دراسة إمكانية إعادة استخدام الحصويات المعاد تدويرها في الخلطات الإسفلتية

د. سوزان شعبان* د. أيمن لفلوف**

(الإيداع: 31 كانون الثاني 2022، القبول: 8 حزيران 2022)

الملخص:

بسبب الظروف المناخية القاسية أو الكوارث الطبيعية أو البشرية، وخصوصاً مع ظروف الحرب التي تعيشها بلادنا سوريا وما تتعرض له من عمليات تخريب للمنشآت السكنية والمؤسسات الحكومية والبنى التحتية وغيرها..... تتعرض المنشآت البيتونية إلى حركة هدم مما يؤدي إلى تراكم كميات كبيرة من المخلفات التي تشكل الخرسانة جزءاً كبيراً منها.

ويلقي هذا البحث الضوء على إمكانية الاستفادة من مخلفات الإنشاء والهدم والدراسات التي تمت في هذا المجال، حيث تعتبر تقنية إعادة استخدام مخلفات المنشآت البيتونية المهدمة قديمة في بعض البلدان التي تتعرض لظروف مناخية قاسية، درجة حرارة مرتفعة أو منخفضة، أو التي تعرضت لكوارث طبيعية براكين وزلازل، وحديثة في بعض البلدان التي شهدت نهضة عمرانية كبيرة كدول الخليج نتيجة ازدياد تصدير النفط ونمو هذه البلدان اقتصادياً.

حيث أن تدوير ومعالجة مكونات الخرسانة المحطمة وإضافتها إلى خلطات خرسانية أو إسفلتية جديدة يقلل من الحاجة لكميات كبيرة من المكونات الجديدة وبالتالي تقليل الطلب على المقالع الطبيعية وهذا بدوره يحافظ قدر الإمكان على المواد التي قد تحتاجها الأجيال المقبلة، كما تعتبر وسيلة للحد من التكاليف الخاصة بالبناء، وتقلل قدر الإمكان من التلوث البيئي.

توصل البحث إلى نتائج هامة تبين أن خشونة سطح الحبيبات توجب استخدام نسبة رابط مرتفعة نسبياً تصل لحدود 5.75%، وأن الخليط الإسفلتي المنتَج يحقق الحد الأدنى المطلوب للثبات، ويحقق قيمة سيلان تساوي 2,5mm وهي مقبولة ولكنها تعتبر منخفضة نسبياً قياساً إلى نسبة الرابط المرتفعة، كما كانت نسبة الفراغات الهوائية مقبولة ودرجة الامتلاء مقبولة لكنها منخفضة قياساً إلى نسبة الرابط.

كلمات مفتاحية: الحصويات المعاد تدويرها، المجبول الإسفلتي، البيتون البيتومينى

*مدرس في قسم الهندسة البيئية – عضو هيئة تدريسية في جامعة حماة / كلية الهندسة المدنية

**مدرس في قسم هندسة المواصلات.

Studying the Possibility of Reusing Recycled Gravel in Hot Mix Asphalt

D.r Suzan Shabaan* **D.r Ayman Laflouf****

(Received: 31 January 2022 , Accepted: 8 July 2022)

Abstract:

Due to harsh climatic conditions or natural or human disasters, especially with the conditions of war in our country ,Syria, and the sabotage operations against residential facilities, government in situations, infrastructure, etc. …..Concrete structures are exposed to a demolition movement which leads to accumulation of large quantities of waste, of which concrete is a large part.

This research sheds light on the possibility of benefiting from construction and demolition waste and the studies that have been carried out in this field, as the technique of reusing the waste of demolished concrete facilities is considered out dated in some countries that are exposed to harsh climatic conditions, high or low temperatures, or that have been exposed to natural disasters, volcanoes and earthquakes, and modern in some countries, which witnessed an urban renaissance as big as the gulf countries as a result of the increase in oil exports and the economic growth of these countries.

As recycling and treating the crushed concrete components and adding them to new concrete on asphalt mixtures reduces the need for large quantities of new components and thus reduces the demand for natural quarries, and this in turn preserves as much as possible the materials that may be needed by future generations, and it is considered a way to reduce construction costs, and reduce as much as possible environmental pollution. The research reached important results showing that the surfaced roughness of the grains requires the use of a relatively high bond ratio of up to 5.75%, and that the produced asphalt mixture achieves the minimum required for stability, and achieves a runny value equal to 2,5 mm, which is acceptable, but it is considered relatively low compared to the high bond ratio. The percentage of air spaces was acceptable and the degree of filling was acceptable, but it was low compared to the ratio of the bond.

