

إعادة استخدام المواد الطرقية المكشوفة في سورية

الدكتور المهندس: مهند طلال العفاش

جامعة دمشق



مقدمة:

أدى التوسع الكبير في إنشاء الطرق - نتيجة الطلب المتزايد على النقل - إلى تزايد استهلاك المواد الأولية وخاصة الحصىات، الأمر الذي نتج عنه تناقص متزايد في الكميات المتوافرة من الحصىات الجديدة وخلق مشكلة جدية تعترض منفذي الطرق تضاف إلى مشكلة التلوث البيئي الكبير الذي تسببه الكميات الكبيرة من المواد المكشوفة سنوياً نتيجة إعادة تأهيل الأغطية الطرقية، فضلاً عن تزايد كلفة المنتجات النفطية وتناقص ميزانيات الصيانة، هذه العوامل مجتمعة خلقت تحدٍ لإنجاز عملٍ أكثرَ بموارد أقل؛ وتطوير تقانات جديدة تخفض التكاليف من جهة، وتحقيق المواصفات من جهة أخرى، فتم تركيز الجهود على إيجاد تكنولوجية تحقق الغرض من الصيانة وإعادة التأهيل بكلفة أقل، أهمها تكنولوجية إعادة الاستخدام (Recycling).

وباعتبار أن خلطة إعادة الاستخدام تتكون من مواد مكشوفة مستعادة من الطرق Reclaimed (Asphalt Pavement)RAP + حصىات جديدة و / أو وسيط تجديد و بيتومين، فقد تم التركيز في البداية على المواد المكشوفة المستعادة من حيث شروط تخزينها ومعالجتها ليتم فيما بعد شرح تقنيات إعادة الاستخدام.

المواد الطرقية المكشوفة المستعادة RAP: (Reclaimed Asphalt Pavement)

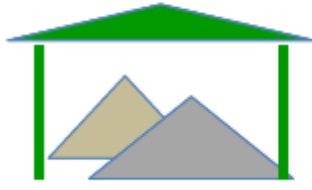
يتم استخدام مواد مكشوفة مستعادة (RAP) في خلطة إعادة الاستخدام بنسب تتراوح من (10-20%)، بسبب صعوبة تسخين هذه المواد، إضافة إلى أن الإنتاج الساعي للمجابل ينخفض بحوالي (25%) نتيجة الحاجة إلى زمن خلط أطول، وفي بعض الحالات تصل نسبة (RAP) حتى (40%) وفي حالات نادرة ومشاريع خاصة يمكن تجاوز هذه النسبة؛ حيث أن متوسط نسب المواد المستعادة (RAP) المستخدمة في الولايات المتحدة تتراوح بين (12-15%)، في حين بينت إحدى الدراسات التي شملت (18) ولاية أمريكية، وأجزاء من كندا أن الخلطات التي احتوت على (30%) على الأقل من المواد المستعادة (RAP) تكون مكافئة للخلطات التقليدية الحديثة من حيث فعالية الأداء وفق جميع معايير التقييم.

شروط التخزين و المعالجة :

أحد أهم القرارات التي يجب اتخاذها في مجال إدارة المواد المكشوفة المستعادة من الطرق (RAP) هو كيفية تخزين هذه المواد في كومة واحدة تضم مواد مكشوفة من مشاريع مختلفة أو وضعها في أكوام متعددة حسب مصادرها المختلفة، هذا القرار يتوقف على عدة عوامل، أهمها:

- 1- المساحة المتوافرة لتخزين ومعالجة المواد المكشوفة (RAP) قبل إعادة استخدامها.
 - 2- نسب المواد المكشوفة (RAP) المراد استخدامها في خلطات إعادة الاستخدام.
 - 3- كميات المواد المكشوفة (RAP) الناتجة سنوياً.
 - 4- مجال تغير مواصفات المواد المكشوفة.
 - 5- برامج اختبار وتحديد مواصفات أكوام المواد المكشوفة.
 - 6- إمكانية السماح بتجديد المواد المكشوفة في الأكوام بعد اختبارها وتحديد مواصفاتها.
- يتم تجميع المواد المكشوفة (RAP) في نفس الكومة وتتم معالجتها للحصول على مادة ذات مواصفات متجانسة، ويتم تحديد مواصفاتها بتنفيذ برنامج اختبارات محدد، ولا يسمح بإضافة مواد جديدة إلى هذه الأكوام بعد اختبارها وتحديد مواصفاتها، حيث أنه من غير الفعال وغير المجدي اقتصادياً تنفيذ جميع الاختبارات الضرورية وتصميم خلطات تصميمية وفق مواصفاتها من أجل كميات صغيرة من المواد المكشوفة المستعادة (RAP).
- وبما أن درجات الحرارة ونسبة الرطوبة هي العامل الأساسي المؤثر في جودة تخزين المواد المكشوفة (RAP)، فإنه يُوصى بما يلي:

- 1- حماية المواد المكشوفة من الأمطار وذلك بتخزينها تحت سقف يمنع وصول المياه إليها.
- 2- تخزين المواد المكشوفة على شكل أكوام مخروطية تسهل التخلص من الأمطار والثلوج.
- 3- وضع أكوام المواد المكشوفة فوق أرضية مرصوفة ذات سطوح مائلة للمساعدة في تجفيف هذه الأكوام.
- 4- عدم تطبيق حمولات ثقيلة فوق هذه الأكوام لتجنب رصها.
- 5- ألا يزيد ارتفاع هذه الأكوام عن (20) قدم أو (6) م لتخفيض الرص الذاتي المحتمل لهذه الأكوام إلى الحد الأدنى.



