مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد41 العدد (4) – 2025: 209-219

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 41 number (4) -2025: 209-219

استخدام النفايات الزجاجية كرمل في طبقة الأساس الاسفلتي

مايا عمر الصالح [1*] رباب جوني[2]

[1*] . مهندسة في قسم هندسة النقل ومواد البناء، جامعة دمشق.
maya.alsaleh@damascusuniversity.edu.sy

[2] دكتورة، مهندسة في قسم هندسة النقل ومواد البناء، جامعة دمشق.
rabab.jouni@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

تقوم فكرة إعادة تدوير النفايات الزجاجية على استخدام هذه النفايات كإضافات أو مواد أولية للحد من استنزاف الموارد الطبيعية للمواد الخام، وتقليل المساحات المطلوبة كمكبات للنفايات، والاستفادة من الخصائص المميزة للزجاج من مقاومة الحرارة، والديمومة العالية، وعدم التأثر بالماء. إن الهدف الرئيسي لهذا البحث هو تحديد مدى تأثير استخدام النفايات الزجاجية كرمل على خصائص الخلطة الاسفلتية الساخنة من حيث: ثبات وسيلان مارشال، الفاقد بالثبات، ومدى تأثير إضافة النفايات الزجاجية على صلابة الخلطة الاسفلتية (صلابة مارشال MQ). تم في هذا البحث إحضار الحصويات المينرالية من مقالع السليمة بالقرب من محافظة دمشق، حيث تم رفض الحصويات ذات المقاس الأكبر من 19mm، كما تم إحضار الرابط البيتوميني من مصفاة بانياس في محافظة طرطوس، وتحضير النفايات الزجاجية من نوافذ زجاجية مكسرة متوفرة محليا. تم تصميم نوعين من الخلطات الإسفلتية الساخنة: خلطة مرجعية (خلطة تقليدية)، وخلطة معدلة بالرمل الزجاجي. حيث تم دراسة ثلاث نسب استبدال جزئية للرمل الزجاجي %(10–8–6) من وزن الرمل المينرالي. حيث بينت نتائج التجارب في هذا البحث أن النسبة المثالية لإضافة الرمل الزجاجي هي 8%، وأن هذه النسبة لم تؤثر بشكل ملحوظ على النسبة المثالية للرابط البيتوميني في الخلطة المرجعية(التقليدية). كما وجد أن الخلطة المعدلة باستخدام الرمل الزجاجي قد تحسنت خصائصها من حيث الثبات، السيلان، صلابة مارشال، ومقاومة تأثير الماء بالنسب التالية على التوالي: (22، 17، 42، 15) %. وبالنتيجة فإن عملية استخدام النفايات الزجاجية كرمل في طبقة الأساس الاسفلتي بالنسبة المثالية من شأنها التوفير في نسبة الحصويات المينرالية المطلوبة لإنتاج الخلطات الاسفلتية، مع إمكانية تحقيق الشروط والمواصفات الفنية المطلوبة لاستخدامها كطبقة أساس اسفلتي، إضافة إلى تحسين خصائص الخلطة الاسفلتية.

الكلمات المفتاحية: الخلطات الاسفلتية الساخنة، النفايات الزجاجية، الرمل الزجاجي، صلابة مارشال.

تاريخ الإيداع: 2023/4/4
تاريخ القبول: 2023/5/29

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب CC BY-NC-SA

Using Glass Waste As Sand In Asphalt Base Course Layer

Maya Omar Al Saleh*[1] Rabab Johnny[2]
*[1]. Engineer in the Department of Transportation Engineering and Building Materials, Damascus University. maya.alsaleh@damascusuniversity.edu.sy
[2]. Dr, Engineer, Department of Transportation Engineering and Building Materials, Damascus University. rabab.jouni@damascusuniversity.edu.sy

Received: 4/4//2023
Accepted: 29/5/2023

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a
CC BY- NC-SA

Abstract:

The concept of recycling glass waste is based on using of these waste as additives or initial materials to reduce the depletion of natural resources, re duce the areas demands for waste dumps, get advantages of the distinctive characteristics of glass such as heat resistance, high durability, and not affected by water. The main purpose of this study is to determine the effect of using glass waste as sand on the characteristics of hot asphalt mix in terms of: Marshall stability and flow, stability loss, and Marshall stiffness (Marshall Quotient). In this research, mineral aggregates had brought from Al-Salima quarries near Damascus, where the grains of aggregates larger than 19 mm had rejected. Bituminous binder had brought from Banyas refinery in Tartous governorate. Glass waste was prepared from broken glass windows available locally. Two types of hot mix asphalt had designed: a reference mixture(traditional mixture), and a modified mixture by glass sand additive, where three partial replacement percentage of glass sand had studied (6-8-10)% by the weight of the mineral sand. The results of the experimental tests in this research showed that the optimum percentage of glass sand is 8%, and showed that the optimum binder content hadn't affected by this percentage (8)%, It has been also found that the modified mixture with glass sand had improved its characteristics in terms of stability, flow, Marshall stiffness, and resistance impact of water with the following percentages, respectively: (22, 17, 42, 15)%. As a result, the concept of using glass waste as sand in the asphalt base course layer would reduce the mineral aggregate percentage which is necessary to produce asphalt mixtures, with the possibility of achieving the technical conditions and specifications that required for use as an asphalt base course layer, In addition to improving the properties of the asphalt mixture.

Keywords: Hot Mix Asphalt, Glass Waste, Glass Sand, Marshall Quotient.

المقدمة (Introduction):

أدى التوسع الكبير في إنشاء الطرق وتزايد الطلب على المواد الأولية إلى استنزاف كبير للموارد الطبيعية، إضافة إلى التلوث البيئي الناتج عن تراكم النفايات الناتجة عن الصناعات التي تخدم الإنسان بكافة أنواعها. وفي حال نظرنا في هذه الصناعات، فإنها ستتحول في النهاية إلى نفايات لابد من التخلص منها، الأمر الذي يسبب مشاكل مكلفة ماليا وبيئيا، والحل الأمثل لها هو إعادة تدويرها واستخدامها كمواد أولية أو محسنات في الخلطات بحيث نحد من استنزاف الموارد الطبيعية، ونقلل من مساحة المكبات اللازمة، ونستفيد من النفايات المحلية (Dalloul, 2013, 2). وبالنظر في أنواعها نجد أن النفايات الزجاجية إحدى النفايات الواعدة لتحسين خصائص الخلطات البيتونية والاسفلتية، حيث أن الزجاج مادة غير قابلة للتحلل أو الاحتراق مما شجع العديد من الدول لاستخدامه كتعويض عن الركام في هذه الخلطات (Khedawi et al., 2017,117)، والذي أدى إلى نتائج إيجابية سواء عند استخدامه كرمل في الخلطة البيتونية(اسماعيل، 2015، 59)، أو كبديل جزئي عن الحصويات بمختلف تدرجاتها في كافة طبقات الطريق في الخلطة الاسفلتي (Al-Saeedi et al.,) (2018, 63), (Issa, 2016, 35). تعرف عملية إعادة تدوير النفايات بأنها عملية تحويل النفايات إلى مواد وعناصر جديدة. وهي بديل عن التخلص التقليدي لها، وتشمل (بقايا الطعام، البلاستيك، الزجاج، المعادن، الورق، الالكترونيات...). وتنطوي عملية إعادة تدوير النفايات على فصلها بعد جمعها، معالجة النفايات القابلة للتدوير، وتصنيع منتجات جديدة (Arnold et al., 2008, 9). تعتبر عملية إعادة تدوير النفايات وسيلة لتحقيق التنمية المستدامة للحفاظ على البيئة للأجيال القادمة من خلال توفير المواد وتخفيف انبعاثات الغازات الدفينة، وتقليل استهلاك المواد الخام وبالتالي نحد كلا من استهلاك الطاقة، تلوث الهواء الناتج عن عمليات الاحتراق، وتلوث المياه الناتج من مكبات النفايات (Kandhal 1992, 1). تنتج النفايات الزجاجية من مختلف المجالات نظرا لاستخدام الزجاج بشكل واسع في حياتنا اليومية. وبالنظر إلى التطور في التكنولوجيا وفرص البحث كان لابد من دراسة خصائص وإمكانية هذه المادة (Aashish et al., 2019, 1). الزجاج يتكون من مواد معدنية، غير عضوية، غير ماصة للماء، مما يجعله من المواد ذات ديمومة عالية ومقاومة لتأثير الطبيعة، بالإضافة إلى صلابته العالية التي تعطيه مقاومة عالية ضد التآكل والحرارة. هذه الخصائص المميزة للزجاج تأتي بشكل أساسي من المواد السيلكاتية الداخلة في تركيبه والتي تشكل النسبة الأكبر حوالي 70%، والتالي تحتاج لدرجات حرارة عالية لتتحول إلى الشكل اللزج تصل إلى 1700C°. وعند إضافة أكاسيد معينة بنسب محددة ينتج الزجاج الملون ذو خصائص مميزة (اسماعيل، 2015، 13).

