Producing Hot Asphalt Mixtures Using The Natural Asphalt Of Kfaria

Dr. Bassm Sultan*
Inaam Ahmad**

(Received 15 / 6 / 2023. Accepted 16 / 7 / 2023)

□ ABSTRACT □

The research aims to study the possibility of modifying hot asphalt mixtures using the natural asphalt found in the Kfaria quarry in Lattakia city, with the objective of utilizing the abundant deposits of natural asphalt estimated theoretically at 50 million tons, considering the high cost of petroleum-derived bitumen. The experimental program for this research included the use of bitumen (60-70) with aggregate particles and the addition of a surface asphalt as a modification to the asphalt mixture. The materials used in the design of asphalt mixtures were described, and the necessary experiments were conducted on them to determine the optimal bitumen content according to the Marshall method for the reference mixture. After that, bitumen mixtures were prepared with different percentages of surface asphalt (30%, 40%, 50% of the total mixture weight) along with varying percentages of petroleum asphalt (2%, 2.5%, 3%, 3.5%, 4%) for each mixture. The results showed that replacing 50% of the natural aggregates with Kfaria asphalt met the technical requirements for hot bitumen mixture grade (B). It achieved a stability of 1070 kg, a flow value of 2.4mm, and a density of 2.275 gr/cm3. The optimal asphalt content was determined to be 2.65 according to Marshall Design.

Keywords: Natural asphalt, natural asphalt-modified hot mixture, Bitumen binder, natural asphalt mixtures, Marshall Design.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Professor - Tishreen University- Dep. Of Transport& Traffic Engineering- Lattakia- Syria.**
** **Master Student - Tishreen University- Dep. Of Transport& Traffic Engineering- Lattakia- Syria- mahasen.an1234@gmail.com**

تصميم خلطات إسفلتية حارة HMA باستخدام إسفلت كفرية الطبيعي

د. بسام سلطان*

انعام غسان احمد **

(تاريخ الإيداع 15 / 6 / 2023. قُبِل للنشر في 16/ 7 / 2023)

□ ملخّص □

يهدف البحث إلى دراسة إمكانية تعديل الخلطات البيتومينية الحارة باستخدام الإسفلت الطبيعي الموجود في مقلع كفرية في مدينة اللاذقية، وذلك بهدف الإستفادة من التوضعات الهائلة للإسفلت الطبيعي المقدرة نظرياً ب 50 مليون طن في ظل ارتفاع تكلفة الرابط البيتوميني الناتج عن تكرير النفط.

شمل البرنامج الاختباري لهذا البحث استخدام البيتومين (60-70) مع حصويات حِسْية وإضافة إسفلت كفرية كتعديل على الخلطة البيتومينية.

تم توصيف المواد الداخلة في تصميم الخلطات البيتومينية، وإجراء التجارب اللازمة عليها وتحديد نسبة البيتومين المثالية وفق مارشال للخلطة المرجعية، وبعد ذلك قمنا بتحضير خلطات بيتومينية بنسب مختلفة من إسفلت كفرية (30، 40، 50)% من وزن الخلطة، مع نسب مختلفة من البيتومين النفطي (2، 2.5، 3، 3.5، 4) لكل خلطة.

وأظهرت النتائج أن استبدال 50% من الحصويات الطبيعية بإسفلت كفرية قد حقق المتطلبات الفنية للخلطة البيتومينية الحارة صنف (ب) ... وحقق ثباتاً قدره 1070 kg وانسياباً قدره 2.4 mmوكثافة بمقدار 32.275 gr/cm ، وكانت النسبة المثالية للبيتومين هي 2.65 وفق تصميم مارشال.

الكلمات المفتاحية: الإسفلت الطبيعي، الخلطات الإسفلتية الحارة، تصميم مارشال، الخلطات الإسفلتية المعدلة بالإسفلت الطبيعي.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* **أستاذ - قسم المواصلات والنقل- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.**

** **طالبة ماجستير - قسم المواصلات والنقل- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.**

.mahasen.an1234@gmail.com

مقدمة:

عُرفت المواد البيتومينية منذ القدم، واستخدمت في إنشاء الطرق وموانع للرشح للجدران والسطوح، وكان المصدر الوحيد للمواد البيتومينية الصخور الكلسية والرملية المتشربة بالبيتومين والبحيرات كما في جزر برمودا وترينداد المحاذية لشواطئ فنزويلا. وتعتبر سوريا من الدول الغنية بالإسفلت الطبيعي حيث يتواجد الإسفلت في مكمنين رئيسيين : الأول في كفرية شرق مدينة اللاذقية بـ 40 كم على اوتستراد اللاذقية – حلب. ويتألف الإسفلت في هذا المكمن من صخور كلسية وغضارية، وكلسية متشربة بالبيتومين بنسبة وزنية وسطية حوالي 12% ويقدر الاحتياطي النظري من صخور الإسفلت في المكمن بـ 50 مليون طن والاحتياطي العملي 18 مليون طن . أما المكمن الثاني في جبل البشري بمنطقة دير الزور، وهو عبارة عن رمال كوارتزية متشربة بالبيتومين.

حتى تاريخه لم يتم الاستثمار الأمثل لتلك المادة في صناعة الخلائط البيتومينية الحارة في بلادنا.

في بحثنا هذا تمت دراسة امكانية صناعة مجبولات بيتومينية حارة يعمل فيها إسفلت كفرية الطبيعي معدلاً لمواد الخلطة البيتومينية الحارة الأساسية (بيتومين–حصويات) .

