مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد41 العدد (4) – 2025: 319-332

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 41 number (4) -2025: 319-332

تقييم الخلطات الاسفلتية المعدلة بالجير المطفأ

ميسم عبد الغفور الحسن[1*] رباب جوني[2]

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

الملخص:

يجب أن يحقق المجبول البيتومينى مجموعة من المتطلبات الفنية الأساسية لتحقيق ديمومة جيدة للرصف المرن من قدرة تحمل كافية للحمولات المتوقع مرورها، وثبات، ومقاومة جيدة للتشوهات الناتجة عن مرور الحمولات في درجات الحرارة العالية، وتأمين سطح كتيم يحقق تصريف جيد للمياه، كما تتعلق ديمومة الخلطات البيتومينية بنسبة البيتومين بالخلطات، حيث تتركز أهمية هذا البحث حول زيادة متانة الخلطات الإسفلتية بإضافة الجير المطفأ، وانتاج خلطات ذات كفاءة عالية، ومقاومة للرطوبة، والعوامل الجوية المختلفة.

إن الهدف الرئيسي لهذا البحث هو دراسة تأثِير استخدام الجِير المطفأ بنسبة استبدال جزئية من المادة المالئة المينرالية على الخصائص الميكانيكية للخلطات الاسفلتية الساخنة وحساسيتها للرطوبة.

تم في هذا البحث إحضار الحصويات المينرالية من مقالع سليمة بالقرب من العاصمة دمشق، حيث تم رفض الحصويات ذات المقاس الأكبر من 19mm، كما تم إحضار الرابط البيتومينى من مصفاة بانياس في محافظة طرطوس.

تم تصميم نوعين من الخلطات الإسفلتية الساخنة: خلطة مرجعية (مكونة من حصويات مينرالية، ورابط بيتومينى)، وخلطة معدلة بالجير المطفأ (مكونة من الحصويات المينرالية مع نسبة استبدال جزئية مثالية من بودرة الجير المطفأ مع رابط بيتومينى)، حيث تم في البداية دراسة 3 نسب استبدال جزئية لبودرة الجير المطفأ % (20-40-60) من وزن البودرة، وتحديد النسبة المثالية لاستخدامها في الخلطة المعدلة.

تم تصميم خلطة اسفلتية بطريقة مارشال لتحديد نسبة الرابط البيتومينى المثالية حيث بينت نتائج التجارب على الخلطات المرجعية أن النسبة المثالية هي 5.85%، كما وجد أن النسبة المثالية لإضافة الجير المطفأ هي 40% من وزن البودرة، وأن هذه النسبة لم تؤثر بشكل ملحوظ على النسبة المثالية للرابط البيتومينى في الخلطة المرجعية. كما وجد أن الخلطة المعدلة باستخدام الجير المطفأ قد تحسنت خصائصها من حيث ثبات وسيلان وصلابة مارشال، بالنسب التالية على التوالي: 30% ,26% ,80% كما حسنت مقاومة ضرر الرطوبة.

الكلمات المفتاحية: الخلطات الاسفلتية الساخنة، الجير المطفأ، صلابة مارشال، الحساسية للرطوبة.

تاريخ الإيداع: 2023/4/30
تاريخ القبول: 2023/5/29

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

ISSN (online): 2789-6854
http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.php/index/index

Evaluation of asphalt mixtures modified with hydrated lime

Mayssam abdulgafour alhasan[*1] rabab jouni[2]

[*1]. Engineer in the Department of Transportation Engineering and Building Materials mayssam.alhasan@damascusuniversity.edu.sy

[2]. Dr in the Department of Transportation Engineering and Building Materials, Damascus University. rabab.jouni@damascusuniversity.edu.sy

Received: 30/4/2023
Accepted: 17/7/2023

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a

CC BY- NC-SA

Abstract:

The bituminous aggregate must fulfill a set of basic technical requirements to achieve good durability for the flexible pavement, from sufficient bearing capacity for the loads expected to pass through, stability and good resistance to deformations resulting from the passage of loads at high temperatures, and securing an impermeable surface that achieves good water drainage. Where the importance of this research focuses on increasing the durability of asphalt mixtures by adding hydrated lime, and producing mixtures with high efficiency and resistance to moisture and various weather factors.

The aim of this research is to study the effect of using hydrated lime as a partial replacement ratio of mineral filler on the mechanical characteristics of hot asphalt mixtures and their sensitivity to moisture.

In this research, mineral aggregates had brought from Al-Salima quarries near Damascus, where the particles of aggregates larger than 19 mm had rejected. Bituminous binder had brought from Banyas refinery in Tartous governorate.

Two types of hot mix asphalt had been designed: a traditunal mixture (consisting of mineral aggregates and a bituminous binder), and a modified mixture with hydrated lime (consisting of mineral aggregates with an optimum partial replacement ratio of hydrated lime powder with a bituminous binder), where 3 proportions had initially studied. Partial replacement of hydrated lime powder (1-2-3) % by the weight of the aggregates, to determine the optimum ratio to be used in the modified mixture.

The Marshall was used to determine the ratio of bituminous binder, where the results of experiments on reference mixtures showed that the ratio was 5.85%, and it was also found that the ratio for adding hydrated lime was 2% of the weight of the aggregates, and that this ratio did not significantly affect the ratio of the bituminous binder in the mixture. It has been also found that the modified mixture with hydrated lime had improved its characteristics in terms of stability, flow and Marshall stiffness with the following percentages, respectively: 26%, 30%, and 80%, and it also improved resistance to moisture damage.

Keywords: Hot Mix Asphalt, Hydrated Lime, Marshall Quotient, Moisture Sensitivity.