1. مشكلة البحث (Problem statement):

تكمن المشكلة العلمية في هذا البحث في الحاجة لإنتاج خلطات اسفلتية معدلة بإحدى الإضافات (مثل النفايات الزجاجية) لتواكب الحمولات المرورية المتزايدة مع الزمن.

2. هدف البحث (Objective):

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير إضافة النفايات الزجاجية كنسبة استبدال جزئية من الرمل على الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخلطة الاسفلتية المستخدمة في طبقة الأساس الاسفلتي.

3. نطاق ومحددات البحث:

سوف تستخدم هذه الخلطات في إنشاء طبقة الأساس الاسفلتي، في الطرقات الاسفلتية الثانوية، وفق المواصفة السورية لأعمال الطرق والجسور لعام 2002.

4. الدراسات المرجعية (Literature Review):

قام عدد من الباحثين بدراسة تأثير إضافة النفايات الزجاجية على خصائص الخلطات الاسفلتية الساخنة، ففي الأردن قام الباحث (Khedawi et al., 2017) بدراسة عن تأثير إضافة

النفايات الزجاجية على خصائص الخلطات الاسفلتية، حيث تم دراسة أربع نسب من الزجاج %(20-15-10-5) كبديل جزئي عن الرمل بتدرج (0.075-2.36)mm مع محتوى بيتومين 5.75% ذو صنف 100−85 مع بودرة كلسية بنسبة 2%من وزن البودرة المينرالية حيث أظهرت النتائج أن النسبة المثالية لإضافة الزجاج هي 10% وينتج عن هذه النسبة: زيادة في ثبات مارشال والقوة المحتجزة، وانخفاض في نسبة البيتومين المستخدمة والسيلان، كما أوصى باستخدام البودرة الكلسية لتحسين الرطوبة هذه الخلطة.

وقام الباحث (ISSA, 2016) في السعودية بدراسة تأثير إضافة نفايات الزجاج المكسر إلى الخلطة الاسفلتية. قام الباحث بدراسة استخدام زجاج السيارات الأمامي بثلاث نسب وهي %(15-10-5) بتدرج (0.075-4.75)mm من وزن الرمل، مع ثلاث نسب بيتومين ذو صنف 70/80 هي 4.5%,5%,5.5% حيث لوحظ ازدياد في الثبات ومقاومة التشوهات الدائمة عند نسبة إضافة 10% مع نسبة بيتومين 5% مقارنة بالخلطة المرجعية وبعدها يتناقص الثبات للخلطة الاسفلتية بازدياد النسبة المضافة وانخفاض في السيلان والكثافة والفراغات الهوائية.

بينما قام الباحث (Dalloul, 2013) في فلسطين بدراسة تأثير مخلفات الزجاج المطحونة كرمل خشن ومادة مالئة في الطبقة الاسفلتية الرابطة، قام الباحث باستخدام نفايات العلب الزجاجية مع بيتومين ذو صنف 70/80 بنسبة أمثلية هي 5.1% مع نسب زجاج هي %(15-12.5-10-7.5-5-2.5) بتدرج (0-4.75)mm فوجد أن نسبة الإضافة المثالية هي 7.5% والتي أدت إلى زيادة في الثبات، وانخفاض في السيلان والفراغات الهوائية.

كما قام (Aashish et al., 2019) في نيبال بإعداد دراسة عن تأثير إضافة مسحوق النفايات الزجاجية إلى الخلطات الاسفلتية.

حيث قام باختبار استخدام نفايات الزجاج مع بيتومين ذو صنف (70-60) بثلاثة نسب مختلفة هي (5%-10%-14%) بتدرج حبي للرمل (0.075-1.18) mm مع محتوى بيتومين يتناقص بازدياد نسبة الزجاج. وكانت النتائج أن نسبة الزجاج المثلى هي10% من وزن الرمل حيث لوحظ ازدياد في الثبات عند هذه النسبة عن قيمته في الخلطة المرجعية وانخفاض نسبة البيتومين عندها أما باقي نتائج الاختبارات كانت ضمن الحدود المسموحة.