Key Words: Recycled Aggregate, Hot Mix Asphalt , Bitumen concrete

*Instructor in Environmental Engineering Department- Faculty of Civil Engineering . Hama University . Syria

****Instructor in Transportation Engineering Department

1- المقدمة: Introduction

إن الكميات الهائلة من الأنقاض الناتجة عن نواتج هدم الأبنية الخرسانية بجميع أنواعها بسبب الحرب في سوريا تفرض علينا البحث عن طريقة مناسبة للتعامل معها، لأن التخلص من جميع هذه الكميات الكبيرة ووضعها في مكبات النفايات سوف يساهم بشكل كبير في زيادة التلوث البيئي، وسنكون أمام مشكلة الحاجة إلى مساحات واسعة من أجل استيعاب كميات النفايات هذه، بالإضافة، إلى أن نقلها إلى المكبات يتطلب جهداً كبيراً وتكاليف كبيرة، يضاف إلى كل ما سبق التلوث البصري الحاصل في مكان المكبات، ولحل هذه المشاكل فإنه يتوجب علينا الاستفادة قدر الإمكان من هذه النفايات عن طريق معالجتها وإعادة تدويرها.

إن التنمية المستدامة هي الهدف الأكبر المراد الوصول إليه من خلال إعادة تدوير الخرسانة، حيث تنص التنمية المستدامة على أنه (يجب تلبية احتياجات الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال المقبلة على تلبية احتياجاتها الخاصة).

2- الهدف من البحث: The aim of research

يهدف هذا البحث إلى إظهار إمكانية الاستفادة الفعلية من مخلفات الإنشاء والهدم الإنشائية بإعادة استخدامها أو تدويرها ما يعطي أثراً إيجابياً بيئياً واقتصادياً وتقنياً، مع توضيح المعوقات التي تحول دون استخدام هذه المخلفات. وفي سوريا فإننا نحتاج في هذه المرحلة من إعادة البناء والتطوير إلى التشجيع على تنفيذ هذه التقنية ووضع التسهيلات والمرجعيات اللازمة لتنفيذها بما يحقق النمو ومواكبة التطور وحماية المقالع الحجرية والحفاظ على جمال طبيعة بلادنا.

3- مواد البحث وطرائقه: Research materials and methods

3-1 ماهي أنقاض البناء؟ What are the building debrise?

أنقاض البناء هي المخلفات الناتجة عن هدم وإنشاء الأبنية وتتألف عادة من: خرسانة من الإسمنت البورتلاندي والخشب وألواح قواطع الجدران والمعادن وألواح الورق المضغوط والبلاستيك والأتربة والآجر والزجاج والقرميد.

المواد الحصوية: Gravel material

إن لنوعية وخواص الحصويات تأثيراً كبيراً على خواص الخرسانة ونوعيتها لكونه يشغل حوالي (70–75%) من الحجم الكلي للكتلة الخرسانية. وتصنف الحصويات بحسب مصدرها إلى **طبيعية** نحصل عليها من ضفاف الأنهار أو مجاري السيول وتمتاز بشكلها المدور الأملس أو **مكسرة** نحصل عليها من تكسير وطحن الصخور الطبيعية ومن ثم فرزها بواسطة مناخل بحسب المقاسات المطلوبة.

ومن الخصائص الهامة لحصويات الخرسانة هي تدرج حباته، ومن أجل الحصول على هيكل خرساني كثيف يجب أن يكون تدرج حصويات الخرسانة مناسباً وذلك بتحديد نسبة البحص الناعم والبحص الخشن في الخليط، الأمر الذي ينعكس بدوره على ثبات الخلطة وتحقيقها للمواصفات المطلوبة.