شروط تخزين المواد المكشوفة المستعادة (RAP)

بعد مرحلة تخزين المواد المكشوفة المستعادة (RAP) ننتقل إلى مرحلة معالجة هذه المواد والتي يمكن تلخيص أهدافها الرئيسية بالنقاط التالية:

- 1- الحصول على أكوام متجانسة من مواد تم الحصول عليها من مواد مكشوفة من مصادر مختلفة وبمواصفات مختلفة.
- 2- تجزيء الكتل الكبيرة من المواد المكشوفة (RAP) إلى حجوم صغيرة يمكن تسخينها بكفاءة وتصغيرها خلال عملية الخلط مع الحصويات الجديدة المضافة.
- 3- تخفيض حجم الحصويات الأعظمي في المواد المكشوفة بحيث يمكن استخدام المواد المكشوفة في الخلطات الإسفلتية السطحية.
- 4- توليد أقل قدر ممكن من الرمل الإضافي المار من المنخل (P200) باعتبار أن المواد المكشوفة المستعادة (RAP) تحتوي بشكل مسبق على نسبة كبيرة من المواد الناعمة المارة من المنخل (P200) وعادة تتراوح هذه النسبة بين (10-20%) نتيجة عمليات الكشط.

معالجة المواد المكشوفة المستعادة (RAP):

يجب معالجة المواد المكشوفة المستعادة (RAP) من مصادر متعددة والتي تحتوي مكونات مختلفة بحيث يمكن الحصول على مادة متجانسة مناسبة للاستخدام في الخلطة الإسفلتية الجديدة.

خطوات عملية معالجة المواد المكشوفة المستعادة (RAP):

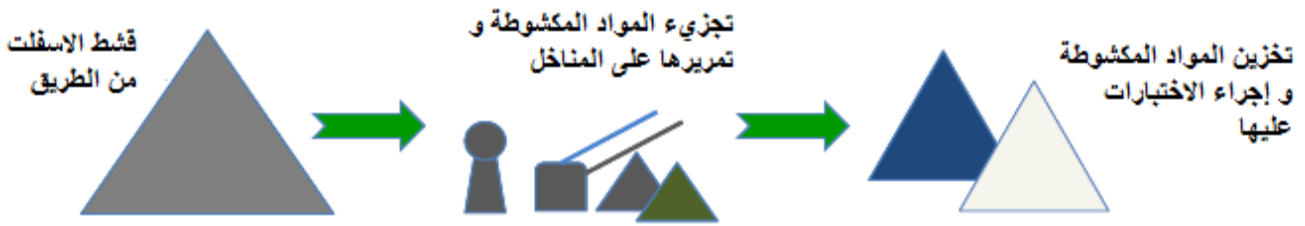
- 1- أخذ عينات من المواد المكشوفة المخزنة على شكل أكوام، وإجراء الاختبارات عليها لتحديد تدرجها والتأكد من حجم الحصويات الأعظمي.

2- في حالة أن حجم الحصويات الأعظمي للمواد المكشوفة صغير بما يكفي لاستخدامها في الخلطة التصميمية المطلوبة، فإنه يجب تجنب طحن هذه المواد.

3- في حالة أن حجم الحصويات الأعظمي كبير جداً بالنسبة للخلطة التصميمية المطلوبة، عندها يتم إما:

أ- تمرير المواد المكشوفة المستعادة (RAP) على منخل قياسه يساوي أو أصغر من القياس اللازم للخلطة المطلوبة بحيث يتم تجميع المواد المكشوفة الناعمة المارة من المنخل في أكوام منفصلة واختبار مواصفاتها، بينما توضع المواد الخشنة في أكوام أخرى لاستخدامها في خلطات تحتاج مواد أخشن.

ب- طحن المواد المكشوفة المستعادة (RAP) للحصول على الحجم المطلوب ويُفضل تجنب هذا الخيار لأنه سيؤدي إلى زيادة نسبة المواد الناعمة في المواد المكشوفة والتي هي عالية سلفاً.



مراحل معالجة وتخزين المواد المكشوفة المستعادة (RAP)

ويمكن تلخيص عملية معالجة المواد المكشوفة المستعادة (RAP) بعملية تجزيء المواد المكشوفة المستعادة (RAP) وفصلها إلى ثلاثة أنواع:

1- المار من المنخل (28 mm) والمتبقي على المنخل (16 mm).

2- المار من المنخل (16 mm) والمتبقي على المنخل (8 mm).

3- المار من المنخل (8 mm).