من خلال الدراسات المرجعية السابقة نجد أن:

1. إضافة النفايات الزجاجية إلى الخلطة الاسفلتية يزيد من (ثبات مارشال، القوة المحتجزة، ومقاومة التشوهات الدائمة).
2. إن استخدام النفايات الزجاجية في الخلطة الاسفلتية يخفض كلا من (نسبة البيتومين المستخدمة، الكثافة، نسبة الفراغات الهوائية، والسيلان).
3. تتأثر خصائص الخلطات بشكل كبير بنوع الزجاج المستخدم.

وبناء على ما سبق سيتم في هذا البحث دراسة تأثير إضافة النفايات الزجاجية بتدرج (0.075-4.75)mm بثلاث نسب (10−8−6)% إلى الخلطة الاسفلتية لطبقة الأساس الاسفلتي.

5 . مواد البحث(Materials):

- حصويات طبيعية مينرالية: تم إحضارها من مقالع مدينة سليمة بالقرب من دمشق، حيث تم تجفيفها أولا، ثم تم رفض الحصويات ذات المقاس الأكبر من 19mm.
- الرابط البيتومين: تم جلبه من مصفاة بانياس ذو صنف 80-100.
- النفايات الزجاجية: وهي عبارة عن نوافذ زجاجية مكسرة، تم جمعها وتنظيفها، ثم تم طحنها وفصلها على المهزات القياسية للحصول على التدرج الحبي المطلوب (0.075−4.75) مم.

الصورة(1) المواد المستخدمة

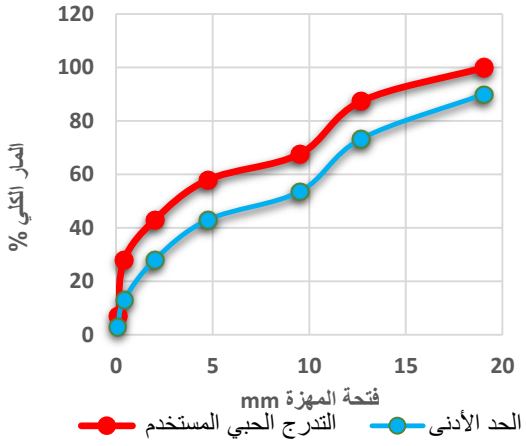
5-1-توصيف مواد البحث:

أ-التدرج الحبي:

من جدول المتطلبات النوعية للحصويات المستخدمة في الخرسانة البيتومينية لطبقة الأساس الاسفلتي وفق المواصفة (AASHTO T-30-78)، تم اعتماد الحد الأعلى للتدرج الثالث لتحقيق شروط اختبار قالب مارشال لتكون نسبة المار الكلي عند المهزة 19مم هي100%.

الجدول(1) التدرج الحبي المستخدم

فتحة المهزة (mm)	نسبة المار الكلي%
19	100
12.5	93
9.5	72
4.75(رقم 4)	58
2(رقم 10)	43
0.425(رقم 40)	28
0.075(رقم 200)	7



الشكل(1) منحني التدرج الحبي المستخدم

ب- تحضير الرمل الزجاجي:

تم جمع نفايات نوافذ زجاجية محلية وتنظيفها وطحنها باستخدام جهاز لوس أنجلوس وفصلها على المهزات القياسية للحصول التدرج الحبي للرمل المطلوب.

2-1 طحن النفايات الزجاجية عبر جهاز لوس أنجلوس

2-2 فصل ناتج الطحن عبر المهزات القياسية

الصورة (2) تحضير الرمل الزجاجي المستخدم

ت-الأوزان النوعية ونسبة الامتصاص:

تم إجراء تجربة الأوزان النوعية للحصويات الخشنة وفق المواصفة (ASTM C127) وللرمل المينرالي وفق المواصفة (ASTM C128)، وللرمل الزجاجي المستخدم. فكانت نتائج وسطي 3 عينات من كل نوع من الحصويات كما هو مبين في الجدول (2):

الجدول(2) الأوزان النوعية

نوع الحصويات	خشنة	ناعمة	الرمل الزجاجي
G_{Sb}	2.73	2.66	2.45
G_{sa}	2.79	2.82	-
G_{ssD}	2.77	2.71	-
نسبة الامتصاص	1.06	2.07	0

ث-مقاومة الاهتراء :

أجريت تجربة لوس أنجلوس على ثلاثة عينات من الحصويات الخشنة وفق المواصفة (AASHTO T-96-77)، وكانت نتائج الوسطي للعينات المدروسة كما هو مبين في الجدول(3):

الجدول(3) نتائج تجربة لوس أنجلوس

نوع الحصويات	نسبة الاهتراء %
حصويات خشنة	19.6

يبين الجدول (3) أن النسبة المئوية للاهتراء للحصويات الخشنة < 35%، أي أن الحصويات تحقق المواصفات المطلوبة لطبقة الأساس الاسفلتي (AASHTO T-96-77)، ونستنتج من ذلك أن الحصويات المينرالية المستخدمة ذات مقاومة جيدة للاهتراء.

