استخدام المواد الإسفلتية المكشوطة في تصميم طبقات الرصف الطرقية

د.م احمد الصالح . دكتوراه في الهندسة المدنية . قسم هندسة المواصلات والنقل بجامعة حمص
د.م سمير الصالح . أستاذ في جامعة حمص . كلية الهندسة المدنية . قسم هندسة المواصلات والنقل

الملخص

يهدف البحث إلى استخدام المواد الاسفلتية المكشوطة في تصميم طبقات الرصف الطرقية بما يحقق أفضل مستوى من الناحتين الفنية والاقتصادية، يتضمن البحث إجراء دراسات نظرية وتجارب مخبرية وفقاً لما نصت عليه المواصفات والتطورات الحديثة في علوم تصميم طبقات الرصف، بحيث يتم تصميمها وتجرى التجارب اللازمة للتأكد من تحقيقها للمواصفات المعتمدة في التصميم، وتحسين خواصها وتقليل كلفتها للوصول إلى الحدود المثلى لاستخدام المواد المكشوطة والحصويات والروابط الاسفلتية المتوفرة محليا، تم في هذا البحث استخدام مواد إسفلتية مكشوطة من أحد مشاريع المنطقة الوسطى في الجمهورية العربية السورية إضافة إلى مواد حصوية من مقالع منطقة حسياء واعتمدت الطرق الهندسية في تصميم طبقات الرصف من المواد المذكورة لطبقة الأساس الحصوية وطبقة الإهتراءالإسفلتية وجميعها تحقق الشروط والمواصفات الفنية العامة لأعمال الطرق والجسور لوزارة المواصلات السورية، من نتائج البحث تبين أن إعادة استخدام المواد المكشوطة يحقق العديد من الفوائد أهمها:

1 . الحفاظ على المواد الأولية الحصوية و التوفير في استخدامها والحفاظ على البيئة من تأثير المواد المكشوطة.

2 . تخفيض كلف إعادة تأهيل الطرق بالكشط وإعادة الاستخدام وتوفير الوقت والجهد و الطاقة.

- تم تصميم خلطة حصوية لطبقة الأساس باستخدام 50 % من المواد الإسفلتية المكشوطة.
- تم تصميم خلطة اسفلتية لطبقة الإهتراء باستخدام 75 % من المواد الاسفلتية المكشوطة وإضافة 1.4 % فقط من الرابط البيتوميني الجديد.

الكلمات المفتاحية :

استخدام المكشوط الإسفلتي ، إعادة تدوير الاسفلت ، الحصويات المدورة من ركام الاسفلت

Study of the Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Designing Road Pavement Layers

Abstract

The research aims to use reclaimed asphalt pavement in designing road pavement layers in order to achieve the best level of technical and economic aspects. The research includes conducting theoretical studies and laboratory experiments in accordance with what is stipulated in the specifications and modern trends in the design of pavement layers, so that they are designed and the necessary experiments are conducted to ensure that they meet the specifications for these layers, improve their properties, and reduce their cost until reaching the optimum limits for the gravel, and asphalt binders available locally. In the research, reclaimed asphalt pavement were used from a project in the central region of the Syrian Arab Republic, in addition to gravel materials from the quarries of the Hassia region. Engineering methods were used to design paving layers from the aforementioned materials for the gravel base layer and the wearing course layer, all of which fulfill the general technical conditions and specifications for road and bridge works. To the Syrian Ministry of Transportation. Through research, it was found that reusing Reclaimed Asphalt Pavement achieves many benefits, the most important of which are:

- 1 Preserving gravel raw materials and saving on their use through:
  - •A gravel mixture was designed for the base layer using 50% Reclaimed Asphalt Pavement.
  - •an asphalt mixture for the wearing course layer was designed using 75% of Reclaimed Asphalt Pavement and adding only 1.4% of the new bituminous binder.
- -2 Preserving the environment from the effects of Reclaimed Asphalt Pavement.
- -3 Reducing the costs of rehabilitating roads through scraping and reuse.
- -4 Saving time, effort and energy.

In addition, reuse in cities maintains the levels of intersections, water drainage, sidewalks, and other services, where scraping and then rehabilitation are done at the same level.

Keywords: Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)- Asphalt recycling- Pavement recycling - Recycled Materials in Aspalt.

1 . المقدمة introduction :

أدى التوسع الكبير في إنشاء الطرق نتيجة الطلب المتزايد على النقل إلى تزايد استهلاك المواد الأولية و خاصة الحصويات، الأمر الذي نتج عنه تناقص متزايد في الكميات المتوفرة من الحصويات الجيدة وبالأخص طبقة التغطية العلوية والتي تكون من المجبول الاسفلتي في حالة الرصف المرن [1]، تؤثر الإجهادات على الأغطية الاسفلتية مما يؤدي إلى تشققها وتخريبها فتنتشر هذه الشقوق و تتداخل بتأثير عوامل عدة [2]، مما يخلق مشكلة جدية تعترض منفذي الطرق تضاف إلى التلوث البيئي الكبير الذي تسببه الكميات الكبيرة من المواد المكشوطة سنوياً نتيجة إعادة تأهيل الأغطية الطرقية هذا فضلاً عن تزايد كلفة المنتجات النفطية و تناقص مخصصات الصيانة ، كل هذه الأسباب مجتمعة أدت إلى خلق تحد لإنجاز عمل أكثر بموارد أقل مما دفع إلى تطوير تقنيات جديدة تخفض التكاليف من جهة و تحقق المواصفات من جهة أخرى، فتم تركيز الجهود على إيجاد تكنولوجيا تحقق الغرض من الصيانة و إعادة التأهيل بكلفة أقل فكان من أهم التكنولوجيات التي حققت نتائج عملية جيدة تكنولوجيا إعادة الاستخدام.

يتضمن البحث إجراء دراسات نظرية وتجارب مخبرية وفق ما تنص عليه المواصفات في تصميم طبقات الرصف، تم تصميم الخلطات وإجراء التجارب اللازمة عليها للتأكد من تحقيقها للمواصفات وتقليل كلفتها حتى الوصول إلى الحدود المثلى بالنسبة للمواد المكشوطة والحصويات والروابط المتوفرة محليا.

وقد أظهرت الكمية المتزايدة من المواد الاسفلتية المكشوطة في جميع أنحاء العالم أنه يجب اتخاذ تدابير فعالة للحد من تأثيرها السلبي على البيئة. إن تجميعها بأكوام أو ردمها في الأرض ليس حلاً، بسبب خطر الترشيح مع احتمال التلوث اللاحق للمياه الجوفية، ومن ناحية أخرى هناك ما هو مهم فوائد الاستدامة المرتبطة باستخدام المواد المعاد تدويرها في صناعة الرصف. إعادة التدوير تساعد البيئة من خلال تقليل استخراج الموارد واستخدام المواد البكر، وبالتالي تقليل استخدام الطاقة والمياه، مما يقلل الضرر انبعاثات الغازات والمساعدة في تقليل النفايات في مدافن النفايات، كما أن شراء المنتجات المعاد تدويرها في بعض الحالات يكون حلاً اقتصادياً في تقليل التكلفة، إضافة إلى استخدام المواد المعاد تدويرها سيمثل فرصة مهمة لحفظ المواد الخام [3].