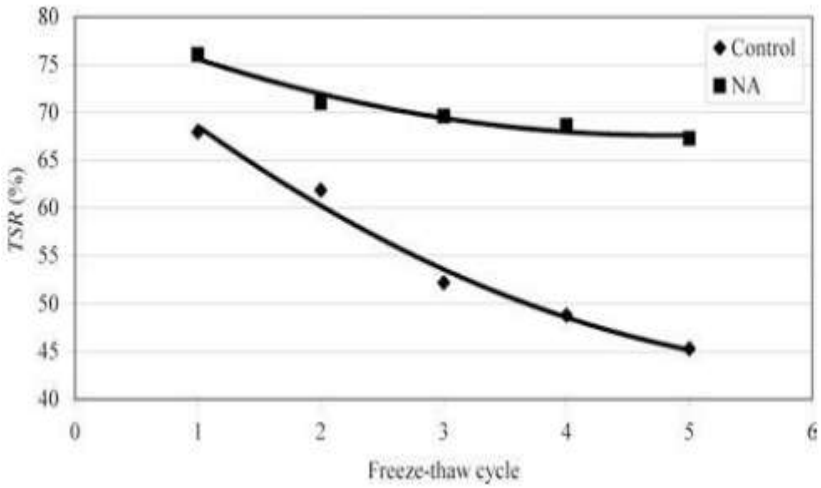
وكما نعلم أن الخلائط البيتومينية الحارة (HMA) تتكون من الحصويات والمواد الرابطة البيتومينية والفراغات الهوائية. وتشكل الحصويات الهيكل العظمي لتلك الخلائط حيث يعمل البيتومين كرابط لهذه الحصويات، نسبة الحصويات في الخلطة الإسفلتية الحارة HMA هي (94–96) ٪ ونسبة الرابط حوالي 4٪ –6٪ وزنا [1]. ورغم نسبة البيتومين وصلابته المنخفضة مقارنةً بالحصويات في HMA ، فإنه يلعب دوراً كبيراً في سلوك الخلطة البيتومينية، وبكلفة أعلى من 7 إلى 8 مرات من إجمالي الخليط مع الازدياد المستمر السعر العالمي .

في العام 2010 قام مجموعة من الباحثين (Kök et al, 2010) في جامعة فرات التركية بتقييم استخدام الإسفلت الطبيعي المنشأ في الخلطات الإسفلتية الحارة عن طريق تحديد استقرار مارشال، معامل الصلابة، والشد غير المباشر، واختبارات الزحف الديناميكي، ووفقاً للباحثين فالإسفلت الطبيعي NA المستخدم والذي تم الحصول عليه من سورية يتكون من 17% إسفلت و 83% حصويات.

تم استبدال NA بجزء من الحصويات في الخلائط المعدلة لأن NA يتكون من حصويات بين رقم 50 ورقم 200. تم استخدام البيتومين B 160/220 أيضًا في خلائط NA لأن NA وحده لم يكن كافياً للحصول على خليط الإسفلت المناسب. تم تصميم خليط الإسفلت وفقًا لإجراءات تصميم خلطة مارشال القياسية بعينات بقطر 10.16 سم وارتفاع 6.35 سم .تم تحديد محتوى الرابط البيتوميني الأمثل بنسبة 5.0٪ للخلطة المرجعية و 4.0٪ لخلائط NA.

و وفقًا لتصميم خلائط مارشال، تم تحديد محتوى البيتومين الأمثل ليكون أقل بنسبة 1٪ للخلائط المعدلة NA مقارنةً بالخلطة المرجعية. وبالتالي فإن الانخفاض في محتوى البيتومين الأمثل يضمن توفيرًا كبيرًا بسبب ارتفاع سعر البيتومين.

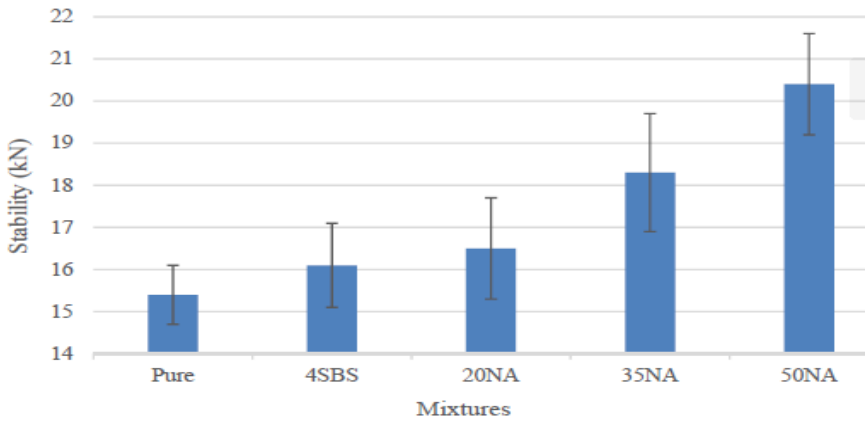
وأشارت نتائج اختبار قوة الشد غير المباشر الشكل (1) إلى أنه بينما يتناقص (Indirect tensile strength ratios) TSR للخلطة المرجعية بشكل حاد مع دورات التجميد والذوبان المتتالية ، فإن TSR للخليط المعدل بـ NA يتناقص بشكل أبطأ مع دورات التجميد والذوبان المتتالية.