ج- المكافئ الرملي:

أجريت تجربة المكافئ الرملي على ثلاثة عينات من الرمل المينرالي المدروس وفق المواصفة(AASHTO T176-73)، ويوضح الجدول(4) القيمة الوسطية لنتائج لعينات الثلاثة:

الجدول(4) نتائج تجربة المكافئ الرملي

نوع الحصويات	المكافئ الرملي%
رمل مينرالي	75

يبين الجدول (4) أن النسبة المئوية للرمل في العينة المدروسة أكبر من 45%، أي أن الحصويات تحقق المواصفات المطلوبة لطبقة الأساس الاسفلتي(AASHTO T176-73)

2-5: تحديد خواص الرابط البيتومينى:

تم إجراء تجربة الغرز، والاستطالة، ونقطة التميع، وتحديد الوزن النوعي للرابط البيتومينى. وكانت النتائج كما هو موضح في الجدول(5):

الجدول(5) خواص الرابط البيتومينى المستخدم

نوع الاختبار	نتيجة الاختبار	ASTM. اشتراطات
الغرز	86	80-100
الاستطالة	110	min:100mm
نقطة التميع	46.7	45-52
الوزن النوعي	1.01	1.01-1.06

ومن الجدول (5) نجد أن البيتومين المستخدم ذو صنف.ASTM 80-100 ومطابق لاشتراطات

6- تصميم الخلطات الإسفلتية وتحديد خصائصها الميكانيكية:

- تم دراسة نوعين من الخلطات وهي:

1. الخلطة المرجعية: مكونة من الحصويات المينرالية (بحص + رمل + بودرة مينرالية) مع الرابط البيتومينى.
2. الخلطة المعدلة: مكونة من الحصويات المينرالية مع نسبة استبدال جزئية من الرمل الزجاجي والرابط البيتومينى.

6-1- تصميم الخلطة الاسفلتية المرجعية:

تم رص 3 عينات عند كل نسبة اسفلت (6.5-6-5.5-5-4.5)% من وزن الخلطة، وإجراء اختبار مارشال عليها، وكانت النتائج كما هو مبين في الجدول(7):

الجدول (7) مواصفات الخلطة المرجعية

	الخلطة المرجعية	حدود المواصفة
نسبة البيتومين%	5.6	4-6
الثبات(كغ)	980	min:600
السيلان(مم)	4.48	2-4 mm
الكثافة (g/cm^3)	2.375	-
Va%	5.5	5-7
VMA%	18.51	15-19
VFA%	71	65-85

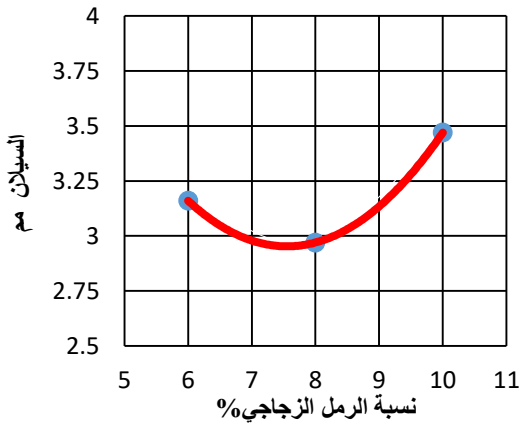
6-2- تحديد النسبة المثالية لإضافة الرمل الزجاجي:

بعد تحديد نسبة البيتومين المثالية للخلطة المرجعية (5.6%)، حددت نسبة الاستبدال المثالية للرمل الزجاجي. حيث تم إضافة النفايات الزجاجية كرمل بكافة تدرجاته من 0.075 مم الى 4.75 مم كنسبة استبدال جزئية من وزن الرمل المينرالي وفق ثلاث نسب هي %(10-8-6).

