JWPU
Journal of Al-Wataniya Private University
ISSN: 3105-2150

Volume (3) Number (1)
Available: https://wpu.edu.sy/wpuj/index.php/wpuh/en

Studying The Effect Of Mixing Temperature Changes On The Properties And Behavior Of Asphalt Concrete

Dr. Alaa Ali [1,*]

ABSTRACT

Heating hot mix asphalt (HMA) at high various temperture leads to adverse results, that negatively affected on asphalt concrete properties and pavement problems.
This research offers an analytical experimental study of mechanical properties of bituminous mixtures under the influence of different temperature of mixing (160Co- 175Co - 190Co -205Co -220Co) by Marshal's method.
The results showed that rising temperature of mixing gives clearly negative effects on mechanical properties of the bituminous mixtures under the effect of temperature and freezing and thawing.
As for the tensile strength ratio (TSR) values, the results showed that for values above 80%, the temperature of the mixing mustn,t less (160Co) for the wear layer, and (155Co) for the base layer.
So we found it to obtain asphalt concrete with specifications of resisting the changes of climate, distortions, and loads the temperature of mixing should be in the range (160-165)Co, otherwise we will get results do not meet the required specifications and reduce the design age of the road.

KEYWORDS: Hot Mix Asphalt, Freezing and Thawing, Marshall, Tensile Strength Ratio, Mixing.

Submitted on March 2, 2025; Revised on March 29, 2025; Accepted on April 20, 2025.
© 2025 Al-Wataniya Private University. This work is licensed under the Creative Commons Attribution–NonCommercial–NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0) license.

1 Faculty of Civil Engineering, Al-Wataniya Private University, Hama, Syria.

* Corresponding author. E-mail address: alaa-ali@wpu.edu.sy

دراسة تأثير تغيرات درجات حرارة الخلط على خواص الخرسانة الإسفلتية وسلوكها

د. علاء علي

الملخص

إن تسخين الخلطات الإسفلتية الساخنة (HOT MIX ASPHALT ,HMA) عند درجات حرارة عالية يؤدي إلى الحصول على نتائج عكسية والتي تؤثر سلباً على خصائص الخرسانة الإسفلتية وتؤدي لحدوث مشاكل بالرصف.

يقدم هذا البحث دراسة تجريبية تحليلية للخواص الميكانيكية للخلطات البيتومينية تحت تأثير درجات حرارة خلط مختلفة (160C° - 175C° - 190C - 205C°- 220C°) وفق طريقة مارشال.

أظهرت النتائج أنه بارتفاع درجة حرارة الخلط فإن الخواص الميكانيكية للخلطات البيتومينية تتأثر سلباً تحت تأثير درجات الحرارة والتجمد والذوبان.

أما بالنسبة لقيم معدل إجهاد الشد (TENSILE STRENGTH RATIO,TSR) فقد أظهرت النتائج للحصول على قيم الـ (TSR) تتجاوز الـ (80%) يجب ألا تقل درجة حرارة الخلط عن (160C°) بالنسبة لطبقة الاهتراء ولا تقل عن (155C°) بالنسبة لطبقة الأساس.

وعليه وجدنا أنه للحصول على خرسانة إسفلتية تتمتع بمواصفات تقاوم من خلالها التغيرات المناخية والتشوهات والحمولات، يجب أن تتراوح درجة حرارة الخلط بين (160-165C°)، وخلافاً لذلك نحصل على نتائج لا تلبي المواصفات المطلوبة، وتقلل من العمر التصميمي للطريق.

الكلمات المفتاحية: الخلطات الإسفلتية الساخنة، التجمد والذوبان، مارشال، معدل إجهاد الشد، الخلط.

1. مقدمة

تعتبر الخلطات الإسفلتية الساخنة واحدة من أهم أنواع الخلطات المستخدمة في إنشاء الطرق في العالم، حيث تتكون الخلطات الإسفلتية من مجموعة من المواد الحصوية الممزوجة مع بعضها بشكل متجانس والمغلفة بالبيتومين.

يعد الإسفلت مادة لزجة مرنة، وهذا يعني أنه يسلك سلوكاً لزجاً – مرناً تبعاً لعدة متحولات كدرجة الحرارة ومدة التحميل، ويسلك عند درجات الحرارة العالية سلوك السائل اللزج، بينما يسلك عند درجات الحرارة المنخفضة سلوكاً صلباً مرناً، أما عند درجات الحرارة المتوسطة يسلك سلوكاً لزجاً– مرناً.

يعتبر الخلط مهم عند تشكيل عينات الخليط الحصوي اللازمة للاختبار وعند تنفيذ طبقات الرصف، حيث تؤثر درجة الحرارة بشكل كبير على لزوجة البيتومين أي على قدرته على تغليف الحصويات بشكل كافي وعلى كافة مكونات الخلطة الإسفلتية والذي يؤثر سلباً على الخصائص الميكانيكية الأخرى مثل الكثافة والثبات، ويؤدي الإهمال وعدم الاكتراث في المحافظة على درجات الحرارة المثالية إلى حدوث مشكلات كبيرة في طبقتي الاهتراء والأساس**[1]**.

يمكن الحصول على خلطات إسفلتية تتمتع بمواصفات جيدة وذلك عن طريق اختيار مواد ذات جودة عالية، ولكن لا يكفي ذلك لوحده بل يجب أيضاً الانتباه للعوامل الأخرى التي تؤثر على المواصفات الميكانيكية للخلطات الإسفلتية ومن أهمها الزمن اللازم لوصول المزيج من المجابل للموقع بدرجات الحرارة المثالية.