يبين الجدول التالي المواصفات الفيزيائية والميكانيكية الواجب توفرها في المواد المكشوفة المستعادة (RAP) ليكون استخدامها فعالاً في خلطة إعادة الاستخدام:

النسبة الأعظمية للمواد المكشوفة		
المادة/المواصفة	في حالة عدد الحمولات المحورية المكافئة ESAL $10^6 < N$	في حالة عدد الحمولات المحورية المكافئة ESAL $10^6 > N$
الإسفلت المكشوط (RAP)	40%	40%
نسب المواد المارة		
المار من المنخل 26.5 مم	100	100
المار من المنخل 19 مم	100-95	100-85
المار من المنخل 13.2 مم	90-70	90-70
المار من المنخل 9.5 مم	80-60	80-60
المار من المنخل 4.75 مم	65-40	65-40
المار من المنخل 2.36 مم	55-30	55-30
المار من المنخل 0.425 مم	30-10	30-10
المار من المنخل 0.075 مم	15-5	15-5
القيم الأعظمية لحدود أتربرع		
حد السيولة (%)	27	27
قريئة اللدونة (%)	5	6
المار من المنخل (0.425 مم)*PI	120	180
واحدة الوزن Kg/m^3	1940- 2300	
نسبة الرطوبة العادية	حتى 5%	
نسبة الرطوبة الأعظمية	7-8%	
نسبة الإسفلت العادية	4.5-6%	
نسبة الإسفلت الأعظمية	3-7%	
غرز الإسفلت	80-10	
اللزوجة المطلقة	25000-4000 بواز	

إعادة الاستخدام : Recycling

يُقصد بعملية إعادة الاستخدام: استخدام المواد الطرقية المكشوفة (حصويات + رابط بيتوميني) والمستعادة من طبقات الرصف القديمة التي تعرضت للشيخوخة في إنتاج خلطة اسفلتية جديدة بمواصفات مقبولة بحيث تتكون خلطة إعادة الاستخدام من مزيج من المواد المكشوفة والحصويات الجديدة وبيتومين جديد و/ أو وسيط إعادة استخدام، ولهذه الخلطة هدفان رئيسيان:

- 1- الاستفادة من المواد المكشوفة (الحصويات + الرابط) في تشكيل خلطة جديدة وذلك بإعادة استخدام أعلى نسبة ممكنة من المواد المكشوفة مع الحفاظ على المواصفات الفنية المطلوبة.
- 2- التخلص من المواد المكشوفة والتي تعد ملوثة بيئياً.

إلا أن عملية التوصل إلى مثل هذه الخلطة تفرض تحقيق عدة متطلبات:

- 1- استعادة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للرابط الإسفلتي في المواد المكشوفة، أو الحد الأدنى منها بحيث ينسجم مع المستوى المطلوب للخلطة.
- 2- تحديد كمية الإسفلت الجديد أو وسيط إعادة الاستخدام اللازمة.
- 3- تحديد النسبة المثالية من المواد المكشوفة.
- 4- تسخين المواد المكشوفة إلى درجات الحرارة الضرورية للخلط والرص دون تعريضها لأكسدة إضافية.

ويمكن تقسيم عملية إعادة الاستخدام إلى نوعين أساسيين:

- 1- إعادة الاستخدام على الساخن Hot Recycling
- 2- إعادة الاستخدام على البارد Cold Recycling

إعادة الاستخدام على الساخن : Hot Recycling

وهي إحدى الخيارات المتوافرة لإعادة تأهيل الطبقات الإسفلتية المتخربة وتُستخدم عندما تنحصر مشاكل التحددات والتأكسد والتفشر في الطبقة الإسفلتية السطحية (6-7 سم)، مما يجعل هذا الخيار الأنسب لصيانة الطرق العامة كبديل لعملية إعادة إنشاء طبقة الاهتراء الإسفلتية المعتمدة حالياً في

خطط الصيانة والتي تتطلب ميزانيات متزايدة سنوياً وينتج عنها كميات كبيرة من المواد المكشوفة ذات التأثير البيئي الضار.

ويمكن تصنيف عملية إعادة الاستخدام على الساخن إلى شكلين أساسيين:

1- إعادة الاستخدام على الساخن في المكان Hot Recycling in Place

2- إعادة الاستخدام على الساخن في موقع ثابت Hot Recycling in Stationary

وقد تم الشروع بعملية إعادة الاستخدام على الساخن منذ عام (1970) في الولايات المتحدة، ومنذ عام (1976) في أوروبا، بينما تم استخدام تكنولوجيا إعادة الاستخدام على الساخن في الموقع (Asphalt Recycling Travel Plant : ART) لأول مرة في الولايات المتحدة في عام (1983).

طريقة إعادة الاستخدام على الساخن:

تتم العملية وفق الطريقة التالية:

- 1- إزالة الرقع والتصدعات المملوءة بمواد مانعة للتسرب والتي تحتوي عادة على حجوم زائدة من الإسفلت.
- 2- تسخين طبقات الإسفلت بواسطة مسخنات تعمل بالأشعة تحت الحمراء.
- 3- كشط طبقات الرصف التي تم تطريتها حتى عمق (25-50 مم).
- 4- إضافة حصويات جديدة و / أو وسيط تجديد وبيتومين للمواد المكشوفة وخلطها في الخلاط.
- 5- فرش المواد وتسويتها.
- 6- إضافة طبقة سطحية جديدة بسماكة (25 مم) من المواد الجديدة إذا كان ذلك ضرورياً.
- 7- الرص

مبادئ إعادة الاستخدام على الساخن: Hot Recycling Principles

تم استخدام خلطة اسطوانية ذاتية الدفع لأول مرة عام 1983، بعد أن كان يتم تصنيع خلطة ساخنة قبل ذلك التاريخ معاد استخدامها فقط في المجابل الثابتة، وكان يتم نقل المادة المكشوفة المستعادة من مكان الطحن إلى مجبل الخلط المجهز لإعادة الاستخدام، ثم تم تطوير التكنولوجيا لإعادة الاستخدام في المكان تحقق النتائج المطلوبة وتستند على المبادئ التالية:

- 1- المعايرة الدقيقة لجميع مكونات الخلطة، كلاهما القديم والجديد.
- 2- التسخين المنتظم للمواد عبر استخدام خلطات اسطوانية دورانية.
- 3- تأمين درجة حرارة قابلة للتحكم تناسب نوعية الرابط المستخدم.
- 4- تأمين زمن تماس طويل بين وسيط التجديد والبيتومين القديم حيث أن عملية التجديد تأخذ مداها بعد تقدم السيالان الاصطناعي للبيتومين القديم.