2- الدراسات المرجعية :

في عام 2018 أنجز الباحث Ujjawal Naulkha ورفاقه دراسة تضمنت مراجعة لاستخدام الاسفلت المكشوط في الرصف المرن ، تبين بأن استخدام المكشوط الاسفلتي المعاد تدويره (RCA) في الخلطات الإسفلتية يعد أمراً فعالاً كمادة تلعب دورًا مهمًا في الأداء النهائي للخليط الإسفلتي [3].

وقد أنجز الباحث Yomiyu RetaYomiyu Reta و مجموعة من العلماء في عام 2018 دراسة تتضمن استخدام المكشوط الاسفلتي في طبقات الرصف وتشير نتائج الدراسة أنه يمكن استخدام مواد المكشوط الاسفلتي بتحسينها بنسبة محددة من المواد الحصوية ، بحيث تحقق الشروط والمواصفات الفنية المعتمدة في تصميم الخلطات الإسفلتية [4].

وفي عام 2015 قام الباحث Brajesh Mishra بإعداد دراسة احتوت على إمكانية استخدام المواد الاسفلتية المكشوطة في طبقات الرصف وتوصل إلى نتائج جيدة للاستخدام وذلك وفقاً لشروط MORTH (Ministry of Shipping, Specification of Road & Bridge Work) Road Transport & Highway–INDIA [5].

وقد تم الشروع بعملية إعادة الاستخدام على الساخن منذ عام 1970 في الولايات المتحدة وعام 1976 في أوروبا، في حين أنه تم استخدام تكنولوجية إعادة الإستخدام على الساخن في المكان باستخدام الخلاطات المتحركة ASPHALT RECYCLING TRAVEL PLANT ((ART)) [6]. وقد استخدمت المواد الإسفلتية المكشوطة (RAP) في الولايات المتحدة لأكثر من 35 عامًا بسبب تخفيض التكاليف والحماية البيئية من التلوث الناتج عنها، إذ أن الزيادات الكبيرة الأخيرة في أسعار الإسفلت دفعت خبراء تكنولوجيا صناعة الإسفلت إلى الزيادة في استخدام RAP. ولذلك فإن تقييم وتحسين أداء الخليط الإسفلتي الذي يحتوي على RAP يعد أولوية بالنسبة لشركات صناعة الإسفلت [7].

إن إعادة استخدام المواد الإسفلتية المكشوطة في إعادة تأهيل الأغطية الإسفلتية المتخربة تتضمن العديد من الخيارات وهي:

. إعادة استخدام المواد المكشوطة على الساخن، إعادة استخدام المواد المكشوطة على البارد، إعادة الإنشاء بحيث تكون جميع المواد جديدة . الترقيع والتغطية السميكة . الترقيع والتغطية الرقيقة [8].

ويمكن تقسيم عملية إعادة الاستخدام على الساخن إلى شكلين أساسين :

1. إعادة الاستخدام على الساخن في المكان HOT IN PLACE RECYCLING

2. إعادة الاستخدام على الساخن في الموقع الثابت HOT RECYCLING IN STATIONARY SITE

وقد ميز استعادة وإعادة استخدام الإسفلت (ARRA) ASPHALT RECYCLING AND RECLAIMING ASSOCIATION ثلاث طرق وهي:

- إعادة الخلط : REMIXING

وتتكون عملية إعادة الخلط من تسخين شامل لعمق cm(6–7) من الغطاء الحالي حيث تجمع المادة في أكوام بواسطة آليات كشط دورانية ويضاف إليها كميات محددة من خلال الوسائل المعتمدة (طرق إعادة الاستخدام) ثم يتم فرش الخلطة الناتجة كطبقة متجانسة وحيدة وهي تؤمِّن حلاً فعالاً من حيث الأمان والاقتصادية لتفادي تشكل العيوب الطرقية كالتخدد والتشققات والتأكسد حيث يتم تسخين الطبقة السطحية الموجودة بواسطة مشعات بالأمواج تحت الحمراء وتطرية المواد الإسفلتية حتى عمق cm(6–7) ثم تطحن المواد المسخنة ويضاف إليها حصويات جديدة وبيتومين ثم تخلط المواد ويتم فرشها ورصها.

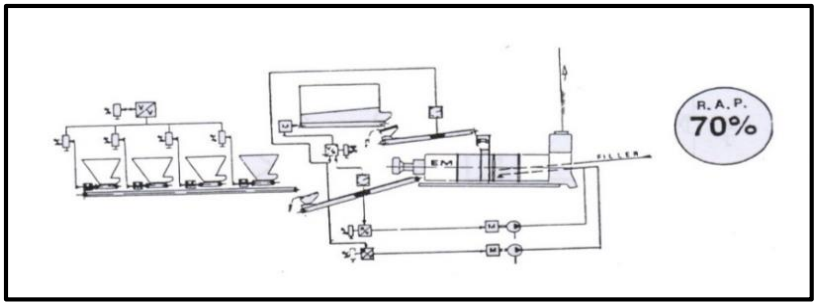
ومن مميزات عملية إعادة الخلط أنها لا تحتاج إلى طبقة سطحية جديدة كما لا تحتاج إلى طبقة لاصقة حيث أن التسخين الأولي للغطاء المتبقي يؤمِّن درجات الحرارة الضرورية للربط الجيد، والطرق المتبعة لإعادة الخلط هي الطرق التي تنحصر فيها المشاكل على عمق إنش ونصف ، وتستخدم هذه الطريقة عندما تكون هناك حاجة لحصويات إضافية لتحسين ثبات الخلطة [7].

- التسخين والكشط : HEATING AND SCARIFING

وهي عملية أخرى لإعادة تأهيل أخرى وإصلاح الغطاء المتشقق والمتقصِّف وتحويله إلى طبقة اهتراء حيث يتم تسخين سطح الطريق ثم كشطه بواسطة مجموعة من الأسنان الثابتة ثم يتم إضافة وسيط التجديد لتطرية الإسفلت القديم ويتبع ذلك غالباً تنفيذ طبقة جديدة،وهذه الطريقة مناسبة للطرق المستقرة ذات الأساس الجيد إنشائياً.