المقدمة (Introduction):

تعتبر شبكة الطرق من أهم متطلبات الحياة، وتعتبر الطبقة السطحية للطريق المكونة من المجبول الاسفلتي من أهم طبقات الرصف لأثرها الواضح في تقييم الطريق، كما يجب أن تؤمن الحماية للطبقات الأدنى منها، إضافة لكونها طبقة حاملة، حيث تتعرض بشكل مباشر للحمولات، والعوامل المناخية، والحرارية، والتي تسبب تعري الحصويات، والنقص في الثبات مما يؤدي لحدوث التشوهات، وتشكل الحفر، والأخاديد على سطح الرصف مما يسبب إنقاص عمر الرصف، لذا جاء الاهتمام بدراسة خواصها عند التصميم والتنفيذ وذلك لزيادة العمر التصميمي للطريق وتقليل كلفة صيانته.

من هنا كان لابد من البحث الدائم والمستمر عن مواد رصف محسنة تقاوم تأثير هذه العوامل على الرصف المرن وخاصة الطبقة العلوية المكونة من المجبول الاسفلتي من خلال إضافة مواد مختلفة من أجل تحسين خواصها.

تم استخدام الكلس من أجل تحسين خواص الخلطات البيتومينية منذ زمن بعيد حيث كان يستخدم مسحوق الأحجار الكلسية، وتشير الأبحاث إلى أهمية إضافة الكلس بنسب مدروسة إلى الخلطات الاسفلتية الساخنة لمقاومة ضرر الرطوبة والصقيع، ومقاومة التأثيرات الكيميائية، وتحسين الخصائص الميكانيكية، حيث أنه يقاوم التخدد بنسبة 75%، ويحسن مقاومة التعب للخلطات الإسفلتية (Hydrated Lime, 2011, 69)، كما يعزز قوى الالتصاق بين البيتومين والحصويات مما يزيد من ممانعة انسلاخه نتيجة تأثير المياه بالتالي زيادة ديمومة الرصف(Ogundipe, 2016, 690)، بالإضافة لتحسين مقاومة الاسفلت لدرجات الحرارة المرتفعة، والتقليل من تكاليف الصيانة.
(Al-Sayed et al., 1992, 193)

تستخدم ثلاثة أنواع رئيسية من الجير مع الخلطات الاسفلتية: الجير المطفأ Ca(OH)2 (وهو المستخدم في هذا البحث) – جير غير مطفأ (حي) CaO – جير دولوميتي CaO.MgO (Ismael, 2019, 90)

تم في هذ البحث اختيار الجير المطفأ (الكلس)، ذو الصيغة Ca(OH)2 نظراً لكونه الأوفر من حيث الكلفة، ومتوافر محلياً بكثرة، وهو مركب كيميائي بشكل مسحوق ابيض ناعم، يحضر صناعيا ومخبريا من تفاعل حلمهة أكسيد الكالسيوم (إطفاء الكلس الحي). (زيدان، 2017، 6)

حسب المعادلة: $CaO + H2O = Ca(OH)2$

وذلك بهدف الحد والتخفيف من التشوهات السطحية، ومقاومة العوامل المناخية (Little et al., 2006, 8) وذلك من خلال تصميم خلطات اسفلتية ساخنة معدلة بالجير المطفأ.

1. مشكلة البحث:

تكمن المشكلة العلمية في هذا البحث في قلة ثبات ومتانة الخلطات الاسفلتية التقليدية تحت تأثير العوامل المناخية (الرطوبة)، والحمولات المتزايدة.

2. هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير استخدام الجِير المطفأ بنسبة استبدال جزئية من المادة المالئة المينرالية على الخصائص الميكانيكية للخلطات الاسفلتية وحساسيتها للرطوبة.

3. نطاق ومحددات البحث:

تستخدم الخلطات المدروسة في هذا البحث في إنشاء ومعالجة طبقة الاهتراء، في الطرقات الاسفلتية متوسطة الغزارة المرورية، وفق المواصفة السورية لأعمال الطرق والجسور لعام 2002.

4. الدراسات المرجعية (Literature Review):

قام العديد من الباحثين بدراسة تأثير إضافة الجير المطفأ على خصائص الخلطات الاسفلتية، ففي دراسة أجراها الباحث Kollaros عام 2017 في اليونان حول اضافة الجير المطفأ للخلطات الاسفلتية الساخنة المستخدمة في تشييد الطرق، حيث تم دراسة ثبات مارشال بإضافة الجير والبودرة المينرالية كمادة مالئة، وعند النسبة المثلى للإسفلت تم تحضير عينات بمواد مالئة بنسب (2 – 4 – 6 – 8) % من وزن الحصويات، أظهرت النتائج أن الجير يزيد من: ثبات مارشال، ويخفض الفراغات الهوائية [5].

كما قام الباحث Vijay.K عام 2016 في الهند بدراسة حول تأثير الجير المطفأ المعدل للخلطات الاسفلتية على عمر طبقة التغطية.

تم الأخذ بعين الاعتبار طريقتين للإضافة (الرطبة والجافة)، استخدم 10خلطات:

4 منها إضافة الجير بالطريقة الرطبة مع المادة الرابطة بنسب (20 – 30) % من وزن الاسفلت 4 منها إضافة الجير بالطريقة الجافة كمادة مالئة بنسب (1.5– 2) % من وزن الحصويات

عينتان دون إضافات

تبين بنتيجة البحث مايلي:

أظهرت الطريقة الرطبة (30% جير) عمرا أطول للتعب مقارنة مع الطريقة الجافة (1.5% جير)

تقليل معدل الشيخوخة بسبب إضافة الجير [6].

كما درس الباحث Mahmoudعام 2017 في جامعة دمشق حول تأثير المعالجة بالكلس المطفأ على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات الخرسانية المعاد تدويرها (RCA).

حيث تمت معالجة الحصويات الخرسانية الخشنة المعاد تدويرها(RCCA) بالغمر بمحلول الكلس المطفأ بعدة تراكيز وأزمنة غمر مختلفة.