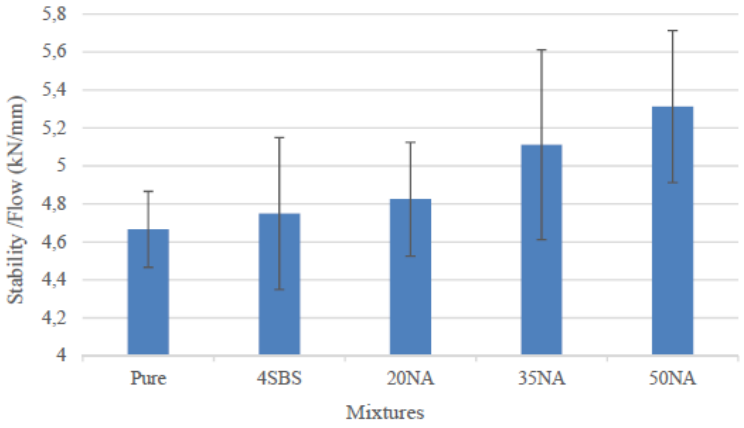
الشكل (1) نسب مقاومة الشد غير المباشر للخلائط

يتطلب المعدل المتزايد لحركة المرور زيادة استقرار جسم الطريق وتحسين خصائصه لتحمل درجات الحرارة المنخفضة والعالية وخاصة لطبقة الاهتراء والتغطية، وغالبًا ما يتم تعديل المادة الرابطة في الخليط باستخدام البوليمرات المختلفة، ويعد البوليمر الأكثر استخدامًا في تعديل الروابط البيتومينية هو ستيريني بوتادين– ستيرين (SBS)، ومع ذلك فإن SBS حقق نجاحاً للغاية في تحسين الخصائص الميكانيكية للخلائط، ولكن هذه الإضافات باهظة الثمن ولذلك اتجه مجموعة من الباحثين في العام 2019 في تركيا لدراسة خصائص الإسفلت الطبيعي (NA) لاستخدامه كمادة مضافة، وفي هذه الدراسة تم الحصول على الإسفلت الطبيعي من منطقة زاهو في العراق واستخدمت نسب الاضافة 20%و 35% و 50% من وزن الرابط البيتومينى، وتم استخدام البيتومين B160/220 في الخلطة.

تحسنت الخصائص الميكانيكية للخلائط المعدلة بنسب مختلفة من NA مقارنة مع الخلطات المعدلة ب 4% SBS بشكل كبير، وأظهرت الخلائط المعدلة أداءً فائقًا من خلال مقاومة تأثير تكرار الأحمال، وكانت النسبة المثالية للتعديل هي 17.3% من وزن الرابط البيتومينى، وأظهر سلوكًا مشابهًا مع نسبة تعديل للرابط البيومينى باستخدام البوليمير SBS بنسبة 4 % وحققت الكفاءة الميكانيكية والاقتصادية، وبالنظر باختبارات مارشال نلاحظ أن النسبة 17.3% تحقق أعلى نسبة للثبات والانسياب كما هو موضح بالشكلين (2) و (3).



الشكل (2) ثبات مارشال لنسب الخلط والخلطة المرجعية



الشكل (3) الانسياب وفقاً لمارشال للخلائط المعدلة والخلطة المرجعية

الإشكالية (The problem):

تتجلى اشكالية البحث بإمكانية الاستفادة من التوضعات الهائلة للصخر الإسفلتي الطبيعي في منطقة كفرية – يقدر الاحتياطي الموجود بـ 50 مليون طن– وإمكانية استثمارها بإنتاج خلائط إسفلتية حارة بكلفة أقل في ظل عدم توفر الإسفلت ناتج تكرير النفط بالإضافة إلى ارتفاع كلفته، علماً أن المادة الخام المنتجة من المقلع تستثمر حالياً في حدود ضيقة تقتصر على تصنيع أقراص المعجون الإسفلتي لعزل الأسطح البيتونية عزلاً مائياً و يستخدم المطحون الإسفلتي (الغرافيون) لفرش الطرقات الزراعية والثانوية من الدرجتين الثالثة والرابعة على البارد.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث بشكل رئيسي إلى:

1. صناعة خلطات بيتومينية حارة (HMA) بإضافة إسفلت كفرية الطبيعي محققة لمتطلبات طبقة التغطية من المجبول البيتوميني.
2. تحديد النسبة المثلى من البيتومين ناتج تكرير النفط لاستخدامها في صناعة خلطات إسفلتية طبيعية حارة.
3. تحديد النسب المثالية لإسفلت كفرية الطبيعي في الخلطات البيتومينية الحارة (HMA).

طرائق البحث ومواده:

إن طرق التصميم بصورة عامة تعتمد على إعطاء توازن بين العناصر الحصوية والمواد الإسفلتية بشكل يمكن فيه أن تعطي نتائج مرضيه للمتطلبات الأساسية الأربعة بشكل عام، وللثبات والديمومة بشكل خاص.

واستخدمنا في هذا البحث التصميم بطريقة مارشال، إن هذه الطريقة تعتمد على العمل المخبري في تحضير العينات، ولكن قبل البدء بتجربة مارشال يجب تعيين ميزات مختلف العناصر الداخلة في تركيب الخلطة الإسفلتية، فالمواد الحصوية يجب أن تكون جافة، وأن يكون تركيبها الحبي ضمن الحزمة النظامية، كما أن الوزن النوعي الحجمي يجب أن يكون محدداً لكافة العناصر الحصوية بدءاً من العناصر الناعمة وانتهاءً بالعناصر الخشنة، كما أن الوزن النوعي للإسفلت المستعمل يجب أن يكون معروفاً.

استخدمنا في هذا البحث البيتومين النفطي صنف (60–70) وحصويات طبيعية مصدرها مدينة حسياء، بالإضافة إلى إسفلت طبيعي مصدره مقلع كفرية في مدينة اللاذقية.