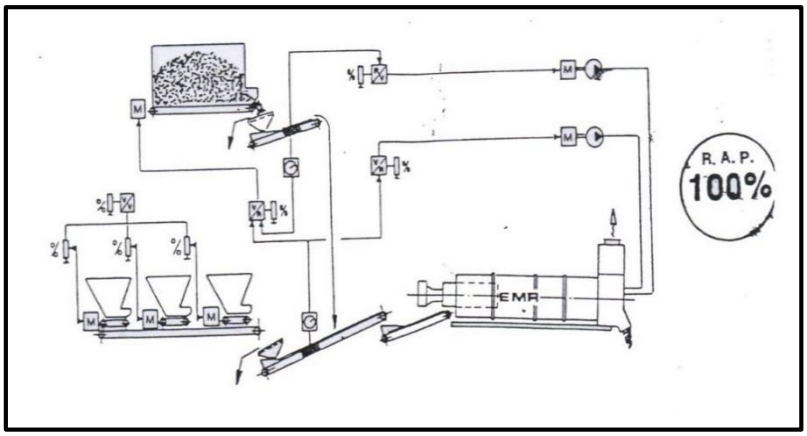
- باستخدام مجابل الخلاطات الاسطوانية :DRUM MIXERS PLANTS

يحتوي مجبل الخلاطة الأسطوانية على مدخل للمادة القديمة في منتصف المسافة تحت الأسطوانة بحيث تسمح بإعادة استخدام (70%) من المادة القديمة كما في الشكل رقم (1).



الشكل (1) الخلاطة الاسطوانية باستخدام 70% مواد مكشوطة

كما يمكن أن تصل نسبة المادة القديمة حتى (100%) في حال استخدام الخلاطة الأسطوانية بحيث يتم إدخال المواد من نفس النقطة التي تستخدم للمواد الجديدة الشكل (2) لكن هذا النمط من المجابل يمكن أن يستخدم من أجل إنتاج ساعي معين نظراً للصعوبات التي يمكن مواجهتها خلال النقل، ويعمل في هذه الحالة الحارق في حجرة احتراق محمية مما يعني أن التسخين يتم فقط عبر الغازات الساخنة وفي هذه الطريقة لا يتأذى البيتومين القديم [8].



الشكل (2) الخلاطة الاسطوانية باستخدام 100% مواد مكشوطة

- طريقة إعادة الإستخدام على الساخن :HOT RECYCLING METHOD

عادةً تتم العملية وفق المراحل التالية:

1- تسخين الغطاء بواسطة مسخنات بالأشعة تحت الحمراء.

2- كشط الغطاء.

3- إضافة حصويات جديدة ووسيط تجديد أو بيتومين للمواد المستعادة وخلطها في الخلاط وفرش المواد وتسويتها ودحلها[11].كما هو مبين في الشكل رقم (3).

الشكل (3) عملية إعادة الاستخدام على الساخن [13]

3 . المواد وطريقة البحث:

تم أخذ عينات من المواد الإسفلتية المكشوطة من أحد لمشاريع إعادة تأهيل شبكة الطرق في المنطقة الوسطى بالجمهورية العربية السورية حيث تجري عمليات الصيانة لشبكة الطرق بكشط الطبقة السطحية من المجبول الإسفلتي و تجميعها و من ثم نقلها إلى مكبات خارج موقع العمل و إعادة تنفيذ طبقة مجبول إسفلتي جديدة . وقد أجرينا عدد من التجارب المخبرية عليها لدراسة إعادة استخدامها في طبقات الرصف بما يتوافق مع الشروط الفنية المعتمدة من قبل وزارة المواصلات السورية في تصميم طبقات الرصف الطرقية .والشكل رقم (4) يوضح عمليات كشط المجبول الاسفلتي.

الشكل رقم (4) عمليات كشط طبقة الاسفلت السطحية

3 . 1 التجارب المخبرية المجراة على عينة المواد الاسفلتية المكشوطة :

تم أخذ عينة من المواد الاسفلتية المكشوطة إلى المخبر، ولتحديد خواصها تم إجراء التجارب المخبرية اللازمة وكانت النتائج كما يلي:

3 . 1 . 1 تحديد نسبة الاسفلت ضمن المواد الإسفلتية المكشوطة :

Quantitative Extraction of Bitumin from Bituminous Paving

(ASTM D2172- 67) MixturesAASHTO T 164- 761

تم إجراء تجربة الاستخلاص لتحديد نسبة الإسفلت ضمن المواد المكشوطة والشكل رقم (5) يبين مراحل إجراء التجربة.

الشكل رقم (5) تحضير المواد المكشوطة لإجراء تجربة الاستخلاص

والجدول رقم (1) يبين نتائج التجربة.

جدول (1) تجربة الاستخلاص لتحديد نسبة الرابط الاسفلتي

وزن العينة قبل الغسيل gr	800
وزن العينة بعد الغسيل gr	767
وزن الفلتر قبل التجربة gr	13.67
وزن الفلتر بعد التجربةgr	15.44
وزن البودرة العالقة بالمرشح gr	1.77
الوزن الكلي للمواد الحصوية gr	768.77
وزن الاسفلت gr	31.23
نسبة السفلت %	3.90

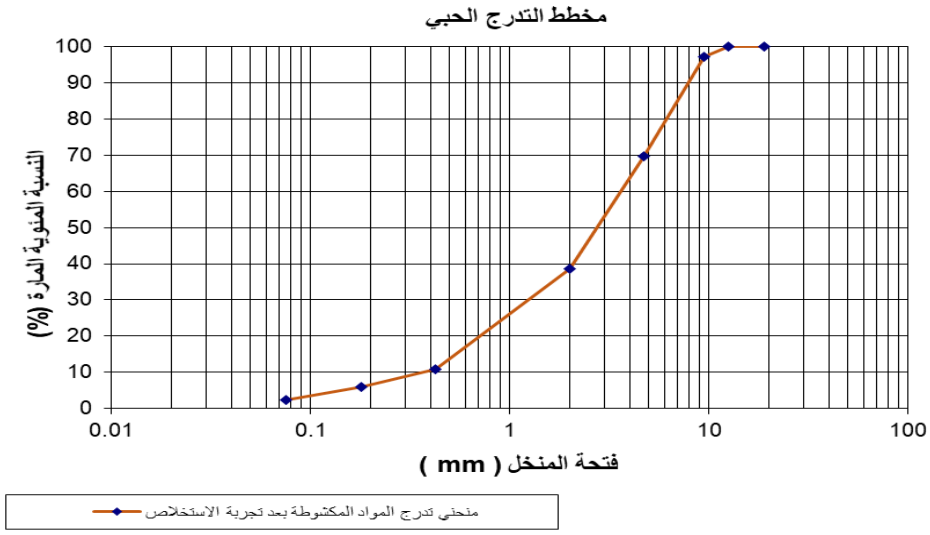
3 . 1 . 2 تجربة التحليل الحبي للمواد الحصوية بعد إجراء تجربة الإستخلاص :

(Sieve Analysis of Aggregate Gradation) (ASTM-D 422-63)

تم إجراء تجربة التحليل الحبي لتحديد التدرج الحبي للمواد المكشوطة بعد إنهاء تجربة الإستخلاص والجدول رقم (2) والشكل رقم (6) يبينان نتائج التجربة .