تبين بنتيجة هذا البحث أن الغمر لمدة 5 أيام بتركيز 10% أدى إلى:

تخفيض نسبة التشرب بمقدار 16.25%.

تخفيض قيمة معامل لوس انجلوس بنسبة 13.94%.

الأوزان النوعية لم تتأثر كثيرا.

[7].

كما قام الباحث Ismael.M عام 2019 في بغداد بدراسة حول تأثير الجير المطفأ على حساسية الرطوبة للخلطات الاسفلتية

– استخدم نوعان من الرابط الاسفلتي هما اسفلت (40-50) و(60-70)، حيث كان محتوى الأسفلت الأمثل بالنسبة لنوعي الاسفلت: %(4.8-5) على التوالي.

تمت إضافة الجير المطفأ بـ 3 نسب %(1-1.5-2) من وزن الحصويات وتبين أن النسبة المثلى للإضافة هي 1.5%.

– زادت هذه النسبة المضافة من الجير المطفأ من ثبات مارشال بنسبة %(8.69 و13.2) لنوعي الاسفلت (40-50) ، (60-70) على التوالي.

– انخفضت نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة الاسفلتية مع إضافة الجير المطفأ.

– زادت هذه النسبة المضافة من الجير المطفأ من نسبة مقاومة الشد TSR بنسبة %(24.5 و29.16) لنوعي الاسفلت (40-50) ، (60-70) على التوالي.

– كما زادت هذه النسبة المضافة من الجير المطفأ من نسبة مؤشر القوة المحتجزة IRS بنسبة %(14.28 و17.5) لنوعي الاسفلت (40-50) ، (60-70) على التوالي.[8]

كما درس الباحث Ogundipe عام 2016 في نيجيريا حول ثبات وسيلان مارشال للخرسانة الاسفلتية المعدلة بالجير.

استخدم اسفلت 70/60 وأعطى اعلى درجة ثبات عند نسبة بيتومين 6.5%، كما تم تقييم الثبات والسيلان من خلال استخدام الجير المطفأ كبديل كامل عن البودرة المينرالية في تصميم الخلطات الإسفلتية، وتبين بالنتيجة أن: خلطة الاسفلت مع الجير المطفأ ذات ثبات وسيلان أكبر قليلاً، ونسبة فراغات هوائية أقل مقارنة بالخلطة الحاوية على البودرة المينرالية. [2]

– من خلال الدراسات المرجعية السابقة، يمكن التوصل إلى أن الخلطات الاسفلتية الحاوية على الجير المطفأ تمتلك مواصفات أفضل من حيث زيادة الثبات، ونقصان نسبة الفراغات الهوائية، وتحسين مقاومة ضرر الرطوبة.

5 . مواد البحث:

– الحصويات: طبيعية تم إحضارها من مقالع سليمة قرب العاصمة دمشق، تدرج الحصويات المستخدمة يوافق التدرج (2) من تصنيف ال (AASHTO T-30-77) المستخدم في طبقة الاهتراء، حيث تم تجفيفها أولا، ثم تم رفض الحصويات ذات المقاس الأكبر من 19mm.

– الرابط الاسفلتي: استخدم في هذا البحث رابط اسفلتي (80-100) إنتاج مصفاة بانياس.

– المادة المعدلة: بودرة الجير المطفأ المارة من المنخل N0. 200 .

الصورة (1) المواد المستخدمة

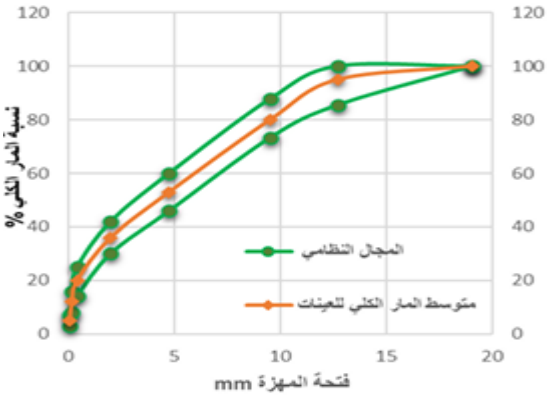
5-1-تحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات:

أ-التدرج الحبي:

تم اعتماد التدرج الحبي الثاني الموافق لطبقة الاهتراء حسب المواصفات السورية (AASHTO T- 30-77)

الجدول (1) التدرج الحبي المستخدم

رقم المهزة	فتحة المهزة (mm)	نسبة المار الكلي%
3/4"	19	100
1/2"	12.5	95
3/8"	9.5	80
N0.4	4.75	53
N0.10	2	36
N0.40	0.425	20
N0.80	0.18	12
N0.200	0.075	5



الشكل رقم (1) منحني التدرج الحبي للحصويات المستخدمة

ب –الأوزان النوعية ونسبة الامتصاص:

تم إجراء تجربة الأوزان النوعية للحصويات الخشنة وفق المواصفة (ASTM C.127)، وللرمل المينرالي وفق المواصفة (ASTM C.128)، فكانت نتائج وسطي 3 عينات من كل نوع من الحصويات كما هو مبين في الجدول (2):

الجدول (2) الأوزان النوعية

نوع الحصويات	G_{Sb}	G_{sa}	G_{ssD}	نسبة الامتصاص %
الحصويات الخشنة	722.	2.79	772.	1.08

الحصويات الناعمة	672.	822.	722.	1.98

ت- مقاومة الاهتراء:

أجريت تجربة لوس أنجلوس على 3 عينات من الحصويات الخشنة وفق المواصفة (ASTM C-535)، وكانت نتيجة المتوسط الحسابي كما هو مبين في الجدول (3):

الجدول (3) نتائج تجربة لوس أنجلوس

نوع الحصويات	نسبة الاهتراء %	حدود المواصفة
حصويات خشنة	19.9	35% >

حيث يبين الجدول (3) أن النسبة المئوية للاهتراء أقل من35%، وهو محقق حسب دفتر الشروط والمواصفات الفنية لأعمال الطرق والجسور في سوريا، نستنتج من ذلك أن الحصويات المستخدمة ذات مقاومة جيدة للاهتراء.