و قد تم إيلاء تكنولوجيا إعادة الاستخدام بالموقع (ART) أهمية خاصة كونها تحقق:

- 1- التوفير في كلف نقل المواد المكشوفة وكذلك تقليل إعاقة المرور.
- 2- التخلص من تكاليف ومشاكل تركيب المجبل في الموقع، وتوفير تكاليف التخزين.
- 3- نقل الحصويات الجديدة فقط عندما يكون من الضروري تصحيح منحني التدرج.
- 4- إضافة كمية صغيرة من البيتومين.
- 5- التوفير في الوقود حيث أنه في الواقع يجب تسخين المادة فقط إلى درجات الحرارة المطلوبة لعملية الفرش بدون الحاجة لأخذ بالاعتبار الضياع الحراري الناتج عن التخزين والنقل من موقع الانتاج إلى موقع الفرش.
- 6- توفير الطاقة بسبب تخفيض المحتوى الرطوبي للمواد المكشوفة المستعادة التي تم طحنها حديثاً.

وعادة تستخدم عملية إعادة الاستخدام في المكان في الطرق التي لا تحوي عيوب إنشائية و لا تتطلب مواداً إضافية، أو تغييرات هامة في الخلطة، وبشكل عام فإن الطرق المرشحة لإعادة الاستخدام على الساخن في المكان يجب ألا تكون قد تعرضت للشيخوخة بشكل حاد، حيث يُفضل أن تكون لزوجتها أقل من (100.000 بواز).

وسيط إعادة الاستخدام: Recycling Agent

يُعرف وسيط إعادة الاستخدام بأنه: منتج هيدروكربوني ذو خصائص فيزيائية تُختار لاستعادة مواصفات الإسفلت الجديد للإسفلت الذي تعرض للشيخوخة (المتأثر بمرور الزمن). وبما أن تصلب الإسفلت ناتج عن زيادة الإسفلتنيات على حساب المالتين فإن وسيط إعادة الاستخدام يجب أن يحتوي على جزيئات مالتين كافية لتحسين واستعادة نسبة المالتين إلى الإسفلتنيات حيث أن عمل وسيط إعادة الاستخدام هو استعادة نسبة المالتين إلى الإسفلتنيات وتخفيض زمن ترسب الإسفلت، والمعيار الأساسي لفعاليتها هو قدرته على تخفيض اللزوجة أو زيادة الغرز للإسفلت بهدف الوصول إلى المجال المحدد المقبول. وتؤثر نوعية وكمية وخصائص طبقات الرصف القديم في نسبة إعادة الاستخدام واستخدام الإضافات.

وبما أن الإسفلت المكشوط المستعاد (RAP) ذا لزوجة عالية، فإنه يُستخدم اسفلت ذو لزوجة منخفضة، و وسائط إعادة استخدام ذات لزوجة منخفضة بحيث تتراوح لزوجتها عند درجة حرارة (60 C) من (2-500 بواز).

وبهدف تقييم إمكانية استخدام خيار إعادة الاستخدام على الساخن كخيار مناسب لصيانة شبكة الطرق السورية، تم إجراء تجارب مخبرية على خلطة إعادة استخدام تحتوي مواد مكشوفة مأخوذة من ثلاثة مواقع في دمشق، بحيث تتضمن العملية المراحل التالية:

تقييم مكونات الخلطة:

تقييم المواد المكشوفة:

تم الحصول على المواد المكشوفة من ثلاثة مواقع في مدينة دمشق وهي:

مزة 86، طريق دمشق- القنيطرة (السومرية)، طريق المطار القديم (بالقرب من برج تالة).

ولتقييم هذه المواد تم إجراء تجارب الاستخلاص والغرز عليها لتحديد:

1- نسبة البيتومين.

2- تدرج الحصىات.