الجدول (2) التدرج الحبي للمواد المكشوطة بعد إنهاء تجربة الاستخلاص

النسبة المئوية المارة %	النسبة المئوية التكاملية المتبقية %	النسبة المئوية المتبقية على كل منخل %	الوزن الجزئي المحجوز gr	فتحة المنخل	
				mm	in
100	0	0	0	19.05	3 / 4
100	0	0	0	12.5	1 / 2
97.26	2.74	2.74	21	9.51	3 / 8
69.83	30.17	27.43	210	4.75	رقم 4
38.72	61.28	31.11	239	2	رقم 10
10.95	89.05	27.77	213	0.425	رقم 40
5.87	94.13	5.08	39	0.18	رقم 80
2.35	97.65	3.52	27	0.075	رقم 200



الشكل (6) منحني التدرج الحبي للمواد المكشوطة

3 . 2 منهجية البحث:

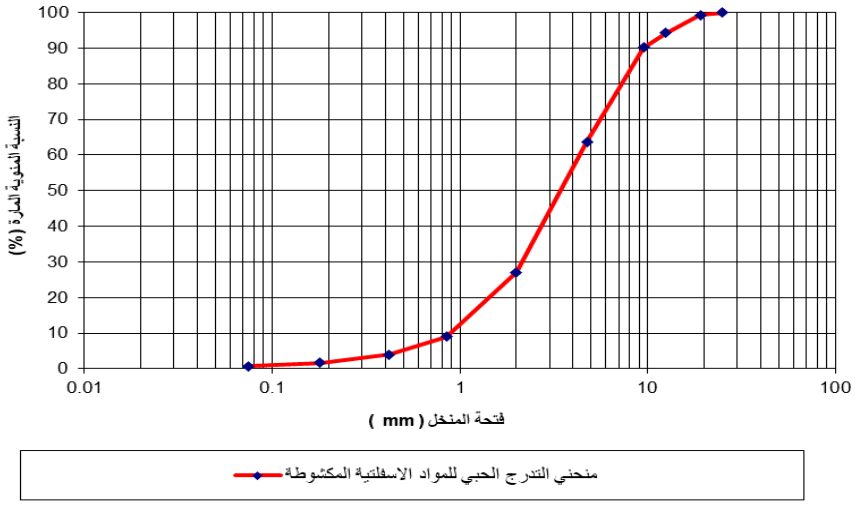
بعد التعرف مخبرياً على خواص المواد الاسفلتية المكشوطة (RAP) تم البحث في طرق استخدام هذه المواد ضمن طبقات الرصف وتم العمل على إعادة استخدامها بالاتجاهات التالية:

3 . 2 . 1 استخدام المواد المكشوطة كطبقة أساس حصوية :

تم إجراء تجربة التحليل الحبي على المواد الإســفلتية المكشــوطة (RAP) والنتائج مبينة في الجدول رقم (3) والشكلين رقم (7–8):

الجدول (3) التدرج الحبي للمواد الاسفلتية المكشوطة (RAP)

النسبة المئوية المارة %	النسبة المئوية التكاملية المتبقية %	الوزن الجزئي التراكمي المحجوز gr	فتحة المنخل	
			mm	in
100.00	0.00	0	25	1"
99.35	0.65	13	19.05	3 / 4
94.30	5.70	114	12.5	1 / 2
90.15	9.85	197	9.52	3 / 8
63.70	36.30	726	4.75	4 رقم
27.10	72.90	1458	2	10 رقم
9.00	91.00	1820	0.85	50 رقم
4.00	96.00	1920	0.42	40 رقم
1.70	98.30	1966	0.18	100 رقم
0.70	99.30	1986	0.075	200 رقم



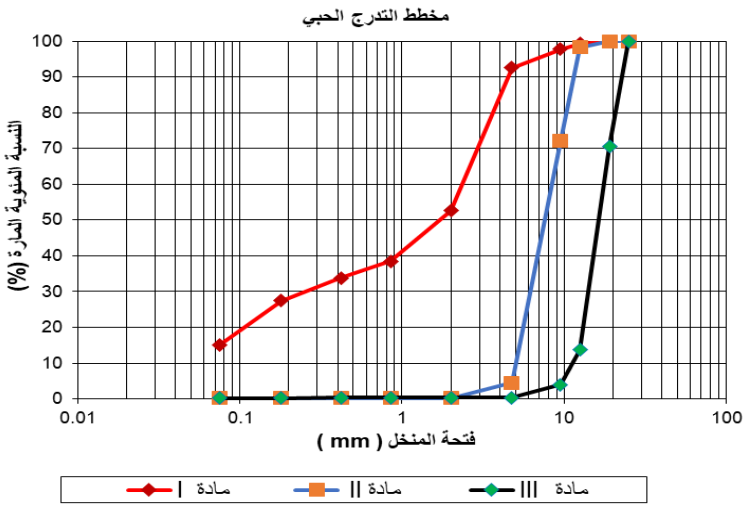
الشكل (7) منحني التدرج الحبي للمواد الاسفلتية المكشوطة (RAP)

الشكل (8) إجراء تجربة التحليل الحبي للمواد الاسفلتية المكشوطة (RAP)

لقد تبين أن التدرج الحبي للمواد المكشوطة يقع خارج الحزم الثلاث المعتمدة من قبل وزارة المواصلات السورية الخاصة بتصميم طبقات الرصف الحصوية (طبقة أساس حصوية)، لذلك تم اللجوء إلى تحسين التدرج الحبي لهذه المواد بتشكيل خلطة من المواد الإسفلتية المكشوطة (RAP) ومواد حصوية جديدة عبارة عن حصويات مكسرة من مقالع حسياء حيث كانت تتصف بالتدرجات الحبية المبينة في الجدول (4):

جدول (4) نتائج تجربة التحليل الحبي للحصويات

النسبة المئوية المارة %			فتحة المنخل	
مادة III	مادة II	مادة I		
4-25 mm	2-19 mm	0-12 mm	mm	in
100.00	100.00	100.00	25	1
70.60	100.00	100.00	19.05	3 / 4
13.75	98.25	99.40	12.5	1 / 2
3.95	72.25	97.80	9.52	3 / 8
0.30	4.55	92.60	4.75	رقم 4
0.30	0.25	52.66	2	رقم 10
0.30	0.25	38.43	0.85	رقم 50
0.30	0.25	33.87	0.42	رقم 40
0.25	0.25	27.43	0.18	رقم 100
0.20	0.25	15.13	0.075	رقم 200