منهجية البحث:

المرحلة الأولى:

توصيف المواد المستخدمة في صناعة هذه الخلطة للتحقق من مطابقتها للمواصفات المعمول بها، بحيث يكون توصيف كل مادة على حدا، حيث تم توصيف كل من البيتومين (60–70) والتحقق من الصنف ونقطة التميع ونقطتي الوميض والاشتعال، ثم تحديد التركيب الحبي الخاص بخلطات الاهتراء الإسفلتية واجراء اختبارات الاهتراء وفق لوس انجلوس والمكافئ الرملي وتحديد الأوزان النوعية.

نتائج توصيف البيتومين:

تم استخدام نوع واحد من البيتومين في تصميم عينات الدراسة وهو البيتومين (60–70) الذي تم الحصول عليه من مصفاة بانياس، وإعداد العينات على أجزاء بأوعية بأحجام صغيرة كافية لاحتواء كمية البيتومين اللازم لتحضير العينات لكل مجموعة من التجارب المخبرية، ونبين في الجدول (1) نتائج توصيف عينات البيتومين وفق المواصفات الفنية للجسور والطرق المعتمد في سوريا 2002 ومواصفات ASTM.

الجدول (1) خصائص البيتومين

نوع الاختبار	نتائج الاختبار	المتطلبات الفنية وفق ASTM D946
الغرز بالدرجة 77F(25C°)100g,5s	65.0	60-70
الوميض والاشتعال F (Cleveland cup open)(C°)	260,290C°	min 450(232 C°)
الممطولية 77F(25C°)5cm/min,cm	130.0	min 100.0
الذوبان في (Trichloroethylene)%	99.9	min 99.0
Retained penetration after thin-film oven test,%	60.0	min 52.0
الممطولية بعد الفاقد بالطبقة الرقيقة 77F(25C°)5cm/min,cm	90.0	min 50.0
الوزن النوعي (25°C)	1.03	1.01–1.03

من نتائج الجدول (1) نجد أن البيتومين المستخدم في الدراسة هو من الصنف (60–70) وهو محقق للمتطلبات الفنية المنصوص عليها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل العام2002.

نتائج توصيف الحصويات:

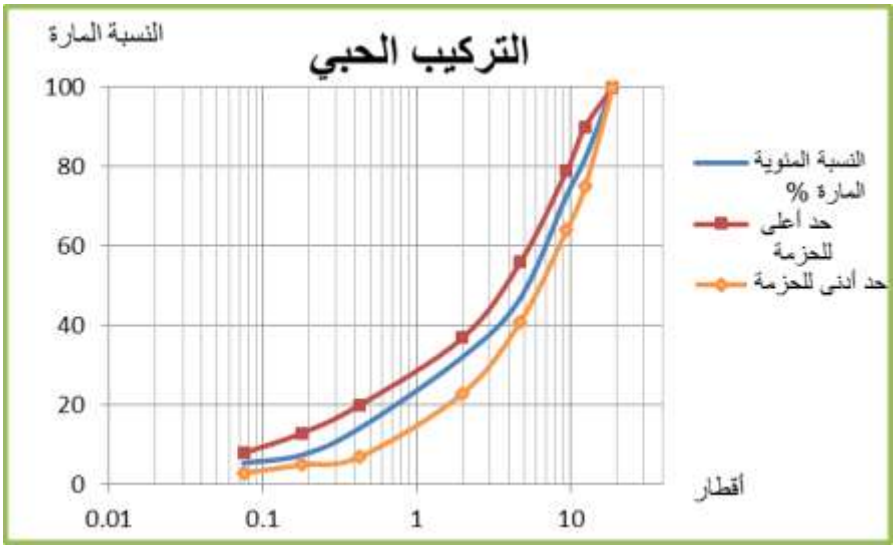
الحصويات المستخدمة في تصميم الخلطات الإسفلتية هي حصويات كلسية قاسية مكسرة والتي لايزيد قطر الحبة عن 19 mm، وهي حصويات مصدرها مدينة حسياء.

نتائج اختبار التركيب الحبي:

بعد اجراء اختبار التركيب الحبي على احضارات الحصويات الخاصة بالخلطة الإسفلتية تم تصميم التدرج الحبي المحقق للحزمة، ونبين في الجدول (2) النسب المئوية المارة للمزيج المقترح والحزمة النظامية المعتمدة في الدراسة، كما نبين في الشكل (4) منحني التركيب الحبي لعينة الحصويات المستخدمة في الدراسة.

الجدول(2) النسب المئوية المارة للمزيج المقترح والحزمة النظامية المعتمدة في الدراسة

أقطار المناخل mm	رقم المنخل Sieve No.	بحص خشن 25%	بحص متوسط 25%	رمل حسية 30%	رمل نبكي 20%	النسبةالمئوية المارة %	الحزمة النظامية
19	3/4"	100	100	100	100	100	100
12.5	1/2"	43	100	100	100	82.0	90–75
9.5	3/8"	8.2	80	100	100	72.8	79–64
4.75	No.4	0.8	5	95	75.5	47.0	56–41
2	No.10	0.8	1.5	78.2	45.2	32.2	37–23
0.425	No.40	0.8	1.5	28.3	25	14.2	20–7
0.180	No.80	0.8	1.5	14	16.3	7.5	13–5
0.075	No.200	0.8	1.5	10	12	5.5	8–3



الشكل(4) منحني التركيب الحبي لعينة الحصويات المستخدمة في الدراسة

نورد في الجدول (3) النتائج التي حصلنا عليها من اختبار الحصويات.

الجدول (3) نتائج اختبارات الحصويات:

الاختبار	نتائج الاختبار	المواصفة السورية
فاقد الاهتراء وفق لوس أنجلوس (%) **Los Angeles abrasion**	24.7	ASTM C 131
المكافئ الرملي (%) **Sand Equivalent**	75	ASTM D 2419
حدود أتربرغ(%)	**NP**	
الوزن النوعي للحصويات الخشنة	2.682	ASTM C127
الوزن النوعي للحصويات الناعمة	2.585	ASTM C128
الوزن النوعي الكلي الفعال للحصويات	2.633	

نلاحظ من الجدول أن الحصويات المستخدمة في تصميم الخلطة الإسفلتية محققة للمواصفات الفنية المنصوص عليها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل العام 2002.