3-2 الحصويات المعاد تدويرها: Recycled pebbles

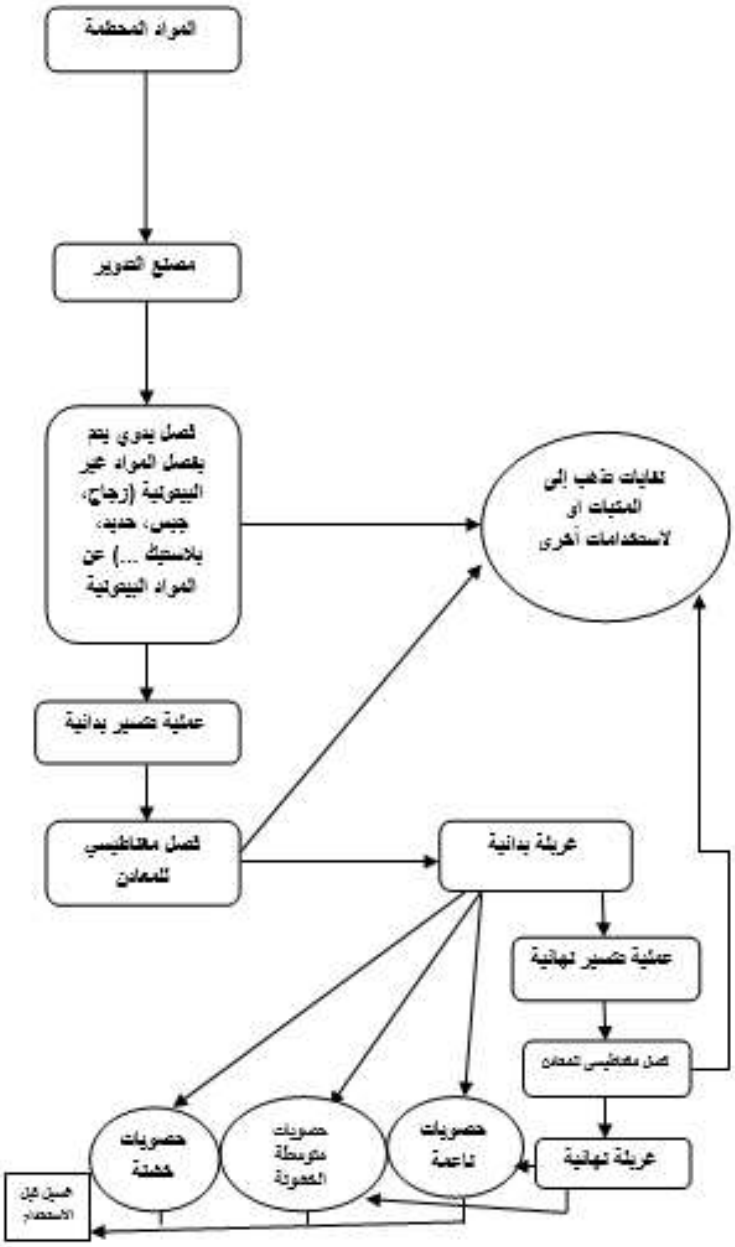
تتصف الحصويات المعاد استخدامها (RCA) بالصفات التالية:

- ❖ نسبة امتصاص ماء أعلى من الحصويات الطبيعية بنسبة (15–20%) ويعود سبب زيادة نسبة امتصاص الماء إلى وجود أجزاء ذات حجم أكبر من المونة الإسمنتية الملاصقة لحبات الحصويات.
- ❖ نسبة الفاقد بالاهتراء حسب (ASTM C535) في الحصويات المعاد استخدامها أعلى من الحصويات الطبيعية، حيث تسمح (ASTM C33) قرينة اهتراء 50% للحصويات المعاد استخدامها في حين أن هذه النسبة يجب ألا تتعدى 40% في الحصويات الطبيعية.

1-2-3 فوائد إعادة استخدام الركام الخرساني المدور: Benefits of reusing concrete aggregates

- تقليل الحاجة إلى مساحات ردم النفايات، 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.
- تخفيض استهلاك كمية المصادر الطبيعية.
- توفير بديل محلي أقل تكلفة من إنتاج حصويات جديدة محليا.
- التقليل من تكاليف الاستثمار والنقل.

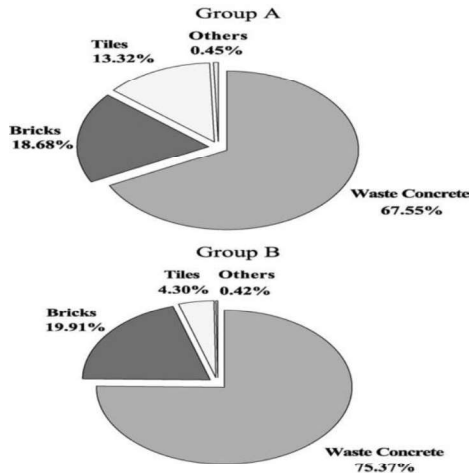
3-2-2 عملية إعادة تدوير حصويات الأنقاض: Recycled rubble pebbles