ث-المكافئ الرملي:

أجريت تجربة المكافئ الرملي على 3 عينات من الرمل وفق المواصفة (ASTM D-2419)، وكانت القيمة الوسطية كما هو مبين في الجدول (4):

الجدول (4) نتائج تجربة المكافئ الرملي

نوع الحصويات	المكافئ الرملي %	حدود المواصفة
رمل مينرالي	74.3	45% <

يبين الجدول (4) أن النسبة المئوية للرمل في العينة المدروسة أعلى من45%، وهو محقق حسب دفتر الشروط والمواصفات الفنية لأعمال الطرق والجسور في سوريا.

5-2-اختبارات الرابط البيتومينى:

الجدول (5) خواص الرابط البيتومينى المستخدم

نوع الاختبار	نتائج الاختبارات	المواصفات الفنية المطلوبة	
		ASTM	AASHTO
الغرز Penetration في درجة الحرارة25°C(25) (mm/10)(0.1mm) (ASTM D5-97)	86	80-100	85-100
الاستطالة Ductility(cm) (ASTM D113- 76)	110	100min	100min
نقطة التميع Softing Point(Ring&Bale) (°C) (ASTM D2398- 76)	46.7	45-52	
الوزن النوعي للبيتومين Specific Gravity (ASTM D3289)	1.01	1.01-1.06	

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

من الجدول (5) نجد أن الرابط البيتومينى المستخدم في البحث من الصنف [80-100] وهو محقق للمتطلبات الفنية الخاصة بالروابط البيتومينية المستخدمة بالطرق حسب المواصفات السورية.

6-تصميم الخلطات الإسفلتية وتحديد خصائصها الميكانيكية:

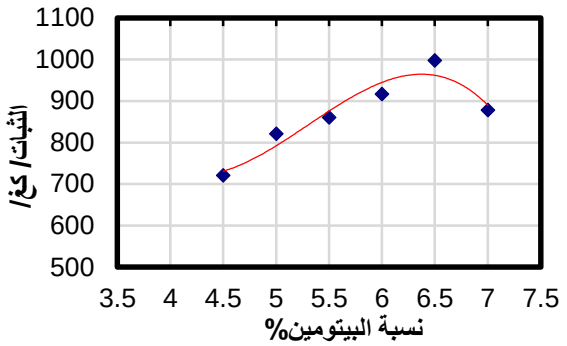
- تم تصميم نوعين من الخلطات وهي:

الخلطة الأولى (المرجعية): مكونة من الحصويات المينرالية (بحص + رمل + بودرة مينرالية) مع الرابط الاسفلتي. (بدون إضافة الجير المطفأ)

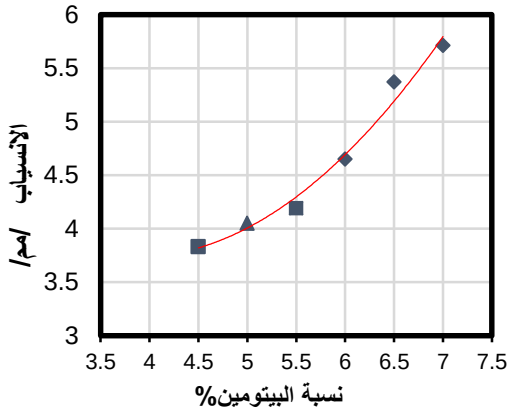
الخلطة الثانية (المعدلة): مكونة من الحصويات المينرالية مع نسبة استبدال جزئية مثالية من الجير المطفأ والرابط الاسفلتي، حيث تم دراسة 3 نسب استبدال جزئية للجير وتحديد النسبة المثلى بينهم.

6-1- تصميم الخلطة الاسفلتية المرجعية:

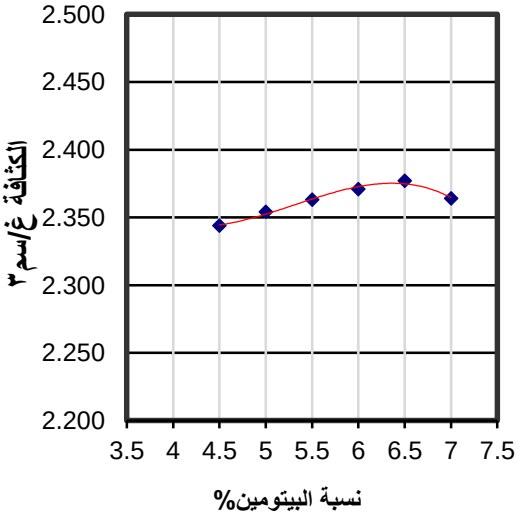
تم تصميم الخلطات الاسفلتية المرجعية بطريقة مارشال، حيث تم رص 3 عينات عند كل نسبة اسفلت من النسب التالية: %(4.5-5-5.5-6-6.5-7) من الوزن الكلي للخلطة، بـ 75 طرقة على كل وجه، تم اخذ الصنف ب من طيقة الاهتراء البيتومينية.