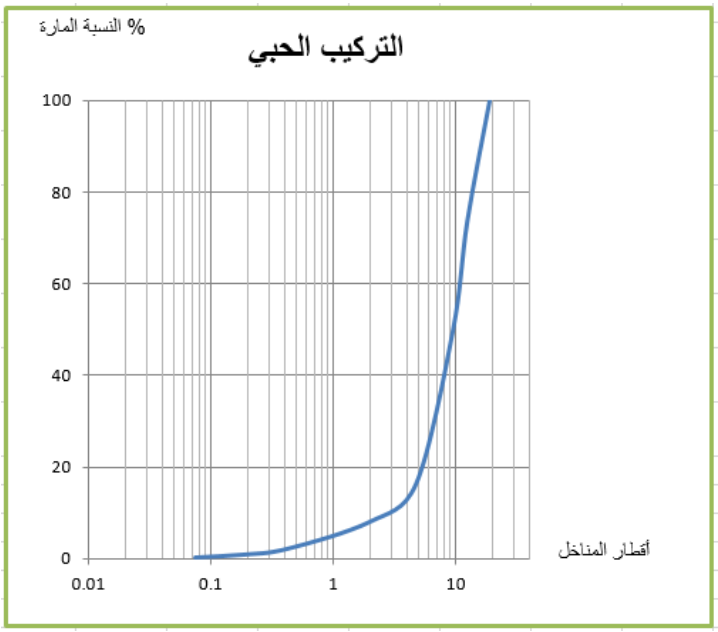
نتائج توصيف إسفلت كفرية:

- نتائج التحليل الحبي لإسفلت كفرية:

قمنا باجراء اختبار التحليل الحبي على عينة جافة من الغرافيون. نبين في الجدول (4) نتائج التحليل الحبي وفي الشكل (5) منحني التحليل الحبي لعينة إسفلت كفرية المستخدمة في الدراسة.

الجدول (4) نتائج التحليل الحبي لإسفلت كفرية

أقطار المناخل mm	رقم المنخل Sieve No.	النسبةالمئوية المارة %
19	3/4"	100
12.5	1/2"	73.8
9.5	3/8"	49.6
4.75	No.4	16.2
2	No.10	8
0.425	No.40	2.1
0.180	No.80	0.8
0.075	No.200	0.2



الشكل(5) منحني التركيب الحبي لعينة إسفلت كفرية المستخدمة في الدراسة

محتوى البيتومين:

قمنا بإجراء اختبار استخلاص البيتومين بجهاز حرق البيتومين في مخبر المواصلات لتحديد محتواه من الإسفلت وكانت النتيجة هي 11.8 وهي قيمة قريبة جداً من القيم التي تم رصدها في أكثر من عينة تم تحليلها في مخابر الجامعة أو في المخابر الأخرى. والتي كانت غالباً بحدود الـ 12%.

تجربة الوزن النوعي:

قمنا بإجراء تجربة الوزن النوعي لإسفلت كفرية الطبيعي، والجدول (5) يبين نتائج التجربة:

الجدول(5) الوزن النوعي لإسفلت كفرية

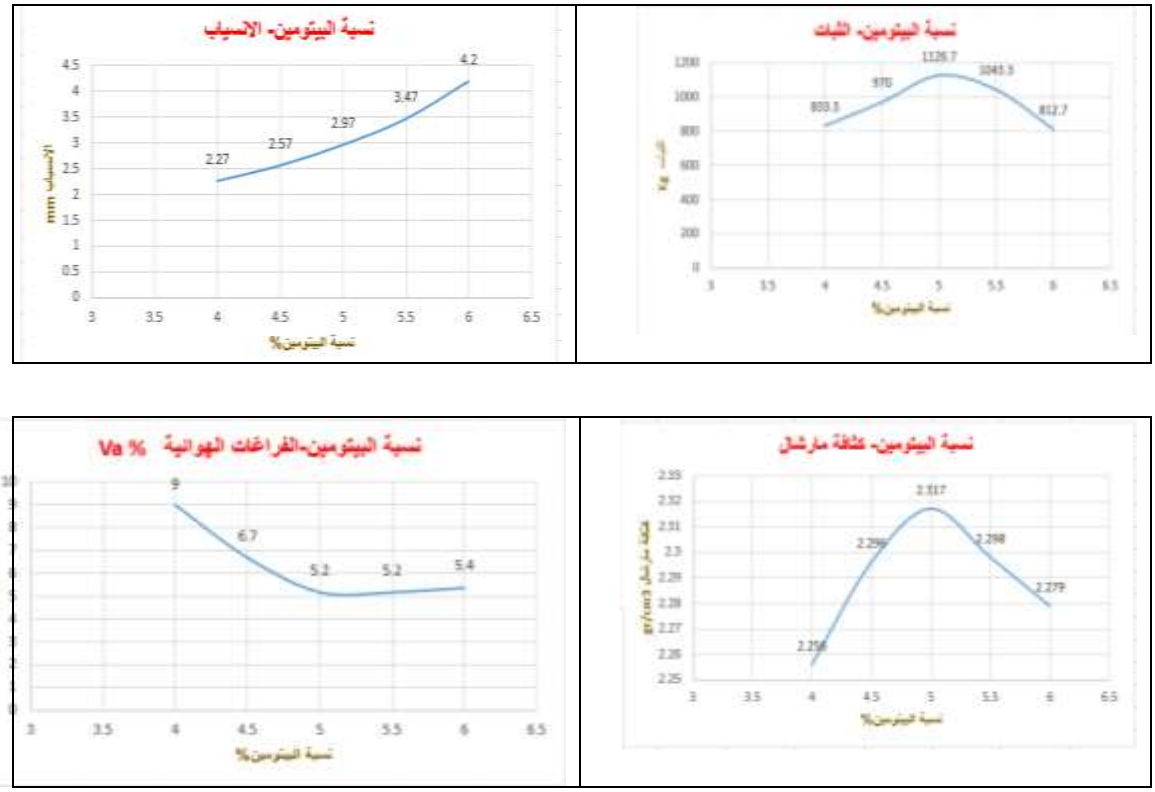
Gsb: الوزن النوعي الكلي	2.044
Gssd: الوزن النوعي الكلي المشبع جاف السطح	2.086
Gsa: الوزن النوعي الظاهري	2.134
Gse: الوزن النوعي الفعال	2.089
الامتصاص % Absorption	1.35