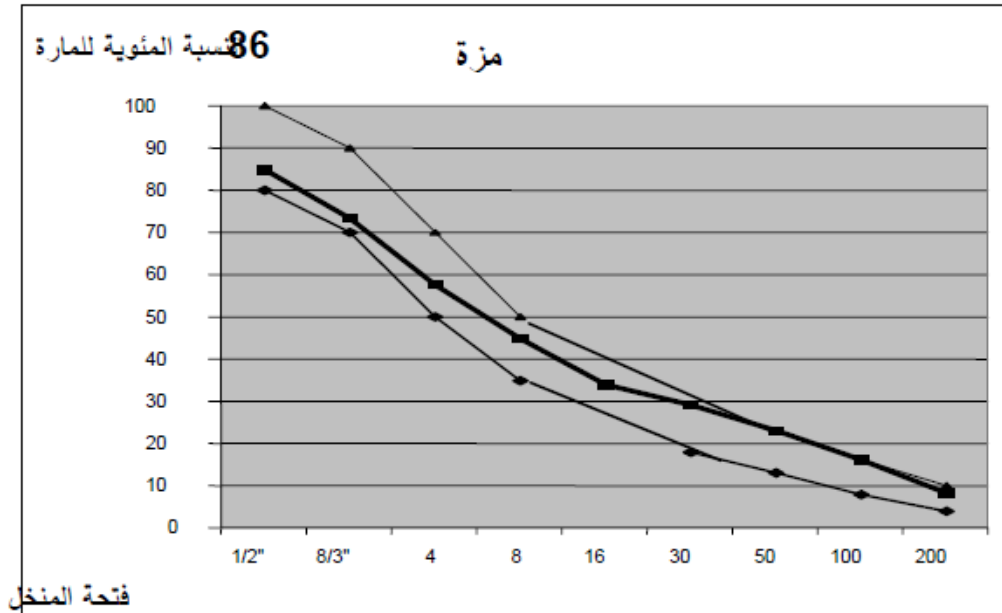
3- غرز الإسفلت المستخلص من المواد المكشوفة.

يبين الجدول التالي عمر كل غطاء اسفلتي، وقيمة الغرز للرابط الإسفلتي المستخلص منه:

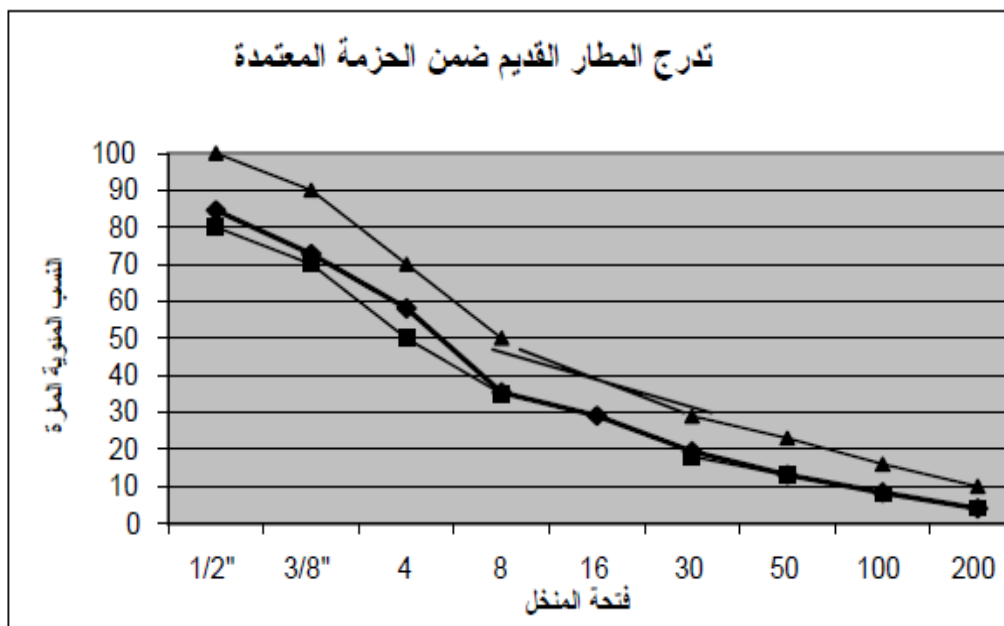
موقع العينة	مزة 86	السومرية	المطار القديم
عمر الغطاء	12 سنة	5 سنوات	4 سنوات
الغرز	37	49	53
غرز الرابط في الخلطة الإسفلتية الأساسية	60-70	60-70	60-70

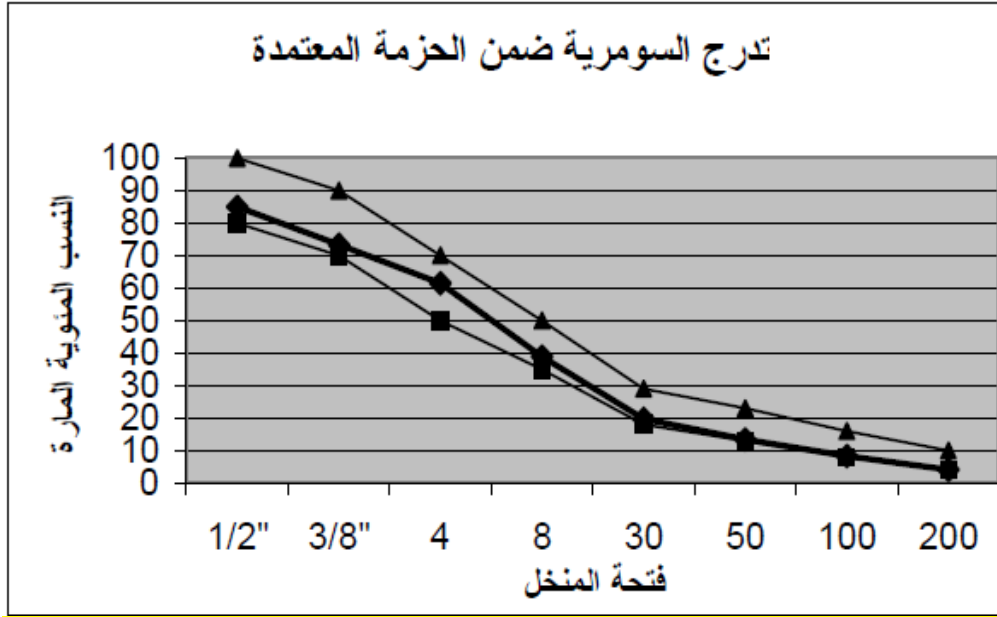
ويظهر من هذا الجدول أن درجة الغرز وبالتالي اللزوجة ترتبط بشكل مباشر بعمر الغطاء الإسفلتي، مما يؤثر على إمكانية إعادة استخدامها؛ حيث توصي بعض المراجع بعدم جدوى إعادة استخدام روابط تقل قيم غرزها عن (25).