الشكل رقم (1):المخطط التكنولوجي لعملية تدوير الحصويات

3-3 الدراسة المرجعية: Reference study

أُجريت أبحاث ودراسات متعددة لإعادة تدوير أو إعادة استخدام مخلفات البناء واستعمالها مجدداً في صناعة التشييد.
حيث قام الباحث (**Neel Deshpand**) في جامعة Pune بتكسير الكتل البيتونية يدوياً ومن ثم استخدامها بعدة أشكال ناعمة وخشنة وخليط وحصل على نتائج جيدة.[4]
كما استطاع الباحث المهندس **خليفة بدر الفضالة** وزملائه في جامعة الكويت قسم الهندسة المدنية أن يحصل على قطع بيتونية بأبعاد (20–50 cm) من تكسير جسر بيتوني بعمر 28 عام بواسطة النقار، ومن ثم تكسير وطحن هذه الكتل بكسارات الحصويات وفرزها إلى أن تم الحصول على خليط من الحصويات بتدرج حبي (0–20 mm)، أُضيف إليه صنفين من الرمل (الطبيعي والمكسر) وتشكيل خلطات إسفلتية وفقاً للمواصفات الكويتية، وأُخضعت عينات هذه الخلطات إلى مجموعة التجارب المقيمة للخرسانة الإسفلتية وأعطت نتائج مميزة حيث حققت كافة شروط التقييم وقد وصلت قيم الثبات في الخلطات المنفذة إلى 2014Kg،[2].
كما استطاع الباحث (**Al–Sabbagh.N**) من جامعة الكويت إعادة استخدام حصويات المنشآت البيتونية المهدمة في تنفيذ خلطات لبيتون إسمنتي وأعطت نتائج متميزة.
قام الباحث (**Kuan–HungChen**) وزملائه من جامعة (Chung Hsing) قسم الهندسة المدنية في تايوان بتحليل مجموعتين من مخلفات المنشآت البيتونية المهدمة وتم الحصول على النتائج المبينة بالشكل (2):



الشكل رقم (2): نتائج تحليل مجموعتين من مخلفات المنشآت البيتونية المهدمة

أجرى **Mohajerani & Paranavithana** عام 2006 تجارب على تأثيرات RCA على خصائص HMA واستخدما RCA 50% كمجموعات خشنة في HMA، وأظهرت اختبارات الأداء التي أُجريت على هذا المزيج أن استخدام RCA في HMA يقلل من معامل المرونة ومقاومة الزحف للمزيج،
كما أظهرت إحدى الدراسات الحديثة التي أُجريت في هذا المجال بواسطة **Perez et al** عام 2011 اختلافات كبيرة في القوة للخلطات المحتوية على RCA في ظل الظروف الجافة والرطبة.[3]

كما تم إجراء بحث في غزة للتحقيق في الاستخدامات المحتملة لـRCA المعاد تدويره، وكانت المجالات الرئيسية المشمولة هي: الخلطات الخرسانية، بناء الطرق كقاعدة سفلية وقاعدة خشنة ويمكن تلخيص النتائج وفق التالي: تتميز الخرسانة المصنوعة من RCA بمقاومة ضغط أقل بنسبة 27–30% مقارنة بالمجموعات الطبيعية. وفي بناء الطرق تُظهر الدراسة أنه عند استخدام RCA كقاعدة فرعية وقاعدة خشنة لم يتم ملاحظة أي انتفاخ في اختبار CBR وأظهرت نتائج الاختبارات الفيزيائية إمكانية استخدام المواد المكسرة في إنشاءات الطرق.[4]

4- الدراسة التجريبية: Experimental study

تم تصميم وتنفيذ خلطة إسفلتية من حصويات معاد استخدامها مكسرة ومفروزة إلى ثلاث مجموعات تمثل البحص الخشن والبحص الناعم والرمل المكسر (الزرادة) ومقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع متطلبات خلطة الأساس الإسفلتية في دفتر الشروط والمواصفات العامة لأعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية.