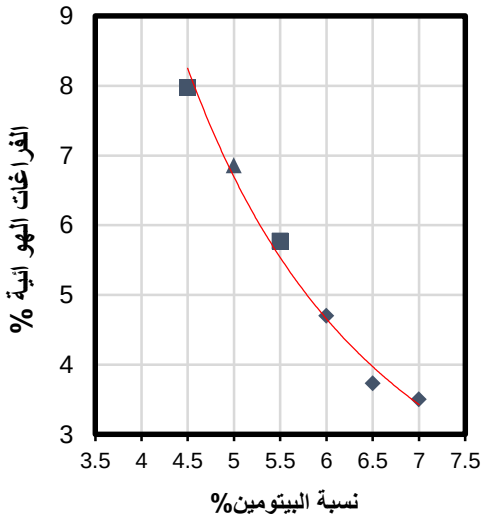
الشكل (2) مخطط الثبات



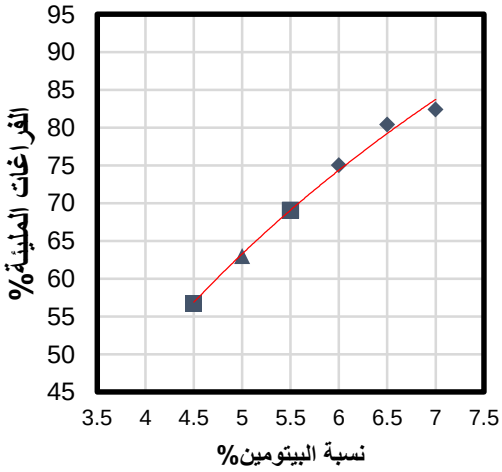
الشكل (3) مخطط الانسياب



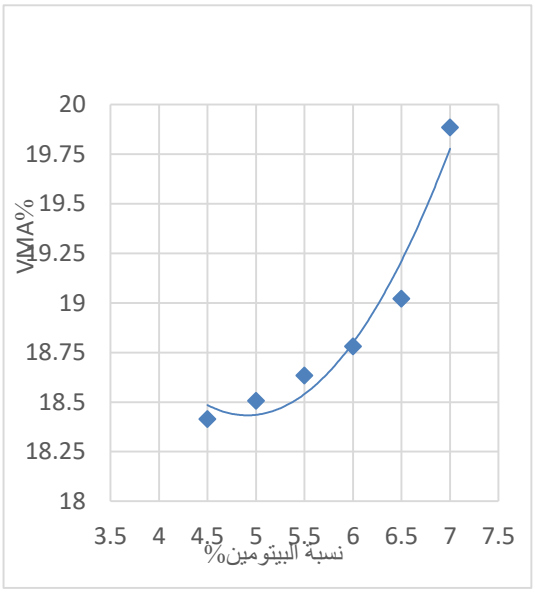
الشكل (4) مخطط الكثافة



الشكل (5) مخطط الفراغات الهوائية



الشكل (6) مخطط الفراغات المليئة



الشكل (7) نسبة الفراغات بين الحصويات

وكانت النتائج كما هو مبين في الجدول (6):

الجدول (6) نتائج الخلطة المرجعية

الخصائص الميكانيكية والحجمية	الخلطة المرجعية	حدود المواصفة
الثبات(kg)	940	حد أدنى 900
السيلان(mm)	4.6	2 – 4
الكثافة(gr/cm^3)	2.35	-
نسبة الفراغات الهوائية (Va%)	5	4 – 6
نسبة الفراغات بين الحصويات min (VMA%)	18.7	14 – 19
نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين (VFA%)	72.5	65 – 85

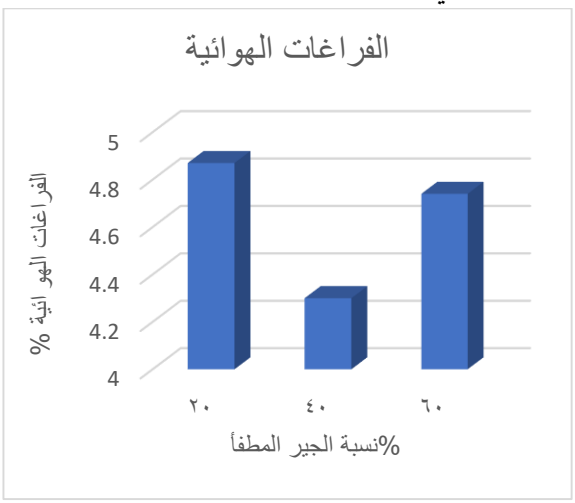
وكانت النسبة المثالية للبيتومين في هذه الخلطة هي: 5.85%

6-2-تحديد نسبة الإضافة المثالية (بودرة الجير المطفأ):

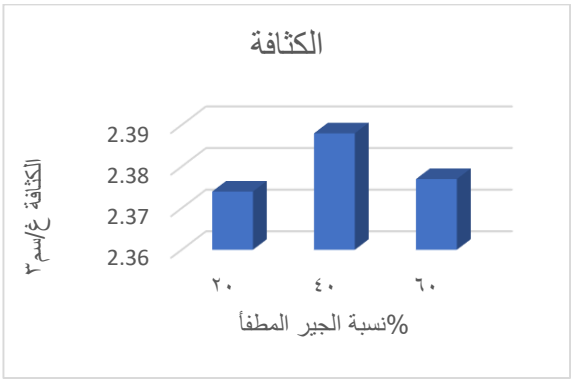
تم تحديد نسبة الإضافة المثالية كنسبة استبدال جزئية من وزن البودرة وفق 3 نسب مدروسة هي (20-40-60)% باستخدام تجربة مارشال، حيث تم إجراء التجربة عند نسبة الاسفلت المثالية التي حصلنا عليها من المرحلة السابقة (5.85%).