<u>المرحلة الثانية:</u>

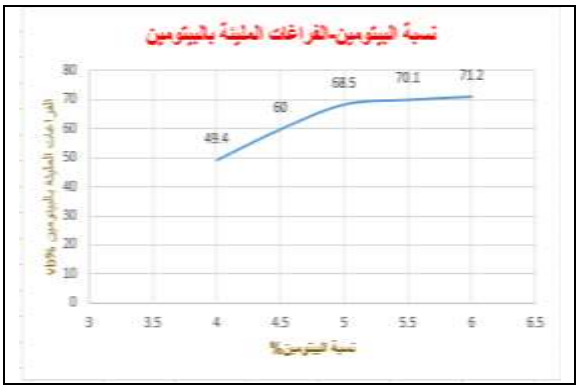
تصميم الخلطة المرجعية وفق مارشال:

بعد التسخين إلى درجة الحرارة اللازمة لتغليف كامل الحصويات بالإسفلت تم إضافة الرابط الإسفلتي المسخن بالنسب التالية وزناً (% 6.0 –5.5 –5.0 –4.5 –4.0)، وإعداد ثلاث قوالب من قوالب مارشال لكل نسبة وفق المتطلبات الفنية لطريقة مارشال بحيث يتم تشكيل 15 قالب ب /75/ طرقة على كل وجه، وبعد نزعها، يتم غمر عينات الخلطة الإسفلتية المرصوصة بحمام مائي لمدة (30min) وعند درجة حرارة $60^{\circ}C$، ثم تم تحديد كثافتها وكلاً من الثبات والانسياب وكافة عناصر مارشال، ثم تم رسم منحنيات مارشال وتم تحديد نسبة الإسفلت على كل منحن والمحققة

للكثافة العظمى والثبات الأعظمي ومتوسط المتطلبات الفنية للانسياب والفراغات الهوائية والفراغات المليئة بالإسفلت، وتم تحديد نسبة الإسفلت المثالية المحققة للمتطلبات الفنية لطبقة المجبول الإسفلتي، ونبين في الشكلين(6) و(7) منحنيات مارشال للخلطة المرجعية:



الشكل (6) منحنيات مارشال للخلطة المرجعية



الشكل (7) منحنيات مارشال للخلطة المرجعية

من منحنيات مارشال نجد أن نسبة الإسفلت المثالية التي تحقق المتطلبات الفنية لطبقة الاهتراء من المجبول البيتوميني هي 5.0%

تأثير إضافة نسب مختلفة من إسفلت كفرية:

- تم إعداد خلائط إسفلتية بنسب إضافة مختلفة من إسفلت كفرية (30–40–50)% وزناً من الخلطة الإسفلتية.
- تحديد النسب (2–2.5–3–3.5–4)% كنسبة بيتومين معدل على الخلطة الإسفلتية.
- تجهيز الحصويات والتي هي عبارة عن الحصويات الطبيعية مع إسفلت كفرية بالنسب الموافقة لكل خلطة وتسخينها إلى الدرجة 180°c.
- إعداد الرابط البيتومين صنف (60–70) وتسخينه إلى اللزوجة الكافية للخلط عند الدرجة 153°c .
- عملية الخلط الجاف وفق مارشال.
- دراسة الخواص الحجمية للخلطات المصممة وكل من ثبات وانسياب مارشال عند كل نسبة إضافة والخواص المقابلة لها.
- تحديد النسبة المثالية للإضافة.

نتائج تصميم الخلطة الأولى وفق مارشال:

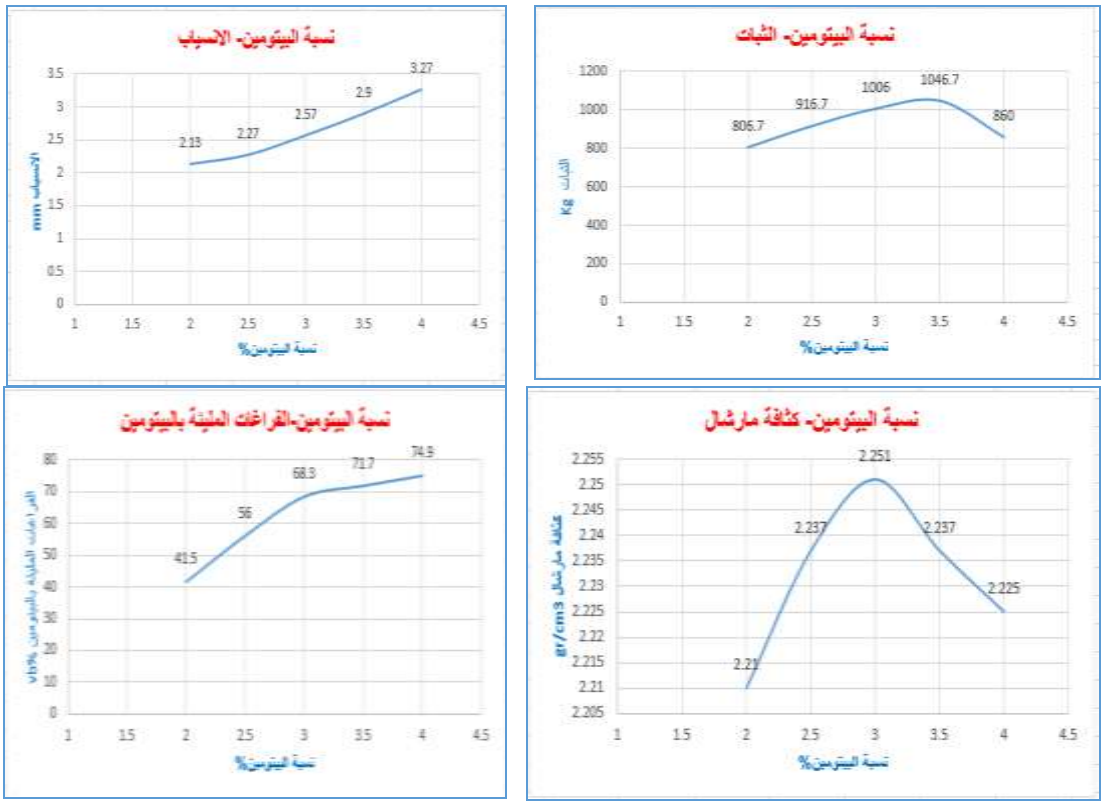
قمنا بإعداد الخلطة الأولى بنسبة 30% من إسفلت كفرية من وزن الخلطة مع نسب مختلفة من البيتومين النفطي صنف (60–70) (2–2.5–3–3.5–4) والنتائج موضحة في الشكل (8):

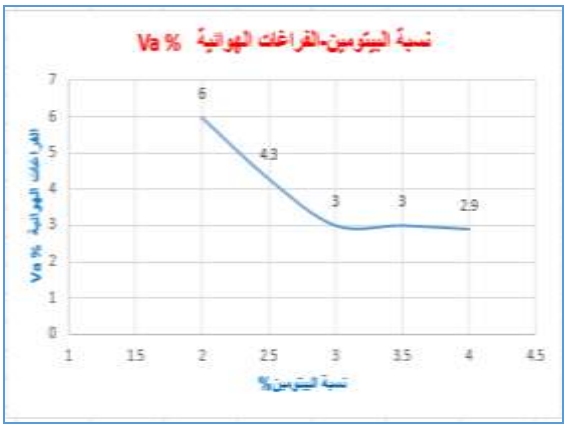
الشكل (8) منحنيات مارشال للخلطة الإسفلتية الأولى

من المنحنيات السابقة نجد أنه بنتيجة استبدال 30% من الحصويات الطبيعية بإسفلت كفرية أن نسبة البيتومين المثالية وفق مارشال هي 3.13% .

نتائج تصميم الخلطة الثانية وفق مارشال:

قمنا بإعداد الخلطة الثانية بنسبة 40% من إسفلت كفرية من وزن الخلطة مع نسب مختلفة من البيتومين النفطي صنف (60-70) (2-2.5-3-3.5-4) والنتائج موضحة في الشكل(9):



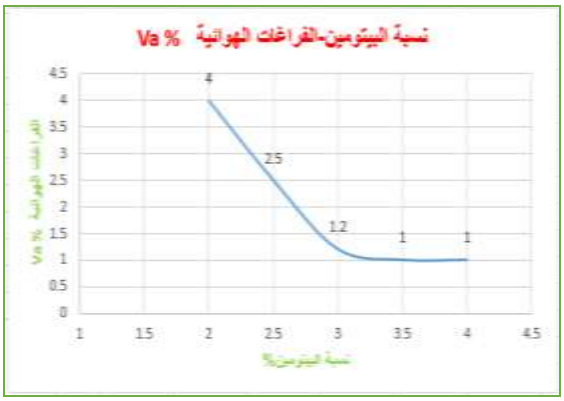


الشكل (9) منحنيات مارشال للخلطة الإسفلتية الأولى

من المنحنيات السابقة نجد أنه بنتيجة استبدال 40% من الحصويات الطبيعية بإسفلت كفرية أن نسبة البيتومين المثالية وفق مارشال هي 2.93%.

نتائج تصميم الخلطة الثالثة وفق مارشال:

قمنا بإعداد الخلطة الثالثة بنسبة 50% من إسفلت كفرية من وزن الخلطة مع نسب مختلفة من البيتومين النفطي صنف (60-70) (2-2.5-3-3.5-4) والنتائج موضحة في الشكل (10):



الشكل (10) منحنيات مارشال للخلطة الإسفلتية الثالثة

بنتيجة استبدال 50% من الحصويات الطبيعية بإسفلت كفرية نجد أن نسبة البيتومين المثالية وفق مارشال هي 2.65%

تحليل ومناقشة نسب الاستبدال:

- ❖ بنتيجة استبدال 30% من الحصويات الطبيعية بإسفلت كفرية نجد أن نسبة البيتومين المثالية وفق مارشال هي 3.13% بالمقارنة مع النسبة المثالية للخلطة المرجعية بدون استبدال (5%) نجد أنها أقل ب 37.4%.
- ❖ أما عندما كان الاستبدال بنسبة 40% بإسفلت كفرية نجد أن النسبة المثالية للبيتومين وفق مارشال هي 2.93% وهي أقل ب 41.4% بالمقارنة مع نسبة البيتومين المثالية للخلطة المرجعية.
- ❖ وعندما كان الاستبدال بنسبة 50% بإسفلت كفرية الطبيعي وجدنا أن النسبة المثالية للبيتومين وفق مارشال هي 2.65% بالمقارنة مع 5% بيتومين للخلطة المرجعية فهي أقل بنسبة 47%.