4-1 المواد المستخدمة: Used material

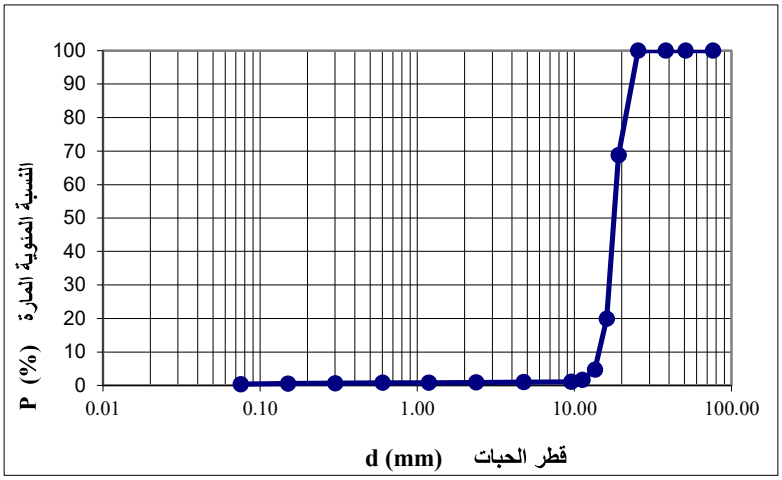
تم الحصول على الحصويات المكسرة من نواتج الهدم في محافظة حمص، حيث تم أخذ العينات البيتونية المكسرة من بناء سكني في المحافظة بواسطة آليات تركس، وتبين الصور بعض المنشآت التي أُخذت منها الكتل البيتونية التي تم تكسيرها منها وإجراء التجارب عليها في أحد المخابر الخاصة في محافظة حماة:

الشكل رقم (3): البناء الذي أُخذت منه العينات

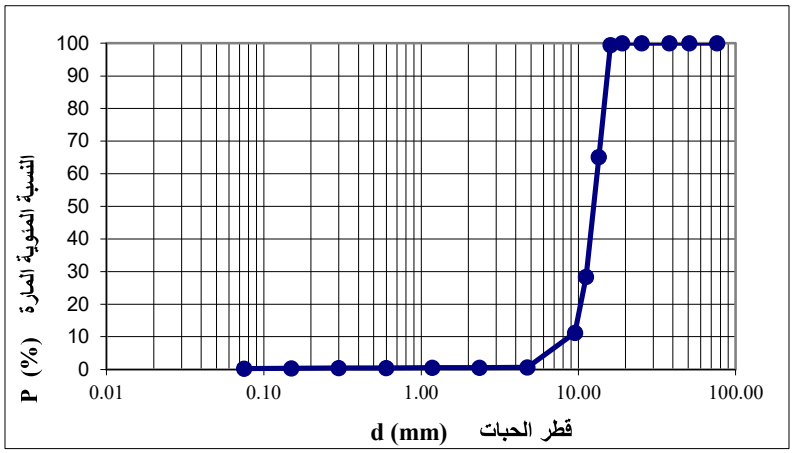
نُقلت العينات البيتونية المكسرة بواسطة آليات (قلاب) إلى الكسارة الآلية لفصل البيتون عن الحديد وتكسيره إلى قطع أصغر بواسطة النقار، ومن ثم تم عزل القضبان الحديدية والمواد الأخرى غير المرغوب بها من مواد بلاستيكية وغيرها بحيث تبقى قطع البيتون الصغيرة. ومن خلال الكسارة الآلية تم فرز الحصويات المعادة التدوير إلى ثلاث أصناف (بحص خشن، بحص ناعم، زرادة).

4-2 مواصفات الحصويات المعاد تدويرها: Specifications of recycled pebbles

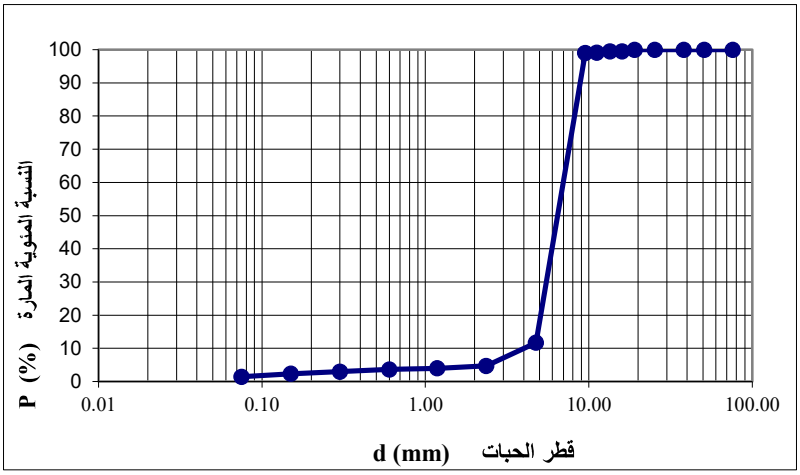
أُجريت تجربة التحليل الحبي للحصويات المعاد تدويرها، وتبين الاشكال التالية مخططات التحليل الحبي للحصويات.