ويبين الجدول التالي نسبة البيتومين وتدرج المواد المكشوفة المأخوذة من المواقع الثلاثة، وكذلك تدرجها بعد تصحيح التدرج.



السومرية		المطار القديم		مزرة 86		موقع العينة
1		1		1		رقم العينة
4.50		4.64		5.35		نسبة الإسفلت
الترج المصحح g	ترج المادة المكشوفة g	الترج المصحح g	ترج المادة المكشوفة g	الترج المصحح g	ترج المادة المكشوفة g	فتحة المنخل
184.23	----	190.11	5.73	183.42	----	1/2
142.92	20.1	144.11	21.2	142.15	3.98	3/8
146.4	146.4	180.8	180.8	192.45	9.03	4
177.32	54.5	279.17	156.26	156.19	33.91	8
123.56	53.68	77.25	77.25	134.52	12.24	16
235.15	159.6	78.10	46.53	52.11	52.11	30
77.64	40.8	78.10	28.94	76.29	76.29	50
62.64	25.8	58.23	21.36	83.17	83.17	100
51.54	14.7	52.97	16.1	104.2	104.2	200





تقييم المواد المضافة الجديدة:

تقييم الحصويات:

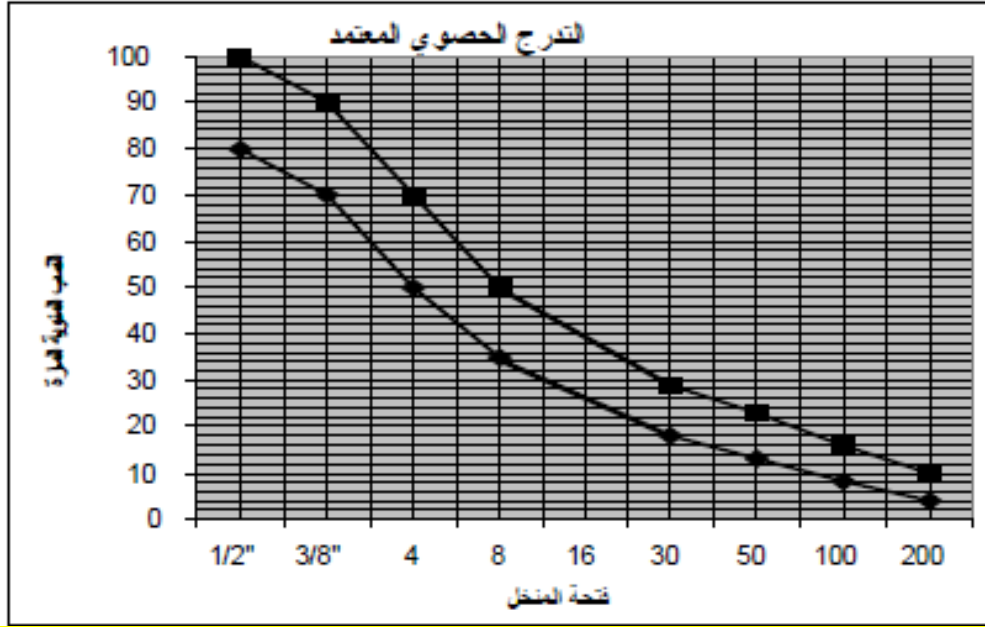
تمت إضافة الحصويات الجديدة لتصحيح التدرج الحبي لحصويات المواد المكشوفة والتي يلاحظ فيها زيادة المواد الناعمة نتيجة عمليات الصقل والاهتراء تحت تأثير حركة المرور إضافة إلى تأثير عملية الكشط، ولتقييم الحصويات المستخدمة تم إجراء تجربتي لوس أنجلوس والإسفلت الممتص عليها.

الحصويات الجديدة المضافة	نسبة الفاقد في تجربة لوس أنجلوس	نسبة الإسفلت الممتص
	%20.18	%0.42

كذلك فقد تم إجراء تجربة الوزن النوعي ويبين الجدول التالي الأوزان النوعية الناتجة ونسبة التشرب.

الحصويات الجديدة المضافة	نسبة التشرب	الوزن الظاهري النوعي	الوزن الكلي النوعي	الوزن النسبي النوعي
	%0.7	2.648	2.619	2.63

ويبين الشكل التالي التدرج المعتمد في تصميم خلطة إعادة الاستخدام وهو التدرج المعتمد في المواصفات السورية لطبقة الاهتراء الكثيفة.