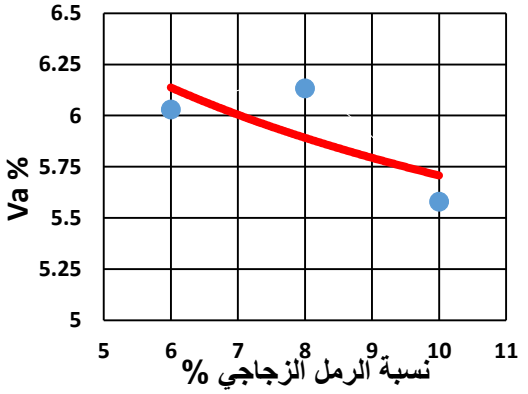
الصورة(3) إضافة الرمل الزجاجي إلى الخلطة الاسفلتية

ولتحديد نسبة الاستبدال المثالية للإضافة تم اعتماد النسبة التي تعطي أكبر ثبات، وأقل سيلان، وقيمة فراغات هوائية تقع ضمن المجال المسموح %(7-5)، وهي النسبة 8% كما هو موضح في المخططات(2)، (3)، (4):

الشكل(2) تغير الثبات بتغير نسبة الرمل الزجاجي



الشكل(3) تغير السيلان بتغير نسبة الرمل الزجاجي



الشكل(4) تغير السيلان بتغير نسبة الرمل الزجاجي

6-3-بعد تحديد نسبة البيتومين المثالية للخلطة المرجعية، ونسبة الاستبدال المثالية، صممت خلطة اسفلتية معدلة بالرمل الزجاجي بنسبة 8% من وزن الرمل المينرالي، ويبين الجدول(8) مواصفات هذه الخلطة:

الجدول(8) مواصفات الخلطة المعدلة بالرمل الزجاجي

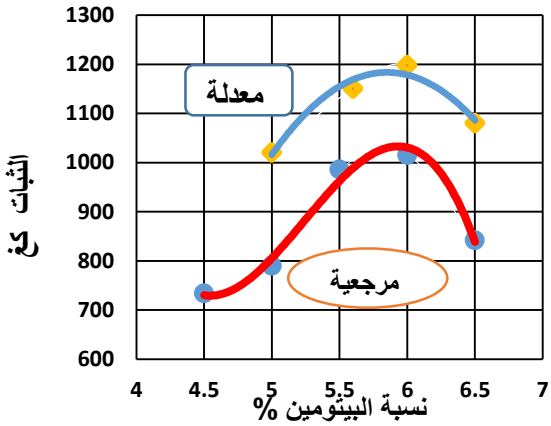
	الخلطة المعدلة	حدود المواصفة
نسبة البيتومين	5.7	4-6
الثبات(كغ)	1180	min:600
السيلان(مم)	3.7	2-4 mm
الكثافة(g/cm^3)	2.347	-
Va %	5.85	5-7
VMA %	15.8	15-19
VFA %	84	65-85

وبمقارنة نسبة البيتومين في الخلطة المرجعية 5.6% مع نسبة البيتومين في الخلطة المعدلة 5.7%، نجد أن استخدام الرمل الزجاجي بنسبة 8% كبديل جزئي عن الرمل المينرالي في الخلطة الاسفلتية لطبقة الأساس الاسفلتي لم تؤثر بشكل ملحوظ على نسبة البيتومين المثالية، حيث كانت الزيادة بمقدار بسيط 0.1% ويمكن أن يعزى ذلك إلى زيادة نسبة الفراغات الهوائية، وانخفاض الكثافة عند استخدام الرمل الزجاجي، والذي نتج عنه زيادة في نسبة البيتومين المثالية.

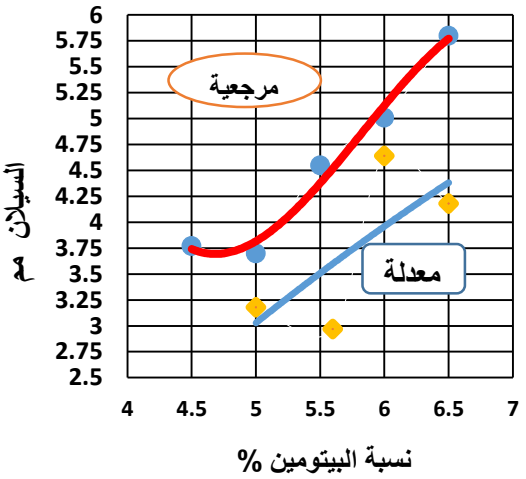
6-4- دراسة تأثير إضافة الرمل الزجاجي على خواص الخلطة الاسفلتية:

أولا: خصائص مارشال:

تبين المخططات التالية(5)، (6) مقارنة بين خواص الخلطة الاسفلتية المرجعية وخواص الخلطة الاسفلتية المعدلة، حيث نجد زيادة في قيمة الثبات في الخلطة المعدلة بالرمل الزجاجي بنسبة 22%، وانخفاض في قيمة السيلان بنسبة 17%، ويمكن أن يعزى ذلك إلى أن تشابك الرمل الزجاجي مع البيتومين أفضل من تشابك الرمل المينرالي معه.