الشكل رقم (4): مخطط التحليل الحبي للبحص الخشن

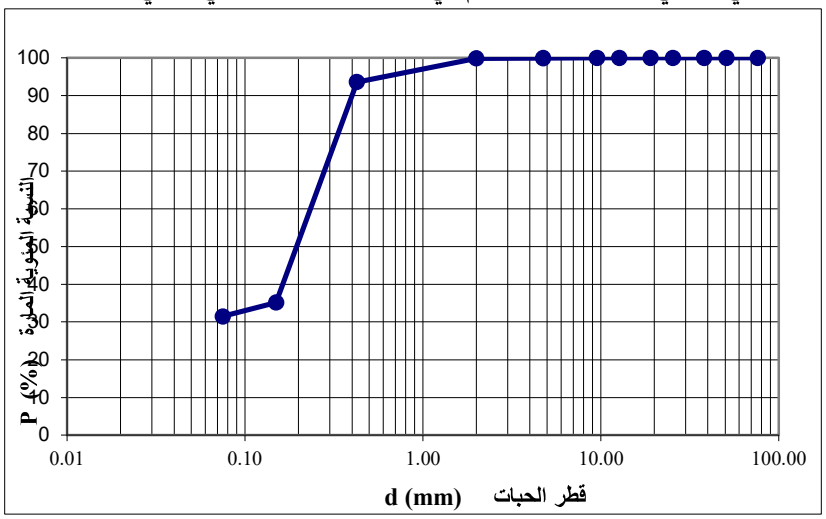


الشكل رقم (5): مخطط التحليل الحبي للبحص الناعم



الشكل رقم (6): مخطط التحليل الحبي للزرادة

كما تم استخدام رمل قرواني طبيعي لتحقيق نسبة النواعم في الخلطة وتعديل المنحني الحبي



الشكل رقم (7): مخطط التحليل الحبي للرمل الطبيعي

كما أُجريت تجربة الفاقد بالاهتراء وكانت قيمة الفاقد بالاهتراء للحصويات المعاد تدويرها 35.5%

وأُجريت تجربة الوزن النوعي للمواد المستخدمة وكانت النتائج كما في الجدول (1):

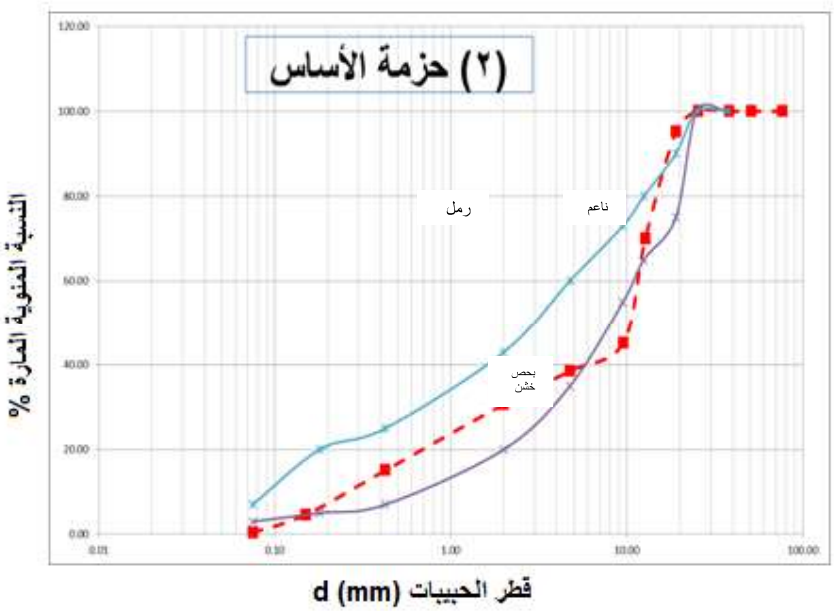
الجدول رقم (1): الأوزان النوعية للمواد المستخدمة

المادة	حصويات خشنة	حصويات ناعمة	رمل طبيعي
الوزن النوعي	2.514	2.542	2.791

كما تم اعتماد الوزن النوعي للإسفلت المستخدَم $1.01 Ton/m^3$

3-4 تصميم الخلطة الإسفلتية: Asphalt mix design

تم تنسيب الخلطة الإسفلتية بحيث تحقق حزمة طبقة الأساس (2) الواردة في دفتر الشروط والمواصفات العامة لأعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية، ويبين الشكل (8) مخطط التحليل الحبي لخليط المواد الحصوية والرمل.