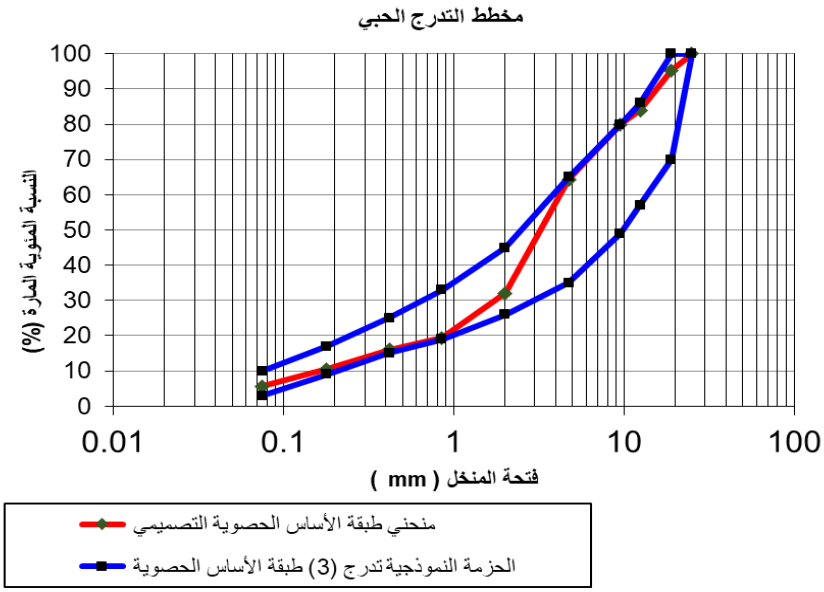


الشكل (9) نتائج تجربة التحليل الحبي للحصويات

من خلال اعتماد الطريقة التخطيطية لتشكيل الخلطة الحصوية [11] ووفقاً للحزمة النموذجية الثالثة المعتمدة من قبل وزارة المواصلات السورية الخاصة بتصميم طبقات الرصف الحصوية (طبقة أساس) [14]، تم تشكيل الخلطة الحصوية المطلوبة باستخدام المواد السابقة من النسب التالية : 50 % (مواد مكشوطة RAP) + 15 % (مادة حصوية I) + 35 % (مادة حصوية III) ويوضح الجدول رقم (5) والشكل رقم (10) نسب الحصويات المستخدمة والتدرج الحبي لطبقة الأساس الحصوية:

جدول (5) تحديد نسب المزج للتدرجات الحبية التصميمية لطبقة الأساس الحصوية

التدرج التصميمي (النسبة المئوية المارة) %	النسبة المئوية المارة			فتحة المنخل	
	35% مادة III	15 % مادة I	50 % RAP	mm	in
100.00	35.00	15.00	50.00	25	1
95.27	35.00	10.59	49.68	19.1	3 / 4
84.00	34.79	2.06	47.15	12.5	1 / 2
79.90	34.23	0.59	45.08	9.52	3 / 8
64.31	32.41	0.05	31.85	4.75	رقم 4
32.03	18.43	0.05	13.55	2	رقم 10
19.40	14.85	0.05	4.50	0.85	رقم 50
16.00	13.95	0.05	2.00	0.42	رقم 40
10.49	9.60	0.04	0.85	0.18	رقم 100
5.68	5.30	0.03	0.35	0.08	رقم 200



الشكل (10) التدرج الحبي لطبقة الأساس الحصوية التصميمية

بعد تشكيل الخلطة الحصوية المذكورة تم إجراء التجارب المخبرية اللازمة عليها لتأكيد صلاحيتها للإستخدام في طبقات الرصف الطرقية (طبقة أساس حصوية) وفقاً لما نصت عليه المواصفات الفنية المعتمدة من قبل وز–ارة المواصلات السورية: (تجربة CBR، تجربة المكافئ الرملي ، تجربة الفاقد بالاهتراء) وتم إدراج النتائج في الجدول رقم (6):

جدول (6) تحديد صلاحية خلطة المواد لتشكيل طبقة أساس حصوية

الاختبار المجرى	القيمة	الحدود المسموحة
نسبة الفاقد بالاهتراء Los Angeles % AASHTO - 96-77	28.56	min of 45 %
تحديد قيمة المكافئ الرملي Sand Equivalent % ASTM-D 2419-74	82	max of 35 %
تجربة (CBR) California Bearing Ratio % ASTM D1883	86	max of 80 %

نلاحظ من الجدول رقم (6) أن الخلطة الحصوية المشكلة صالحة للاستخدام كطبقة أساس حصوية كونها تحقق الشروط والمواصفات الفنية لوزارة المواصلات السورية طبقة أساس حصوية تدرج رقم(3).

والشكل رقم (11) يوضح إجراء تجارب تحديد الصلاحية للخلطة الحصوية المشكلة :

الشكل رقم (11) يوضح إجراء تجارب تحديد الصلاحية للخلطة الحصوية المشكلة

3 . 2 . 2 استخدام المواد المكشوطة كطبقة مجبول بيتومين ي (طبقة إهتراء) :

نلاحظ من خلال تجربة الإستخلاص التي تم إجراؤها على عينة المواد الإسفلتية المكشوطة والموضحة نتائجها في الجدول رقم (1):

انخفاض نسبة الرابط البيتومين ي إذ انها لا تقع ضمن المجال المسموح به في تركيب الخلطة البيتومينية وهو: (6% –4%) وذلك وفقا لدفتر الشروط والمواصفات الفنية لوزارة المواصلات السورية، ويعود سبب الانخفاض في نسبة الرابط الإسفلتي لأسباب متعددة منها إلى التطاير أثناء عملية الكشط وأسباب أخرى عديدة تتعلق بظروف الاستثمار والتنفيذ وغيرها.

لقد تبين بأن التدرج الحبي للمواد المكشوطة يقع خارج الحزم الثلاث المعتمدة من قبل وزارة المواصلات السورية الخاصة بتصميم طبقات الرصف الإسفلتية (طبقة اهتراء) [15] ويميل التدرج

إلى الحزمة الثالثة . لذلك تم اللجوء إلى تحسين التدرج الحبي لهذه المواد بتشكيل خلطة من المواد الإسفلتية المكشوطة والمواد الحصوية المذكورة سابقاً في الجدول رقم (3).