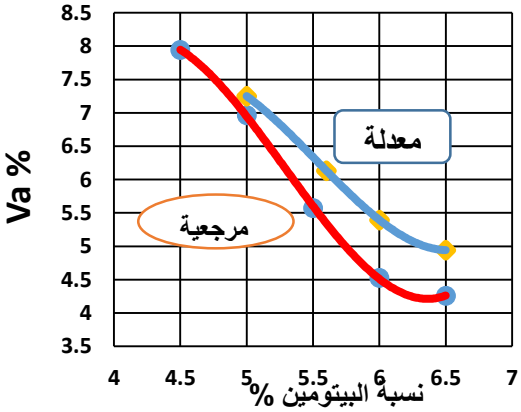


الشكل(5) تغير الثبات بتغير نسبة البيتومين

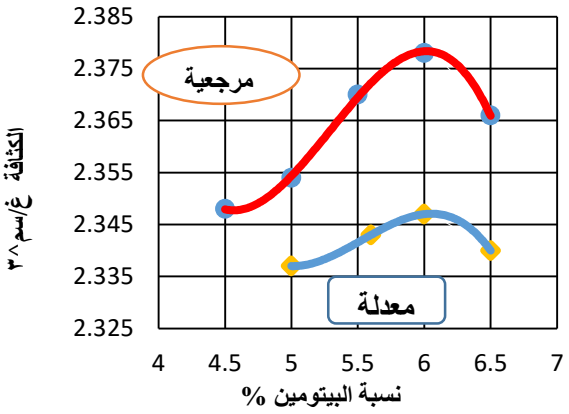


الشكل(6) تغير السيلان بتغير نسبة البيتومين

ولكن الطبيعة الإبرية للرمل الزجاجي أدت إلى زيادة في نسبة الفراغات الهوائية بمقدار 6%، (ولكنها بقيت ضمن الحدود المسموحة (5-7)%) الأمر الذي نتج عنه انخفاض في الكثافة بنسبة 1.1%، كما هو موضح في المخططات التالية (7)، (8):



الشكل(7) تغير نسبة الفراغات الهوائية بتغير نسبة البيتومين



الشكل(8) تغير الكثافة بتغير نسبة البيتومين

ثانيا: دراسة تأثير الماء على الخلطة المعدلة (الفاقد بالثبات):

لحساب الفاقد بالثبات للخلطة المعدلة بالرمل الزجاجي وفق المواصفة(ASTM D 1075-75)، تم رص 6 عينات بالنسب المثالية لكل من البيتومين 5.7%، وللرمل الزجاجي (8% من وزن الرمل المينرالي). وكسرت هذه العينات على مرحلتين:

1) 3 عينات مغمورة في حمام مائي بدرجة حرارة 60 C° لمدة 30 دقيقة.

2) 3عينات مغمورة في حمام مائي بدرجة حرارة 60 C° لمدة 24 ساعة.

الصورة (4) العينات المغمورة لمدة 24 ساعة

ولحساب الفاقد في الثبات تم التعويض في المعادلة التالية:

$$100 * \frac{\text{الغمر لمدة 30 دقيقة} - \text{الغمر لمدة 24 ساعة}}{\text{الغمر لمدة 30 دقيقة}}$$

حيث تنص المواصفة ألا تزيد قيمة الفاقد بالثبات عن 30%.

الجدول (9) الفاقد بالثبات الخلطة المرجعية والمعدلة

الخلطة المرجعية	الخلطة المعدلة
21.8	18.6

من الجدول السابق نجد أن إضافة الرمل الزجاجي بنسبة 8% إلى الخلطة الاسفلتية نتج عنه انخفاض في قيمة الفاقد بالثبات بنسبة 15% مقارنة بالخلطة الاسفلتية المرجعية.