الصورة(2) إضافة الجير المطفأ إلى الخلطة الاسفلتية

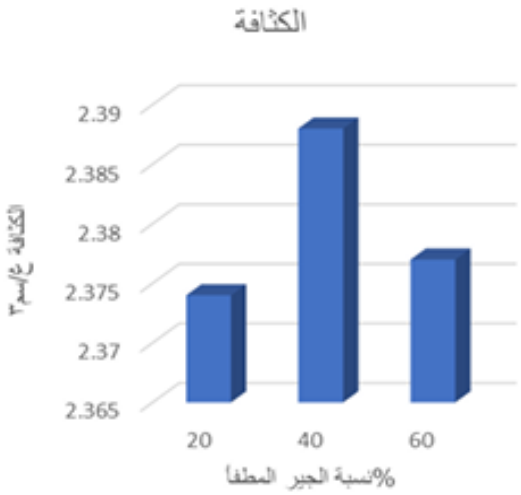
تم رص 3 عينات عند كل نسبة جير مطفأ، وكانت النتائج كما هو مبين في الأشكال (8), (9), (10)



الشكل(8) تغير الثبات بتغير نسبة الجير المطفأ



الشكل (9) تغير نسبة الفراغات الهوائية بتغير نسبة الجير المطفأ



الشكل(10) تغير الكثافة بتغير نسبة الجير المطفأ

بناءً على الأشكال السابقة (8) (9) (10) تم تحديد النسبة المثالية للإضافة (الجير المطفأ) في هذه الخلطة بناء على القيمة التي تعطي أعلى ثبات وأعلى كثافة، وقيمة نسبة فراغات هوائية تقع ضمن المجال المسموح %(4-6) فكانت هي النسبة 2%.

6-3-تصميم خلطة اسفلتية معدلة:

بعد تحديد نسبة البيتومين المثالية للخلطة المرجعية، ونسبة الاستبدال المثالية، تم تصميم خلطة اسفلتية معدلة بالجير المطفأ بنسبة 40% من وزن البودرة بطريقة مارشال، وكانت نسب الاسفلت المدروسة هنا هي:% (5.35-5.85-6.35).

تم رص 3 عينات عند كل نسبة اسفلت مدروسة، بـ75 طرقة على كل وجه.

وكانت النتائج كما هو مبين في الجدول (7).

الجدول (7) نتائج الخلطة المعدلة بالجير المطفأ

الخصائص الميكانيكية والحجمية	الخلطة المعدلة	حدود المواصفة
الثبات(kg)	1184.5	حد أدنى 900
السيلان(mm)	3.25	2 – 4
الكثافة(gr/cm3)	2.387	-
نسبة الفراغات الهوائية (Va%)	4.2	4 – 6
نسبة الفراغات بين الحصويات (VMA%)	18.1	14 – 19
نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين (VFA%)	77.2	65 – 85

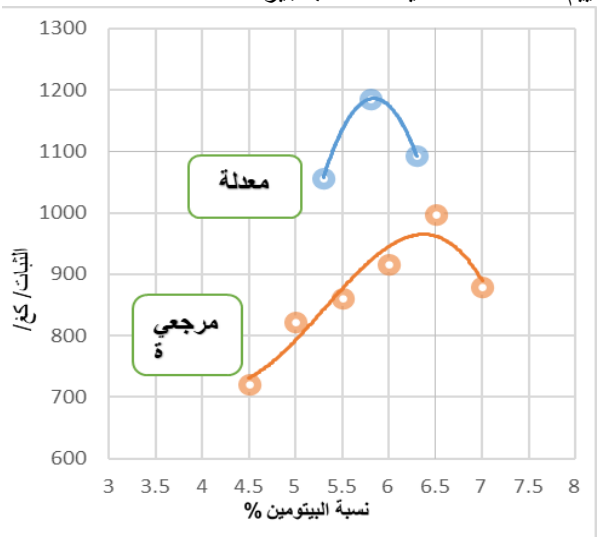
تم تحديد النسبة المثالية للبيتومين في هذه الخلطة فكانت: 5.9%

وبمقارنة نسبة البيتومين في الخلطة المرجعية 5.85% مع نسبة البيتومين في الخلطة المعدلة 5.9%، نجد أن استخدام الجير المطفأ بنسبة 40% من وزن البودرة كبديل جزئي عن البودرة المينرالية في الخلطة الاسفلتية لطبقة الاهتراء لم تؤثر بشكل ملحوظ على نسبة البيتومين المثالية.

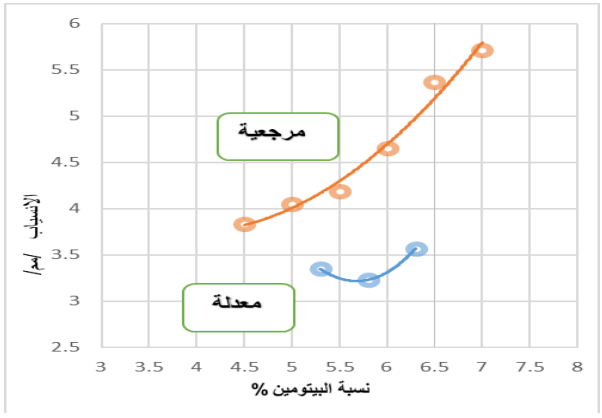
6-4-دراسة تأثير إضافة الجير المطفأ على خواص الخلطة الاسفلتية:

6-4-1-خصائص مارشال:

بعد تصميم الخلطة المعدلة تمت دراسة تأثير إضافة الجير المطفأ بنسبة 2% على خصائص الخلطة الاسفلتية كما هو مبين في الأشكال (14) (13) (12) (11):