الشكل رقم (8): مخطط التحليل الحبي لخليط المواد الحصوية والرمل

تم تصميم الخلطة الإسفلتية حسب طريقة مارشال

وتبين الأشكال (9) بعض الصور من مراحل تحضير عينات الخلطة الإسفلتية واختبارها:

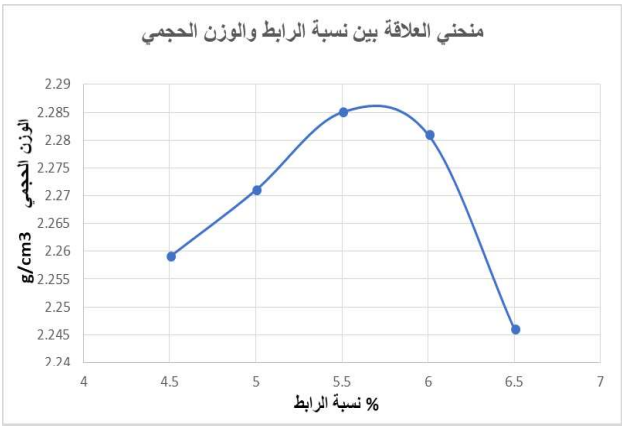
الشكل رقم (9): صور من مراحل تحضير واختبار عينات الخلطة الإسفلتية

5- نتائج التجارب: Experiment results

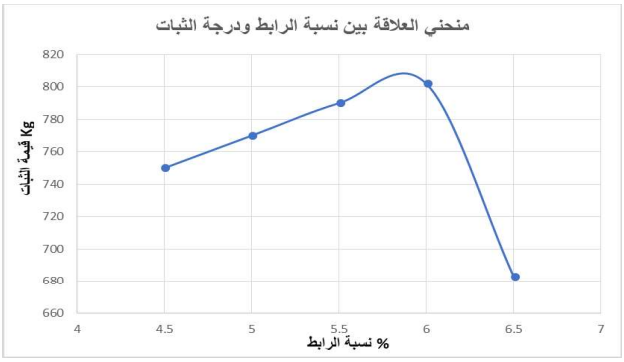
تم تنظيم النتائج بعد إجراء الحسابات اللازمة بالجدول(2) مع رسم المخططات البيانية المعبرة عنها

الجدول رقم (2): نتائج التجارب

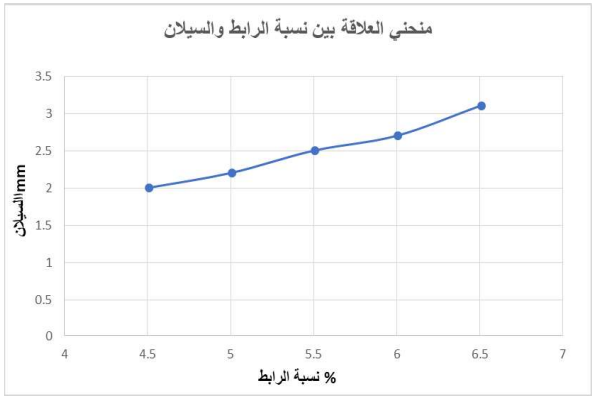
نسبة الرابط %	الكثافة g/cm^3	الثبات Kg	السيلان mm	نسبة الفراغات الهوائية %	نسبة الفراغات المليئة %
4.5	2.259	750	2	10.3	50
5	2.271	770	2.1	9.12	57.53
5.5	2.285	790	2.5	8.35	64
6	2.281	802	2.6	7.624	74.458
6.5	2.246	683	3.1	6	89.096



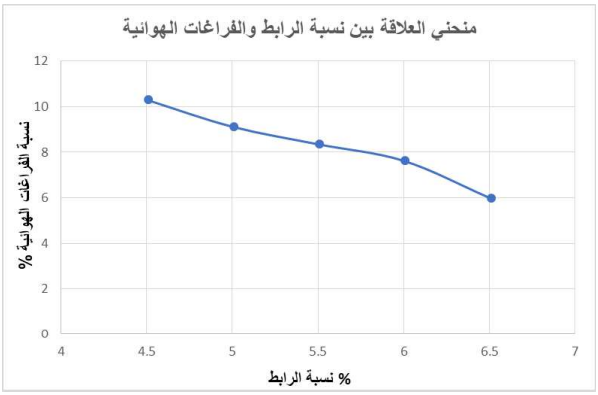
الشكل رقم (10): منحني العلاقة بين نسبة الرابط والوزن الحجمي



