بدوره سيقفل الحاجة إلى مواقع مقالع الأحجار مما يؤدي إلى زيادة المحافظة على هذه الموارد الطبيعية.

وقد تم في هذه الدراسة إجراء أربعة اختبارات قياسية على خلطة أسفلتية "Type III" كانت نسبة الركام المدور فيها ٧٠%، وقد اجتازت الخلطة الأسفلتية كل هذه الاختبارات بنجاح.

وبناءً على هذه الدراسة يمكن التوصية بالتالي:

- إجراء اختبارات مماثلة على خلطات أسفلتية أخرى لجمع خبرة أكبر في التعامل مع الركام المدور في صناعة الرصف الأسفلتي، وخاصة تلك الخلطات المستخدمة في طبقات الربط والقاعدة.
- يمكن اختبار مصادر متعددة للخلطات الخرسانية مثل أحجار الرصيف (Curbstone)، والرصف الخرساني، والحواجز الخرسانية.
- إنشاء مقطع طريق تجريبي باستخدام خلطات أسفلتية ذات ركام مدور لاختبار أدائها تحت ظروف مناخية ومرورية حقيقية.
- يمكن تكسير مخلفات الطابوق الأسمنتي وإعادة تدويره في الخلطات الأسفلتية كبديل للجزء الناعم من خلطة الركام.
- يجب الاستعداد لإعادة تدوير الخرسانة الناتجة من مخلفات الهدم وذلك بوضع المواصفات والمقاييس التي تقيم وتحكم استخدام هذه المادة. ويمكن اعتبار هذه الدراسة كخطوة في هذا الاتجاه.
- البدء باستخدام نسب أقل من الركام المدور في الخلطات الأسفلتية (١٠ أو ٢٠% مثلاً) ثم زيادتها مستقبلاً بعد أن يتم قبولها والاطمئنان إليها من قبل متخذي القرار.
- النتائج الأولية في هذه الدراسة مشجعة وتحث على إجراء دراسات مشابهة في كركوك لتقييم إعادة تدوير مخلفات البناء وخاصة الخرسانية منها.

١. Al-Sabbagh, N., "Utilization of recycled aggregates in concrete mixes", Ms.C. Project Report, Department of Civil Engineering, Kuwait University, Kuwait, ٢٠٠٢.
٢. Hansen, T., "*Recycling of Demolished Concrete and Masonry*", E & FN Spon, London, UK, ١٩٩٢.
٣. Amirkhanian, S., J. Burati, Jr., "A study of re-use of moisture-damaged asphalt mixtures – Final Report", Federal Highway Administration, ١٩٩٢.
٤. Katamine, N., "Phosphate waste in mixtures to improve their deformation", Journal of Transportation Engineering, v. ١٢٦, no. ٥, p. ٣٨٢-٣٨٩, Mu'tah University, Jordan, ٢٠٠٠.
٥. Radziszewski, P., M. Kalabinska, J. Pilat, "Polish experience with application of waste rubber to road pavement constructions", Proceedings of the International Conference on Solid Waste Technology and Management, p. ٤٢٧-٤٣٣, Philadelphia, ١٩٩٩.
٦. Way, G., "Flagstaff I-٤٠ asphalt rubber overlay project: Nine years of success", Transportation Research Record, no. ١٧٢٣, p. ٤٥-٥٢, Transportation Research Board, Washington, DC, ٢٠٠٠.
٧. AASHTO, "Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing", American Association of Highway and Transportation Officials, Washington, DC, ١٩٩٠.
٨. BS, "British Standards", British Standards Institution, London, England, ١٩٩٦.