ثالثا: دراسة تأثير الرمل الزجاجي على صلابة مارشال للخلطة الاسفلتية:

لدراسة مدى تأثير إضافة الرمل الزجاجي على مقاومة الخلطة الاسفلتية، تم حساب صلابة مارشال MQ (Marshall Quotient) ، للخلطتين المرجعية والمعدلة بالرمل الزجاجي بنسبة 8%. حيث تحسب الصلابة وفق المواصفة (BS DD 213(1993)) من العلاقة التالية:

$$\text{الصلابة} = \frac{\text{الثبات } (\boldsymbol{KN})}{\text{السيلان } (\boldsymbol{mm})}$$

الجدول(10) صلابة مارشال للخلطة المرجعية والمعدلة

الخلطة المرجعية	الخلطة المعدلة
2.19	3.1

من الجدول (10) نجد أن إضافة الرمل الزجاجي بنسبة 8% إلى الخلطة الاسفلتية أعطى صلابة أعلى مقارنة بالخلطة الاسفلتية المرجعية. وذلك لأن إضافة الرمل الزجاجي عملت بنفس الوقت على زيادة الثبات بنسبة22%، وخفضت السيلان بنسبة 17%، وبما أن صلابة مارشال هي النسبة بين الثبات والسيلان فنتجت عنها الزيادة بمقدار 42%.

7-النتائج (Results):

1. بلغت قيمة النسبة المثالية لإضافة الرمل الزجاجي إلى الخلطة الاسفلتية لطبقة الأساس الاسفلتي عند الحد الأعلى للتدرج الحبي الثالث في هذا البحث 8%.

2. إضافة الرمل الزجاجي لم تؤثر بشكل ملحوظ على نسبة البيتومين المثالية في الخلطة الاسفلتية.

3. إضافة الرمل الزجاجي بنسبة 8% للخلطة الاسفلتية أدت إلى زيادة في الثبات بنسبة 22%، وانخفاض في السيلان بنسبة 17%، وزيادة في نسبة الفراغات الهوائية بنسبة 6%.

4. الخلطة الاسفلتية المعدلة بالرمل الزجاجي كانت أكثر مقاومة لتأثير الماء بنسبة 15%، وذات صلابة مارشال MQ أعلى بنسبة 42% مقارنة بالخلطة الاسفلتية المرجعية.

8-الاستنتاجات (Discussion):

نستنتج أنه من الممكن إضافة الرمل الزجاجي بتدرج (0.075-4.75)mm بنسبة 8% من وزن الرمل المينرالي إلى الخلطة الاسفلتية لإنتاج خلطات ذات مواصفات أفضل مقارنة بالخلطة الاسفلتية التقليدية.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل(501100020595).

References:

1) وزارة المواصلات. (2002) المواصفات القياسية السورية لأعمال الطرق والجسور. وزارة المواصلات.

2) شيرازد، إسماعيل. (2015). رفع كفاءة الخلطة البيتونية باستخدام مطحون الزجاج. رسالة ماجستير، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق.

3) Abu Salem, Khedawi, Baker, Abendeh. (2017). Effect of Waste Glass on Properties of Asphalt Concrete Mixtures. Jordan Journal of Civil Engineering, 1 (11).

4) Al-Saeedi, Al-Jameel. (2018). Sustainable Performance of Iraqi Asphalt Base Course Using Recycled Glass as Aggregate Replacement. Journal of University of Babylon, 5 (26).

5) American Association Of State Highway And Transportation Officials (AASHTO). (1993). AASHTO Guide For Design Of Pavement Structures. P: 600.

6) American Society For Testing And Materials (ASTM). (2015). ASTM Standards- Specifications. ASTM International.

7) Arnold, Werkemeister, Alabaster. (2008). The effect of adding recycled glass on the performance of base course aggregate. NZ Transport Agency P:40.

8) Ashish Abiral, Tamrakar. (2019) .Effect of Adding Waste Crushed Glass to Asphalt Mix. International Journal of Advanced Engineering and Management, 4 (4). P: 10-18.

9) Asphalt Institute. (2015).MS-2 Asphalt Mix Design Methods.

10) British Standards Institution. (1993). Method For The Determination Of The Indirect Tensile Stiffness Modulus Of Bituminous Mixtures. Draft For Development DD-213.

11) Dalloul, Khalil. (2013). Study of the Effect of Crushed Waste Glass as Coarse Sand and Filler in the Asphalt Binder Course. Master degree، Civil Engineering Department، The Islamic University of Gaza.

12) Kandhal, Prithvi. (1992). WASTE MATERIALS IN HOT MIX ASPHALT.ASTM Meeting, United State.

13) Issa, Yazan. (2016). Effect of Adding Crushed Glass to Asphalt Mix. Archives of Civil Engineering, 2 (7).