3.2.3 تصميم الخلطة الإسفلتية على الساخن (طبقة إهتراء) :

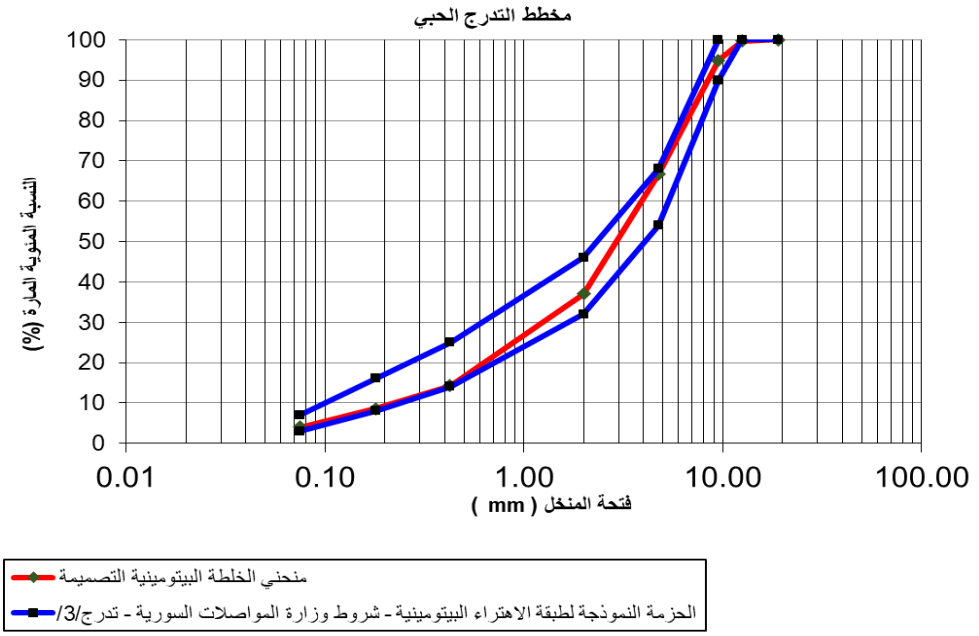
باعتماد الطريقة التخطيطية في تشكيل الخلطة البيتومينية [13] وبالمقارنة مع الحزمة النموذجية الثالثة المعتمدة من قبل وزارة المواصلات السورية (طبقة اهتراء) [15]، تم تشكيل الخلطة المطلوبة باستخدام المواد السابقة وفق نسب الخلط التالية:

75 % (مواد مكشوطة RAP) + 10 % (مادة حصوية II) + 15 % (مادة حصوية III)

ويوضح الجدول رقم (7) والشكل رقم (12) نسب الحصويات المستخدمة للخلطة االبيتومينية التصميمية:

جدول (7) تحديد نسب المزج للتدرجات الحبية التص

فتحة المنخل mm		النسبة المئوية المارة			التدرج التصميمي (النسبة المئوية المارة) %	الحزمة النموذجية (طبقة اهتراء تدرج3) %	
in	mm	75 % RAP	10% مادة II	15% مادة III			
3 / 4	19.00	75.00	10.00	15.00	100.00	100	
1/2	12.50	75.00	9.83	14.91	99.74	100	
3 / 8	9.50	72.95	7.23	14.67	94.84	90	100
رقم 4	4.75	52.37	0.46	13.89	66.72	54	68
رقم 10	2.00	29.04	0.03	7.90	36.96	32	46
رقم 40	0.43	8.21	0.03	5.98	14.22	14	25
رقم 80	0.18	4.40	0.03	4.11	8.54	8	16
رقم 200	0.075	1.76	0.01	2.27	4.04	3	7



شكل (12) منحني التدرج الحبي للخلطة البيتومينية التصميمية (طبقة اهتراء)

4 . 2 . 3 تصميم الخلطة البيتومينية (تحديد نسبة البيتومين الأصولية):

من أجل تحديد نسبة البيتومين الأصولية اعتمدت طريقة مارشال وتعد طريقة مارشال من أكثر الطرق انتشاراً واستعمالاً في العالم، وضع اسمها الباحث "BROSS MARSHAL" وقد طورتها المؤسسات العلمية التي تعمل في هذا المجال بعد الحرب العالمية الثانية ومن أهمها "AASHTO" وتعتمد طريقة مارشال على العمل المخبري وتتم وفق المراحل التالية:

1. اختيار المواد الحصوية . 2. اختيار التركيب الحبي المناسب . 3. تحديد نسب الحصويات . 4. تحديد الوزن النوعي للحصويات . 5. تحديد الوزن النوعي للبيتومين المستخدم . 6. تحضير العينات واختبارها . 7. تحديد خصائص العينات. 8. رسم النتائج والمخططات بيانياً . 9. دراسة وتحليل نتائج مارشال . 10. تحديد نسبة البيتومين الأصولية وذلك وفقاً لـ (الثبات الأعظمي ، وكثافة العينات العظمى ، ونسبة الفراغات الهوائية عند القيمة 4%) . حيث تعتمد القيمة الوسطية للمؤشرات الثلاثة .

تم تشكيل عينات مارشال بنسب متعددة للرابط البيتومين %(4.5 ، 5 ، 5.5 ، 6) [13-16]

مع الأخذ بعين الاعتبار وجود نسبة %(3.9) من الرابط البيتوميني في المواد المكشوطة و التي تشكل %(75) من مزيج المواد الحصوية المشكلة للخلطة الإسفلتية، و نبين في الجدول رقم (8) وزن المواد الحصوية و الرابط البيتوميني عند كل نسبة من الرابط:

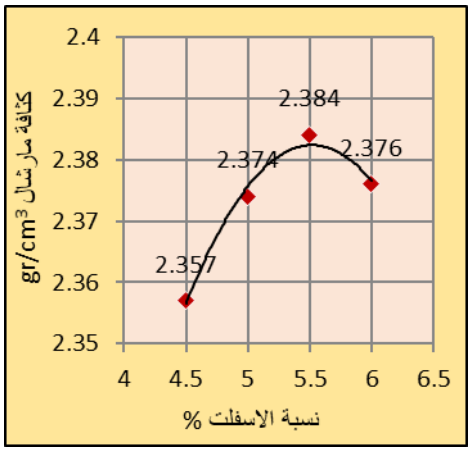
جدول رقم (8) وزن المواد الحصوية والرابط البيتوميني اللازمة لتشكيل عينات مارشال البيتومينية

وزن المواد الحصوية gr			وزن الإسفلت اللازم لتشكيل الخلطة gr	وزن الخلطة الإسفلتية gr	نسبة الإسفلت	
مادة حصوية III	مادة حصوية II	مواد مكشوطة			للمجبول %	للخلطة %
358.13	238.75	1863.75	39.37	2500	4.5	1.57
356.25	237.5	1854.38	51.87	2500	5	2.07
354.38	236.25	1845	64.4	2500	5.5	3.58
352.5	235	1835.6	76.9	2500	6	3.07

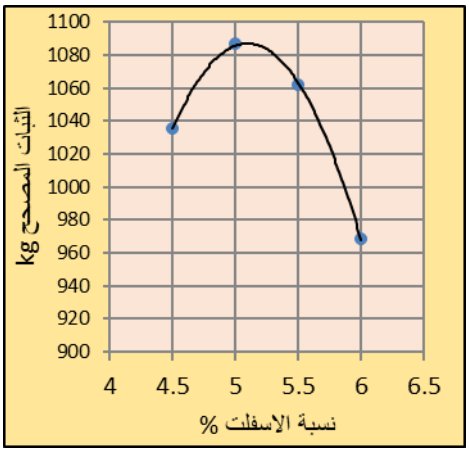
كما يبين الجدول رقم (9) والأشكال (13-14-15-16) نتائج اختبار مارشال المجراة على العينات التي تم تحضيرها بقوالب مارشال النظامية.