بالمقارنة نجد أن نسبة الاستبدال 50% أعطت توفيراً بالبيتومين الصناعي بنسبة وصلت إلى 47% وكانت هي نسبة الاستبدال المثالية.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. النسبة المثالية للخلطة البيتومينية من دون أي إضافة وفق تصميم مارشال هي 5% ومن دون أي استبدال.
2. عند استبدال 30% من الحصويات الطبيعية بإسفلت كفرية مع وجدنا أن نسبة البيتومين المثالية هي3.13% وهي أقل ب 37.4 % من نسبة البيتومين اللازمة لصنع خلطة إسفلتية من دون استبدال للحصويات.
3. عند استبدال 40% من الحصويات الطبيعية بإسفلت كفرية حصلنا على نسبة بيتومين مثالية 2.93% وهي أقل ب41.4% من نسبة البيتومين اللازمة للخلطة المرجعية.
4. عند استبدال 50% من الحصويات الطبيعية بإسفلت كفرية كانت نسبة البيتومين المثالية 2.65% وهي أقل ب47% من نسبة البيتومين اللازمة لخلطة إسفلتية من دون أي استبدال.
5. إن استبدال 50% من الحصويات الطبيعية بإسفلت كفرية قد حقق المتطلبات الفنية للخلطة البيتومينية الحارة صنف (ب) ... وحقق ثباتاً قدره 1070kg وانسياباً قدره 2.4mm وكثافة بمقدار 2.275 kg/cm^3
6. نوصي بتنفيذ حقل تجريبي بطول 300m وعرض 3m وإجراء الاختبارات الحقلية اللازمة كقوة الشد غير المباشر.
7. متابعة الدراسة بنسب استبدال أكبر مع إضافات كيميائية، مع إجراء اختبارات المتانة ومقاومة الرطوبة واختبار الزحف الميكانيكي.

References:

1- S. Caro, D. B. Sánchez, and B. Caicedo, "**Methodology to characterise non-standard asphalt materials using DMA testing: Application to natural asphalt mixtures,"** *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–10, 2015, doi: 10.1080/10298436.2014.893328.

2- Y. Erkuş, B. V. Kök, and M. Yilmaz, "**The Effects of Iraq Natural Asphalt on Mechanical Properties of Bituminous Hot Mixtures**," *Tek. Dergi/Technical J. Turkish Chamb. Civ. Eng.*, vol. 33, no. 2, pp. 11641–11660, 2022, doi: 10.18400/tekderg.664187.

3- B. V. Kök, M. Yílmaz, P. Turgut, and N. Kuloğlu, "**Evaluation of the mechanical properties of natural asphalt-modified hot mixture,"** *Int. J. Mater. Res.*, vol. 103, no. 4, pp. 506–512, 2012, doi: 10.3139/146.110654.

4- Edith Tartari, "**New Binders Using Natural Bitumen Selenizza**," *J. Traffic Transp. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 29–46, 2020, doi: 10.17265/2328-2142/2020.01.004.

5- D. A. Zuluaga-Astudillo, H. A. Rondón-Quintana, and C. A. Zafra-Mejía, "**Mechanical performance of gilsonite modified asphalt mixture containing recycled concrete aggregate,**" *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 10, 2021, doi: 10.3390/app11104409.

6- K. Zhong, X. Yang, and S. Luo, "**Performance evaluation of petroleum bitumen binders and mixtures modified by natural rock asphalt from Xinjiang China,**" *Constr. Build. Mater.*, vol. 154, pp. 623–631, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.182.

7- H. R. Jahanian, G. Shafabakhsh, and H. Divandari, **"Performance evaluation of Hot Mix Asphalt (HMA) containing bitumen modified with Gilsonite,"** *Constr. Build. Mater.*, vol. 131, pp. 156–164, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.069.

8- E. Yaşar, **"Obtaining of modified bitumen with optimum quality through mixing of natural bitumen (gilsonite), bitumen and thinner oil,**" *Geomech. Geophys. Geo-Energy Geo-Resources*, vol. 1, no. 3–4, pp. 103–107, 2015, doi: 10.1007/s40948-015-0013-z.

9- M. Yilmaz and M. E. Çeloğlu, "**Effects of SBS and different natural asphalts on the properties of bituminous binders and mixtures,**" *Constr. Build. Mater.*, vol. 44, pp. 533–540, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.036.

10- A. A. Nasrekani, M. Nakhaei, K. Naderi, T. M. Abu-Lebdeh, E. H. Fini, and S. Aflaki, **"Gilsonite Modified Asphalt for Use in Pavement Construction,"** *Am. J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 2, pp. 444–454, 2018, doi: 10.3844/ajeassp.2018.444.454.

11- Ramin Bayat , Siamak Talatahari.(2016) **" Influence of Polypropylene Length on Stability and Flow of Fiber-reinforced Asphalt Mixtures** " Civil Engineering JournalVol. 2, No. 10, October, 2016

12- Disha Rajyaguru, Rohit Kumar, Prof. C. B. Mishra.(2016) **" Contribution of polypropylene fibers in modification of VG 30 bituminous mix** " International journal of engineering sciences & research technology. DOI: 10.5281/zenodo.50426