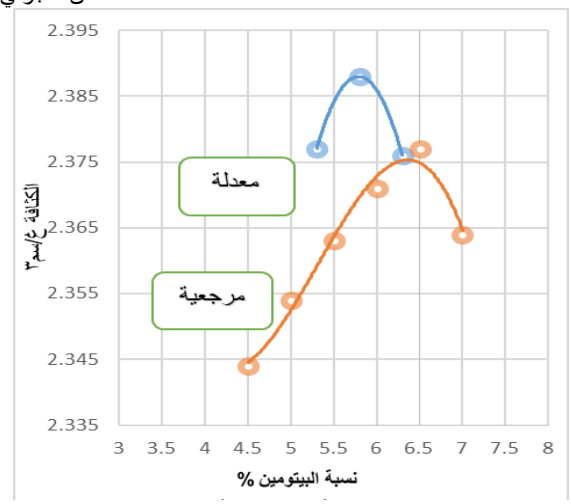


الشكل(11) تغير الثبات بتغير نسبة الجير المطفأ

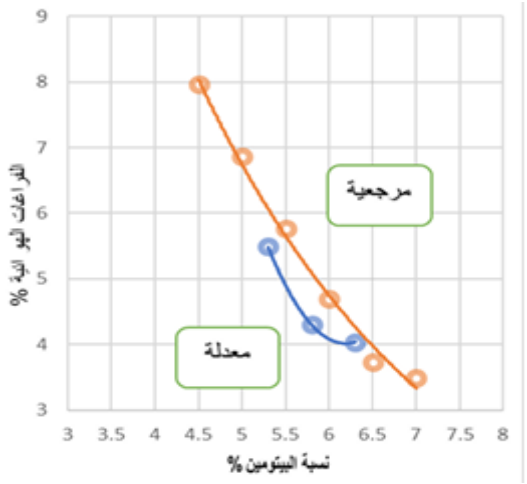


الشكل(12) تغير الانسياب بتغير نسبة الجير المطفأ

– يبين الشكلين (11)، (12) مقارنة بين ثبات وسيلان مارشال للخلطة الاسفلتية المرجعية، وثبات وسيلان مارشال للخلطة الاسفلتية المعدلة، حيث نجد زيادة في قيمة الثبات في الخلطة المعدلة بالجير المطفأ بنسبة 26%، وانخفاض في قيمة الانسياب بنسبة 30%، ويمكن تفسير ذلك بسبب ترسب الجير المطفأ على سطح الحصويات، حيث عمل على تخشين سطح الحصويات مما زاد التماسك بين الحصويات والاسفلت.



الشكل(13) تغير الكثافة بتغير نسبة الجير المطفأ

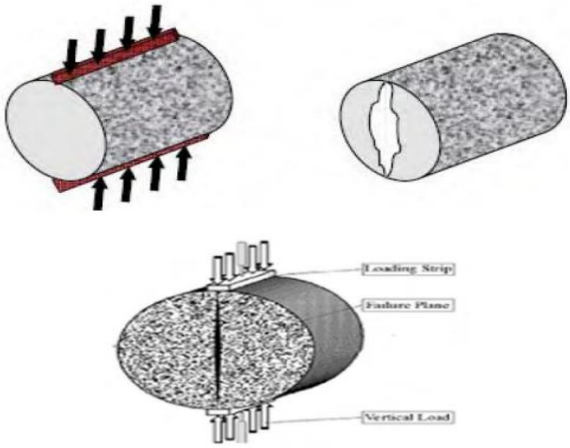


الشكل(14) تغير نسبة الفرغات الهوائية بتغير نسبة الجير المطفأ

– يبين الشكلين (13)، (14) ان استخدام الجير المطفأ ادى الى نقصان في نسبة الفراغات الهوائية بمقدار 14% (ولكنها بقيت ضمن الحدود المسموحة 4-6%)، الأمر الذي نتج عنه تحسن في قيمة الكثافة.

6-4-2-المقاومة على الشد غير المباشر ITS (EN 12697-23):

تم إجراء اختبار الشد غير المباشر على عينات مارشال باستخدام جهاز مارشال مع رأس الكسر الموضح بالشكل 14)



الشكل (15) أشكال توضح إجراء تجربة الشد غير المباشر

وتم حساب المقاومة على الشد باستخدام العلاقة:

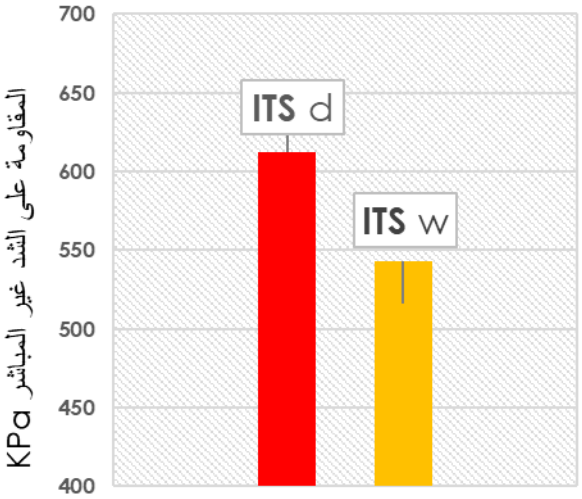
$$ITS = (2 * P)/(D * H * \pi)$$

p: أقصى تحميل عند الانهيار بالـ (N)، H: ارتفاع العينة بالـ (mm)، D: قطر العينة بالـ (mm).

الصورة (3) صور لتجربة ITS (حيث تم اجراء التجارب بمخبر الطرق في كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق)

ITS_ω: المقاومة على الشد غير المباشر في الحالة الرطبة.

ITS_d: المقاومة على الشد غير المباشر في الحالة الجافة.- بينت النتائج أن الفرق بين قيمتي المقاومة على الشد غير المباشر للخلطة المعدلة في الحالتين الرطبة والجافة كان بنسبة % 11 كما هو موضح في الشكل (16).



الشكل (16) يوضح تغيرات (ITS) للعينات الاسفلتية المعدلة في الحالتين الرطبة والجافة

6-4-3-دراسة حساسية الخلطة المعدلة للغمر بالماء TSR (AASHTO T 283):

تمت دراسة حساسية الخلطة عن طريق تشكيل 6 عينات، حيث تركت العينات في جو المخبر لمدة يوم كامل، ثم تم اختبارها على جهاز الشد غير المباشر، حيث تم كسر هذه العينات على مرحلتين:

(3) عينات تم وضعها في حمام مائي لمدة ساعتين بدرجة حرارة 25 ºC، ثم تم اختبارها على جهاز الشد غير المباشر.