تقييم الرابط الإسفلتي الجديد المضاف:

نتيجة لعدم توفر وسيط إعادة استخدام محلي، فقد تم استخدام البيتومين المنتج في مصفاة حمص في جميع التجارب، ولتقييم البيتومين المستخدم تم إجراء تجربتي الغرز والوزن النوعي عليه.

الرابط الإسفلتي المضاف	الوزن النوعي	الغرز
	1.05	93

طريقة إعداد خلطة إعادة الاستخدام:

تم تبني طريقة معهد الإسفلت الأمريكي في إعداد خلطة إعادة الاستخدام التي تتضمن الاجراءات التالية:

- 1- تسخين الحصىات الجديدة 50 F (28 C) أعلى من درجة حرارة الخلط القياسية وفق المواصفة ASTM D1559.

- 2- تسخين المواد المكشوفة إلى درجات حرارة الرص وفق مواصفة ASTM D1559 (وهي درجة الحرارة الموافقة للزوجة مقدارها +280_30 CST).
- 3- خلط الحصىيات الجديدة والمواد المكشوفة لمدة (30 ثانية).
- 4- إضافة الإسفلت الجديد المسخن مسبقاً إلى درجة حرارة الخلط إلى خليط الحصىيات الجديدة والمواد المكشوفة وخلطها لمدة (60 ثانية).
- 5- نقل كامل الخلطة و وضعها في فرن تم الحفاظ على درجة حرارة الرص فيه على الأقل لمدة ساعة واحدة وبما لا يتجاوز ساعتين قبل رص العينات.
- 6- تحضير القوالب المطلوبة بنسب إسفلت جديد أعلى وأخفض بمقدار (0.5%) من القيمة المحسوبة.

مجال اللزوجة الحركية CST	مجال درجات حرارة التسخين م	
	إسفلت غرز 85-100	إسفلت غرز 60-70
في أثناء الخلط(150-190)	156-150	160-166
في أثناء الرص(250-310)	144-139	153-147

العلاقات المستخدمة في حساب مكونات الخلطة:

حساب نسبة الحصىيات الجديدة اللازمة:

تم حساب الحصىيات الجديدة r والتعبير عنها كنسبة من الحصىيات الكلية في خلطة إعادة الاستخدام بواسطة العلاقة التالية:

$$r = \frac{Pns * 100}{Psm - \frac{Psm * PSb}{100} + Pns}$$

حيث:

r : الحصىيات الجديدة معبراً عنها بنسبة مئوية من الحصىيات الكلية في خلطة إعادة الاستخدام.

Pns : الحصىيات الجديدة في خلطة إعادة الاستخدام معبر عنها كنسبة مئوية.

PSb : النسبة المئوية للبيتومين في المواد المكشوفة والتي تم تحديدها بواسطة تجربة الاستخلاص.

Psm : نسبة المواد المكشوفة في خلطة إعادة الاستخدام معبر عنها كنسبة مئوية.

حساب الكمية التقريبية من الإسفلت اللازم لربط الحصويات:

$$P=0.035*a+0.045*b+k*c+f$$

P : الكمية التقريبية من الإسفلت اللازمة لربط الحصويات مقدرة بنسبة مئوية وزنياً من الخلطة الكلية.

K= 0.18 : من أجل نسبة (6-10%) مارة من المهزة رقم 200 (0.75 مم).

K= 0.2 : من أجل نسبة (5%) أو أقل مارة من المهزة رقم 200 (0.75 مم).

a : النسبة المئوية للحصويات المحجوزة على المنخل رقم 8 (2.36 مم).

b : النسبة المئوية للحصويات المارة من المهزة رقم 8 (2.36 مم) والمحجوزة على المنخل رقم 200 (0.75 مم).

c : النسبة المئوية للحصويات المارة من المهزة رقم 200 (0.75 مم).

f : تتراوح قيمته بين (0-2) حسب نسبة امتصاص الحصويات.

حساب نسبة الإسفلت الجديد في الخلطة:

$$Pnb = \frac{(100^2 - Psb * r) * Pb}{100(100 - Psb)} - \frac{(100 - r) * Psb}{(100 - Psb)}$$

Pnb : الإسفلت الجديد في خلطة إعادة الاستخدام مقدرة بنسبة مئوية.

r : النسبة المئوية للحصويات الجديدة من الحصويات الكلية في خلطة إعادة الاستخدام.

Pb : النسبة المئوية للإسفلت اللازم لربط الحصويات.

Psb : نسبة البيتومين في المواد المكشوفة مقدرة بنسبة مئوية.

إجراءات الاختبار بعد تكوين الخلطات:

تم تشكيل (102) قالب للعينات المأخوذة من: المزة 86 (12 سنة)، طريق المطار القديم (برج تالة) (4 سنوات)، طريق دمشق- القنيطرة (السومرية) (5 سنوات). ثم أُختبرت هذه القوالب فتم تحديد كثافتها وفق المواصفة AASHTO T166 وإخضاعها لاختبار قياس الثبات والسيلان وفق مواصفة ASTM D1559، كذلك حُسبت نسبة الإسفلت الممتص ونسبة الفراغات الهوائية والمليئة وفق

العلاقات التقليدية، وتبين الجداول التالية مواصفات ونتائج خلطات إعادة الاستخدام وذلك باستخدام (40%) مواد مكشوفة لعينات المزرة 86 و (50%) مواد مكشوفة لعينات المطار القديم وعينات السومرية.