جدول رقم (9) نتائج تجربة مارشال الوسطية للخلطة البيتومنية التصميمية

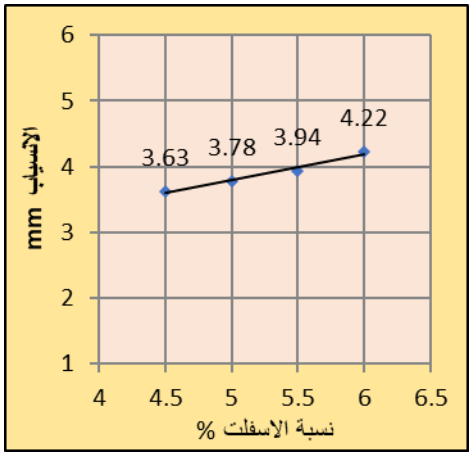
نسبة الرابط الأسفلتي %	الكثافة الحجمية gr/cm^3	النسبة المئوية للفراغات المليئة %	النسبة المئوية للفراغات الهوائية %	ثبات مارشال المصحح kg	السيلان mm
4.5	2.357	61.95	6.78	1035	3.63
5	2.364	68.34	5.82	1087	3.78
5.5	2.385	76.21	4.55	1062	3.93
6	2.376	79.86	3.87	968	4.22



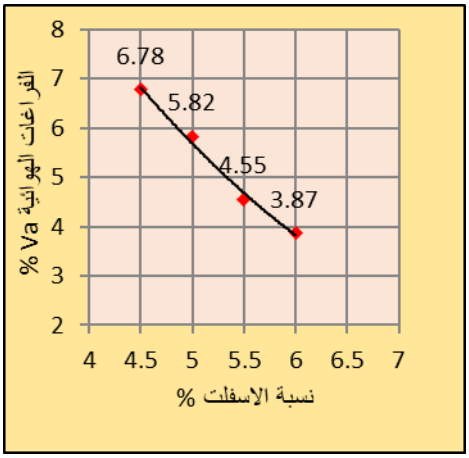
الشكل رقم (13) تغير الكثافة بتغير نسبة الإسفلت



الشكل رقم (14) تغير الثبات بتغير نسبة الإسفلت



الشكل رقم (15) تغير الإنسياب بتغير نسبة الإسفلت



الشكل رقم (16) تغير الفراغات الهوائية بتغير نسبة الأسفلت

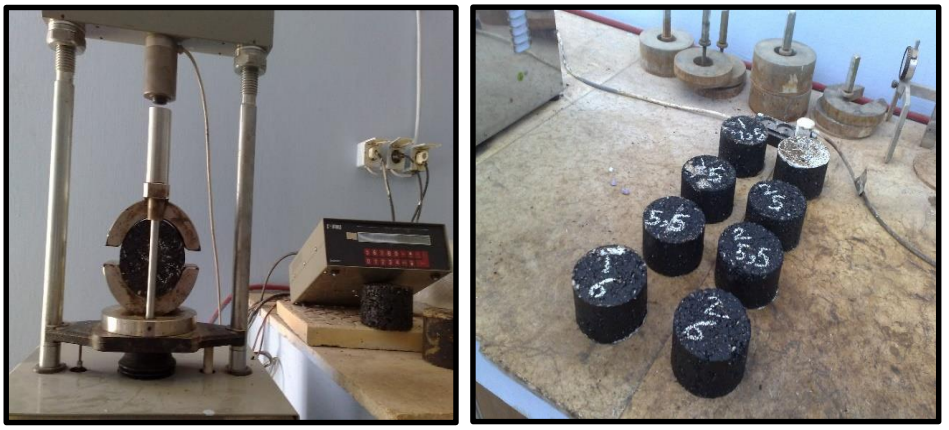
تبين الأشكال (13و14و15و16) بأن نسبة الرابط البيتومينى الأصولية التصميمية للخلطة البيتومينية (طبقة الاهتراء) هي : (% 5.3) .

وقد تم تدوين خصائص الخلطة الإسفلتية التصميمية في الجدول رقم (10):

جدول رقم (10) خواص الخلطة الاسفلتية التصميمية

نسبة الإسفلت (%) Asphalt Content	5. 3
الثبات (Kg) Stability	1080
الإنسياب (mm) Flow	3.85
نسبة الفراغات الهوائية (%) Air Voids	5
وزن واحدة الحجوم (t/m^3) Bluck Unit Weight	2.382

نلاحظ من خلال القيم المذكورة في الجدول رقم (10) بأن الخلطة البيتومينية التصميمية تحقق الشروط والمواصفات المعتمدة من قبل وزارة المواصلات السورية الخاصة بتصميم طبقات الرصف الإسفلتية وفق الحزمة النموذجية الثالثة (طبقة اهتراء).



شكل (17) تشكيل العينات البيتومينية بقوالب مارشال لتصميم الخلطة البيتومينية

3 . 2 . 5 تحديد نسبة الفاقد في الثبات بعد الغمر بالماء بالدرجة °80C لمدة ست ساعات :

تمت المتابعة مخبرياً في تحضير مجموعة من العينات بقوالب مارشال من الخلطة البيتومينية المصممة بالتدرج ونسبة الاسفلت الأصولية ، وبعدها غمرت العينات بالماء بدرجة حرارة **(80°C**) لمدة 6 ساعات ، وحدد قيمة النقص في الثبات . ويبين الجدول رقم (11) قيمة النقص في قيم الثبات للعينات الإسفلتية بعد إجراء اختبار الغمر بالماء بدرجة حرارة (80° C) لمدة 6h.

جدول رقم (11) نتائج تجربة النقص في الثبات للعينات الإسفلتية.