(3) عينات غمرت في حمام مائي لمدة يوم كامل، بدرجة حرارة 40 ºC، ثم تم اختبارها على جهاز الشد غير المباشر.

تم حساب حساسية الخلطة المعدلة للغمر بالماء باستخدام العلاقة:

$$TSR = S\omega / Sd$$

Sd(kPa) = متوسط المقاومة على الشد غير المباشر للعينات في الحالة الجافة

S(kPa) = متوسط المقاومة على الشد غير المباشر للعينات في الحالة الرطبة

الجدول (8) نتائج تجربة المقاومة على الشد غير المباشرITS للخلطة المعدلة بالجير المطفأ

Lime %	ITS d (kPa)	ITS w (kPa)	TSR %
40	612.315	542.993	88.68

أظهـرت النتـائج أن قيمــة TSR للخلطــة المعدلــة تحقـق المواصفة (AASHTOT283) حيث >%80TSR=88.68%.

6-4-4 دراسة تأثير الجير المطفأ على صلابة مارشال للخلطة الاسفلتية:

تم حساب صلابة مارشال(Marshall Quotient) MQ لكل من الخلطتين المرجعية والمعدلة بالجير المطفأ بنسبة 40% من وزن البودرة لدراسة مدى تأثير إضافة الجير المطفأ على مقاومة الخلطة الاسفلتية.

حيث تم حساب الصلابة وفق المواصفة (BS EN 12697-34:2004) من العلاقة التالية:

الصلابة=

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

وكانت القيم كما هو مبين في الجدول(9)

الجدول (9) صلابة مارشال للخلطة المرجعية والمعدلة

الخلطة المرجعية	الخلطة المعدلة
2.04KN/mm	3.67KN/mm

من الجدول (9) نجد أن إضافة الجير المطفأ بنسبة 40% من وزن البودرة إلى الخلطة الاسفلتية أعطى صلابة أعلى بنسبة80%

مقارنـة بالخلطـة الاسفلتية المرجعيـة، وهـذا يفيـد فـي مقاومـة الطرق على التخدد والتشوهات الدائمة.

9- النتائج:

1. بلغت قيمـة النسبة المثاليـة لإضـافة الجير المطفأ للخلطـة الاسفلتية لطبقـة الاهتراء عند منتصـف المجـال للتدرج الحبـي الثاني في هذا البحث 40%.
2. تعديل الخلطـة الاسفلتية بالنسبة 40% للجير المطفأ من وزن البودرة أدى إلى:

تحسين قيمـة الثبات بنسبة 26%، وتخفيض قيمـة الانسياب بنسبة 30%، وتخفيض نسبة الفراغات الهوائية بمقدار 14%.

3. لم تتأثر نسبة البيتومين المثالية بشكل ملحوظ عند اضافة الجيـر المطفـأ كنسـبة اسـتبدال جزئيـة مـن البـودرة المينراليـة بنسبة 40% من وزن البودرة.
4. الخلطـة الاسفلتية المعدلـة بـالجير المطفأ أعطـت صـلابة MQ أعلى من الخلطة المرجعية بنسبة 80%.

8-التوصيات:

أولاً: نوصـي باستخدام الجير المطفأ لتحسين كـلاً من الخصـائص الميكانيكية والحجمية للخلطة الاسفلتية، ومقاومتها للرطوبة.

ثانيا: دراسة نسب أخرى من الجير المطفأ.

ثالثـا: دراسـة تـأثير عامـل الـزمن علـى الخلطـات الاسـفلتية المعدلة بالجير المطفأ.

التمويـل: هـذا البحـث ممـول مـن جامعـة دمشـق وفـق رقـم التمويل(501100020595).

References:

1. المواصفات القياسية السورية لأعمال الطرق والجسور (2002). سوريا.

2. زيدان، عبدالله.(2017).فوائد إضافة الجير إلى الخلطات الاسفلتية الساخنة. رسالة ماجستير، قسم هندسة النقل ومواد البناء، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق. قاعدة بيانات مديرية البحث العلمي.

3. محمود، مجد. (2017). تأثير المعالجة بالكلس المطفأ على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات الخرسانية المعاد تدويرها. رسالة ماجستير، قسم هندسة النقل ومواد البناء، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق. قاعدة بيانات مديرية البحث العلمي.

4. Al-Sayed M, Madany I, Khaja W & Darwish A. (1992). Properties of Asphaltic Paving Mixes Containing Hydrated Lime Waste. Bahrain.

5. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). AASHTO Guide For Design Of Pavement Structures, 1993. Vol. 1. Washington: United State. P: 600.

6. American Society For Testing And Materials (ASTM). (2015). ASTM Standards- Specifications. West Conshohocken: United State. ASTM International.

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

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

9. Hydrated Lime A Proven Additive For Durable Asphalt Pavement. (2011). Report to the European Lime Association - Asphalt Task Force.

10. Little, Dallas & Epps, Jon. (2006). The Benefits of Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt. National Lime Association, USA.

11. Ismael, Mohammed. (2019). Effect of Hydrated Lime on Moisture Susceptibility of Asphalt Mixtures. Baghdad.

12. Kakade V, Amarantha Reddy M & Sudhakar Reddy K. (2016). Effect of aging on fatigue performance of hydrated lime modified bituminous mixes. India.

13. Kollaros, George. (2017). Using Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt Mixtures in Road Construction. Greece.

14. Ogundipe, Olumide. (2016). Marshall Stability and flow of lime-modifier asphalt concrete. Ekite State University, Negeria.