المزرة 86							موقع العينة
7	6	5	4	3	2	1	رقم القالب
5.47	4.97	4.47	2.47	2.97	3.47	3.97	نسبة البيتومين المضاف %
2.364	2.386	2.364	2.25	2.29	2.316	2.35	كثافة مارشال
1.73	1.49	3.07	10.3	8.06	6.36	4.23	نسبة الفراغات الهوائية %
457	529	526	605	810	645	605	الثبات kg
5.32	4.62	4.22	3.12	3.76	3.59	3.69	السيلان mm
90.32	88.28	76.58	38.2	39.6	54.61	67.7	نسبة الفراغات المليئة %

المطار القديم					موقع العينة
5	4	3	2	1	رقم القالب
4.22	3.72	2.22	2.77	3.22	نسبة البيتومين المضاف %
2.393	2.383	2.328	2.3	2.315	كثافة مارشال
2.22	3.31	7.52	7.98	6.72	نسبة الفراغات الهوائية
1136	1155	1270	1827	1643	الثبات kg
4.39	4.22	3.59	3.58	3.34	السيلان mm
81.24	71.83	39.55	42.74	51.37	نسبة الفراغات المليئة

السومرية					موقع العينة
5	4	3	2	1	رقم القالب
4.354	3.854	2.354	2.854	3.354	نسبة البيتومين المضاف %
2.396	2.397	2.342	2.356	2.381	كثافة مارشال kg/cm ³
1.92	2.56	6.79	5.56	3.89	نسبة الفراغات الهوائية %
950	1652	1335	1588	1543	الثبات kg
6.10	3.76	2.78	2.24	2.63	السيلان mm
83.80	77.46	43.60	53.52	66.16	نسبة الفراغات المليئة %

معايير تقييم خلطة إعادة الاستخدام وفق طريقة معهد الإسفلت الأمريكي:

مرور ثقيل		مرور متوسط		مرور خفيف		المعيار
الأساس	السطح	الأساس	السطح	الأساس	السطح	
الأصغري	الأعظمي	الأصغري	الأعظمي	الأصغري	الأعظمي	
75		50		35		الرص، عدد الضربات على كل وجه
1800		1200		750		الثبات lb.
8006		5338		3336		نيوتن
8		16		8		السيلان 0.01in
3		5		3		نسبة الفراغات الهوائية

النتائج:

- أظهرت نتائج التجارب التي أجريت على (102) قالب لعينات مأخوذة من ثلاثة مواقع في دمشق، هي: السومرية (5 سنوات)، المطار القديم (4 سنوات)، المزة (86 (12 سنة) أن:
 - (92%) من القوالب كان الثبات فيها محققاً.
 - (64%) من القوالب كانت فيها قيم السيلان محققة.
- يبين الجدول التالي قيم الثبات، والسيلان، والكثافة، والفراغات الهوائية، والفراغات المليئة لجميع القوالب:

متوسط قيم الثبات kg	متوسط قيم السيلان mm	متوسط قيم الكثافة gr/cm ³	متوسط قيم الفراغات الهوائية %	متوسط قيم الفراغات المليئة %
1050.26	4.23	2.361	4.22	66.54

مما يدل على تحقيق الخلطة للمواصفات المطلوبة.

- منحنيات اختبار خصائص خلطات إعادة الاستخدام بشكل عام مشابهة لمنحنيات اختبار خصائص الخلطات الإسفلتية التقليدية المكونة من الإسفلت والحصى الجديدة.

- 3- أظهرت نتائج خلطة إعادة الاستخدام أن قيم الثبات بشكل عام كانت عالية بالنسبة للخلطات التقليدية، وقد يعود ذلك نسبياً إلى كون خلطات إعادة الاستخدام ذات نسب تصلب أبطأ من الخلطات التقليدية مما يتطلب وقتاً أطول لاندماج جزيئات الخلطة.
- 4- متوسط نسب البيتومين المثالية المضافة والتي حققت أفضل النتائج هي النسبة (3.7%)، وقد تم الحصول عليها بحساب متوسط قيم: الثبات الأعظمي، والكثافة الأعظمية، نسبة البيتومين التي تحقق فراغات هوائية مساوية (4%).
- 5- أظهرت التجارب المخبرية صعوبة خلط و رص الخلطة في حال إضافة نسب بيتومين أقل من (3.5%).
- 6- جودة وكمية وخصائص المواد المكشوفة تؤثر في نسبة إعادة الاستخدام واستخدام الإضافات.
- 7- يُوصى بعدم تسخين المواد المكشوفة لدرجات حرارة عالية تتجاوز (150 درجة مئوية) لأن ذلك سيؤدي إلى تأكسد إضافي للرابط الموجود في المواد المكشوفة، لذلك يُفضل نقل الحرارة اللازمة للمواد المكشوفة بشكل غير مباشر وذلك عبر تسخين الحصويات الجديدة المضافة إلى درجات حرارة عالية (180-190 درجة مئوية) ثم خلطها مع المواد المكشوفة لنقل الحرارة لها قبل إضافة الرابط الجديد.
- 8- يُوصى بتأمين زمن تماس طويل نسبياً (1-2) ساعة بين البيتومين القديم والبيتومين الجديد المضاف قبل الرص، حيث إن عملية التجديد (الإحياء) تأخذ مداها بعد تقدم السيالان الاصطناعي للبيتومين القديم.