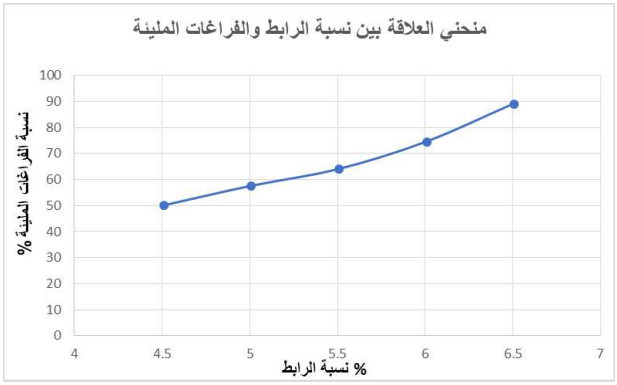
الشكل رقم (11): منحني العلاقة بين نسبة الرابط ودرجة الثبات



الشكل رقم (12): منحني العلاقة بين نسبة الرابط والسيلان



الشكل رقم (13): منحني العلاقة بين نسبة الرابط والفراغات الهوائية



الشكل رقم (14): منحني العلاقة بين نسبة الرابط والفراغات المليئة

تم تحديد نسبة الرابط المثالية وبلغت 5.74% وبناء على ما سبق تم تنفيذ خلطة مخبرية بنسبة الرابط المثالية حيث تم تشكيل ثلاث عينات واختبارها وفق مارشال ويبين الجدول (3) النتائج الوسطية المحققة.

الجدول رقم (3): النتائج التي تم الحصول عليها لنسبة الرابط المثالية

نسبة الرابط	الوزن الحجمي g/cm^3	الثبات Kg	السيلان mm	نسبة الفراغات الهوائية %	نسبة الفراغات المليئة %
6	2.282	800	2.5	6.2	68

6- الاستنتاجات: Conclusions

من خلال مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع متطلبات اختبار مارشال لطبقتي الأساس والاهتراء كما وردت في دفتر الشروط والمواصفات العامة لأعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية توصلنا إلى النتائج التالية:

1- نسبة الرابط المستخدمة 5.75% وتعتبر عالية نسبياً بسبب خشونة سطح الحبيبات الحصوية التي تستهلك كمية رابط زائدة.

2- قيمة الثبات 800Kg وهي الحد الأدنى المطلوب من قيمة الثبات لخلطة الأساس (ب).

3- قيمة السيلان 2.5 mm وتعتبر ضمن الحدود المقبولة ولكنها منخفضة نسبياً قياساً إلى نسبة الرابط المرتفعة.

4- نسبة الفراغات الهوائية تعتبر مقبولة وهي ضمن الحدود المسموحة.

5- درجة الامتلاء مقبولة ولكنها تعتبر منخفضة نسبياً قياساً إلى نسبة الرابط.

7- التوصيات: Recommendations

مما سبق نتوصل إلى **المقترحات والتوصيات** التالية:

1- متابعة العمل في موضوع الدراسة وإدخال نسب مختلفة من الحصويات الطبيعية مع الحصويات المعاد تدويرها في تشكيل الخلطات الإسفلتية والذي سيؤدي إلى تحسين مواصفات الخلطات الناتجة.

2- تقييم الواقع الراهن للمنشآت البيتونية المهدَمة ووضع تحليل أولي لمكوناتها من مواد البناء المختلفة، ودراسة تكاليف الحصول على مخلفات الأنقاض وعملية فصلها وإعادة استخدامها.

3- ضرورة إقامة مصانع خاصة بفرز وتكسير المنشآت البيتونية المهدمة واستخدامها في مرحلة إعادة الإعمار وفق الدراسات العلمية التي يتم إنجازها.

8- المراجع العلمية: Scientific references

1- دفتر الشروط الفنية لأعمال الطرق والجسور (وزارة المواصلات، الجمهورية العربية السورية)

2- إعادة تدوير الركام الخرساني في الخلطات الإسفلتية، م. خليفة بدر الفضالة، د. أحمد حمود عبد اللطيف الجسار د. محمد أحمد علي، المؤتمر الخليجي الثاني للطرق، أبو ظبي 2004.

3- Use of Recycled Aggregates in Hot Mix Asphalt Mixture,Muhammad Masood Rafi, Adnan Qadir, Salman Hameed Siddiqui, Sajjad Ali Advancing Civil Architectural and Construction Engineering & Management July 4-6, 2012, Bangkok Thailand.

4-AASHTO, "Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing", American Association of Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 1990.