نوع الخلطة الإسفلتية	قيمة الثبات الوسطي المصحح Kg		نسبة النقص في قيمة الثبات بعد الغمر لمدة 6h %
	بعد الغمر بالماء بالدرجة 60°C لمدة 0.5 h	بعد الغمر بالماء بالدرجة 80°C لمدة 6h	
75 % (RAP) + 10 %(II) +15 %(III)	1068	905	15.3

ـ من خلال النتائج المدونة بالجدول رقم (11) أعلاه نلاحظ ما يلي :

ـ بلغت قيمة الثبات الوسطي للعينات المختبرة القيمة (1068 Kg) وهي محققة لشروط وزارة المواصلات السورية لطبقة الإهتراء (التدرج الثالث) كونها أكبر من القيمة الدنيا المسموح بها و البالغة (900 Kg).

ـ احتفظت العينات البيتومينية المشكلة بنسبة ثبات مقداره (84.7 %) بعد اختبار الغمر بالماء بدرجة حرارة (80°C) لمدة 6h ، وبذلك حققت شروط وزارة المواصلات بأنه يجب أن يحقق الثبات لطبقة الإهتراء بالغمر على درجة حرارة (**80°C**) لمدة (6) ساعات نسبة لا تقل عن (80 %) من الثبات النظامي [13] والشكل رقم (18) يوضح التجربة المجراة.

شكل (18) تشكيل قوالب مارشال والغمر على درجة حرارة (**80°C**) لمدة (6) ساعات

4 . النتائج :

من خلال نتائج التجارب المخبرية المجراة على العينات البيتومينية تبين أن إعادة استخدام المواد المكشوطة يحقق العديد من الفوائد أهمها:

1 . الحفاظ على المواد الخام الأولية الحصوية و التوفير في استخدامها وذلك من خلال تصميم خلطة حصوية لطبقة الأساس الحصوية بنسبة 50% من المواد الإسفلتية المكشوطة

وتصميم خلطة بيتومينية لطبقة الإهتراء باستخدام 75% من المواد البيتومينية المكشوطة وإضافة 1.4% فقط من الرابط البيتوميني الجديد.

2 . الحفاظ على البيئة من تأثير المواد المكشوطة.

3 . تخفيض كلف إعادة تأهيل الطرق باستخدام المكشوط البيتوميني.

4 . توفير الوقت و الجهد و الطاقة.

5 . التوصيات :

1 . نوصي بالتوسع في الدراسات والأبحاث في مجال استخدام مخلفات البناء البيتونية و المكشوط الإسفلتي في طبقات الرصف المرنة والصلبة بما يحقق وفر اقتصادي و تخفيف الأثر البيئي لهذه المخلفات ولاسيما في مرحلة إعادة الإعمار .

5 . المراجع References:

المراجع الأجنبية :

3- Alsaleh, Fatima, and Feras Al Adday. "Properties of Hot Mix Asphalt Containing Reclaimed Asphalt Pavement of the Aleppo highways." International Journal 8.8 (2020).

4- Ujjawal N, Er. Aman B, " A Review Study on Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials in Flexible Pavements", International Journal of Scientific Development and Research (IJSDR), Vol 3, Issue 6. June 2018

5- Yomiyu RetaEmer T, QuezonEmer T, QuezonT, Kumala K, "Experimental Study On The Use Of Reclaimed Asphalt Pavement As Base Course Materials Through Blending With Crushed Stone Aggregates, World Journal of Engineering Research and Technology WJERT, vol 4,Issue 2, PP126-167, February 2018

6- Brajesh M, " A Study on Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials in Flexible Pavements", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology,Vol. 4, Issue 12, DOI:10.15680/IJIRSET.2015.0412088, December 2015

7- Ki Hoon M, Cannone F, Cannone F, Mihai Marasteanu , Mugurel T, " Using recycled asphalt materials as an alternative material source in asphalt pavements" , KSCE Journal of Civil Engineering , , 18(1):149-159, January 2013

8- Xinjun LiMihai O. MarasteanuR. Christopher WilliamsTimothy R, "Effect of Reclaimed Asphalt Pavement (Proportion and Type) and Binder Grade on Asphalt Mixtures", Transportation Research Record

Journal of the Transportation Research Board, DOI: 10.3141/2051-11, December 2008

9- Minnesota Department of Transportation (MN/DOT), Combined 2350/2360 plant mixed asphalt pavement, standard specifications for construction, Minnesota Department of Transportation (MN/ DOT), 2008

10- McNichol, D, Paving the way: Asphalt in America, National Asphalt Association, Lanham, Maryland <http://bit.ly/rJ5UVs>. 2005

11- Button, J. W., Williams, D., and Sherocman, J. A., Roofing Shingles and toner in asphalt pavements, FHWA Research Report, FHWA/TX-96/1344-2F, Texas Transportation Institute. 1996

12- Federal Highway Administration. *Reclaimed Asphalt Pavement User Guideline: Asphalt Concrete (Hot Recycling)*. Web page on the Turner-Fairbanks Highway Research Center web site. http://www.tfhrc.gov/hnr20/recycle/waste/rap132.htm. Acces sed 16 October 2001.

13- Hot-In-Place Recycling (2016) ,Our MARS® system utilizes the existing asphalt pavement for in-place rehabilitation by recycling 100% of street or road materials and aggregates while also restoring flexibility and quality to the asphalt material. https://dustrol.com/,2016

17- MdRashadulIslama،Mohammad Imran،HossainbRafiqul، A.Tarefder، " A study of asphalt aging using Indirect Tensile Strength test"، Construction and Building Materials، Volume 95، 1، Pages 218-223 October 2015.

18- KaliaAnurag،FeipengXiaoSerji، N.Amirkhanian، " Laboratory investigation of indirect tensile strength using roofing polyester waste

fibers in hot mix asphalt"، Construction and Building Materials journal، Volume 23، Issue 5، ، Pages 2035-2040 May 2009.

المراجع باللغة العربية :

1 . فايز سليمان . "دراسة تأثير الأحمال المحورية الزائدة على طبقات الرصف المرن" ، مجلة جامعة البعث . سوريا . حمص . العدد 40 ،2018 .

2 . غازي خلف ، الياس دبانة ، علي عواد . "تحسين الخصائص الهندسية للخلطات الاسفلتية بإضافة الألياف النباتية " ، مجلة جامعة البعث . سوريا . حمص . العدد 43 ،2021

14 . الشروط والمواصفات الفنية العامة لأعمال الطرق والجسور، " الجزء 2 ،3 طبقات الأساس الحصوية "، وزارة المواصلات السورية، دمشق ، 2002 .

15 . الشروط والمواصفات الفنية العامة لأعمال الطرق والجسور(2002)، " الجزء 4 الأعمال البيتومينية " وزارة المواصلات السورية، دمشق، 2002 .

16 . عبد الكريم الحلبي، "الطرق الجزء الثاني "، منشورات جامعة حلب، حلب، 1981 .