وبالتالي يعتبر تحديد درجات الحرارة عامل مهم جداً للخلطات البيتومينية, حيث يصبح التحكم بدرجات الحرارة بعد وصول المجبول الأسفلتي للموقع غير ممكنا**[2]**.

حيث تكمن **أهمية البحث** في دراسة ومعرفة تأثير زيادة درجات حرارة الخلط على خصائص الخرسانة الإسفلتية، حيث انه عند توريد المجبول الإسفلتي من وحدات الخلط المركزية (المجابل) الموجودة في منطقة معينة إلى مناطق بعيدة يتم رفع درجة حرارة الخلط بوحدات الخلط المركزية كي يصل المجبول لموقع العمل ضمن الحرارة المطلوبة.

2. هدف البحث

يهدف البحث إلى معرفة تأثير درجات حرارة الخلط المرتفعة على خصائص الخرسانة الإسفلتية وتحديد درجة الحرارة المثالية للخلط والتي تحقق عندها جميع المواصفات المطلوبة.

3. الدراسات المرجعية

البيتومين عبارة عن مادة لدنة وتتغير لزوجته بتغير درجة الحرارة وقام الباحثون بإجراء العديد من الأبحاث على البيتومين لتحديد مواصفاته تحت تأثير درجات الحرارة المختلفة.

وفقاً لدراسات قام بها العالم روبرتس آخرون (1996) عند درجات حرارة منخفضة على البيتومين وجدوا أن لزوجة البيتومين تكون عالية وهذا أمر غير مرغوب لأن ذلك يؤدي لحدوث بعض المشاكل أثناء الرص كحدوث شقوق الانكماش**[3]**,وبالإضافة لذلك لاحظ الباحث (Hunter,2000) أنه من المهم أن يكون لدينا معرفة بلزوجة البيتومين حيث وجد أن خواص البيتومين عند درجات الحرارة المنخفضة تتأثر بشكل واضح حيث عند درجة الحرارة المنخفضة تزداد اللزوجة ويصبح الرص صعباً للغاية أي يصبح المجبول قاسي وعند درجات الحرارة العالية يصبح البيتومين سائلاً وتتبخر منه الزيوت, وتتأثر الخرسانة البيتومينية نتيجة لذلك بشكل واضح حيث تقل كثافتها وثباتها**[4]**

أما (STURAT,2001) قام بالعديد من الاختبارات على الخلطات البيتومينية غير المعدلة وتوصل إلى أن درجة حرارة الرص المسموح بها هي الدرجة التي يحقق عندها البيتومين لزوجة تتراوح بين(250- 310) مم^2/ ثانية, وذكر أيضاً أن درجة حرارة الخلط المناسبة للمجبول هي الدرجة التي نصل عندها إلى خرسانة إسفلتية تتمتع بمواصفات عالية ونوعية جيدة وتكلفة مناسبة وأن درجات الحرارة العالية جداً تؤدي إلى إتلاف الرابط الإسفلتي وتبخره وبالتالي انخفاض لنظام (ASTM D2493) تم حساب درجات الخلط للبيتومين غير المعدل أظهرت النتائج أن البيتومين يكون سائلاً عند درجات الحرارة العالية وأن لزوجة البيتومين لا تعتمد على معدل القص وأن تحديد درجات حرارة الخلط المثالية يحتاج لفهم جيد للزوجة وفي عام (1997) أجرى الباحث (Lu) دراسات مخبرية واسعة وذلك لتحسين خواص البيتومين حيث قام بإضافة البوليمير وجد أن خواص البيتومين تحسنت بشكل ملحوظ بعد الإضافات.**[5]**

4. مواد البحث وطرائقه

أجري في هذه الدراسة العديد من الاختبارات في جامعة حمص للحصول على البيانات المطلوبة التي سيتم تحليلها والمواد التي تم إحضارها هي مواد حصوية من منشأ دولوميتي–كلسي مأخوذة من مقالع حسياء درجة اهترائه أقل من 22%وفق الأبعاد التالية:

- **مادة رقم 1 تدرجها الحبي mm (0-6)**
- **مادة رقم 2 تدرجها الحبي mm (6-12)**
- **مادة رقم 3 تدرجها الحبي mm (12-18)**
- **مادة رقم 4 تدرجها الحبي mm (18-25)**
- **بيتومين 60/70**

5. الدراسة التجريبية

1.5. اختبارات الصلاحية للحصويات

أجريت الاختبارات وفق **[6]** الأتية:

1.1.5. التحليل الحبي

لدى إجراء اختبارات التحليل الحبي للمواد الحصوية كانت النتائج كما هو في الجدول (1):

الجدول (1): نتائج تجربة التحليل الحبي للمواد المختلفة

الاختبـــار	مادة رقم (1) (0−6)mm	مادة رقم (2) (6−12)mm	مادة رقم (3) (12−18)mm	مادة رقم (4) (18-25) mm
التدرج(فتحةالمنخلmm)	النـــــسبة المئوية للمـــــار			
25	100	100	100	100
19	100	100	100	20.2
12.5	100	93.3	57.5	0.1
9.5	100	60.4	25.6	0.0
4.75	96.4	2.2	0.6	0.0
2	61.1	1	0.3	0.0
0.85	33.6	1	0.3	0.0
0.425	21.6	0.9	0.3	0.0
0.18	14.5	0.9	0.3	0.0
0.075	9.9	0.6	0.2	0.0

2.5. تصميم الخليط الحصوي

1.2.5. طبقة الاهتراء

اجري تصميم الخلطة الحصوية لطبقة الاهتراء بنسب خلط وفق الشروط والمواصفات الفنية لوزارة النقل لعام 2002− التدرج رقم (1) **[7]** فكانت النتائج كما يلي:

50% من المادة رقم (1)أي الأبعاد من (0-6mm).

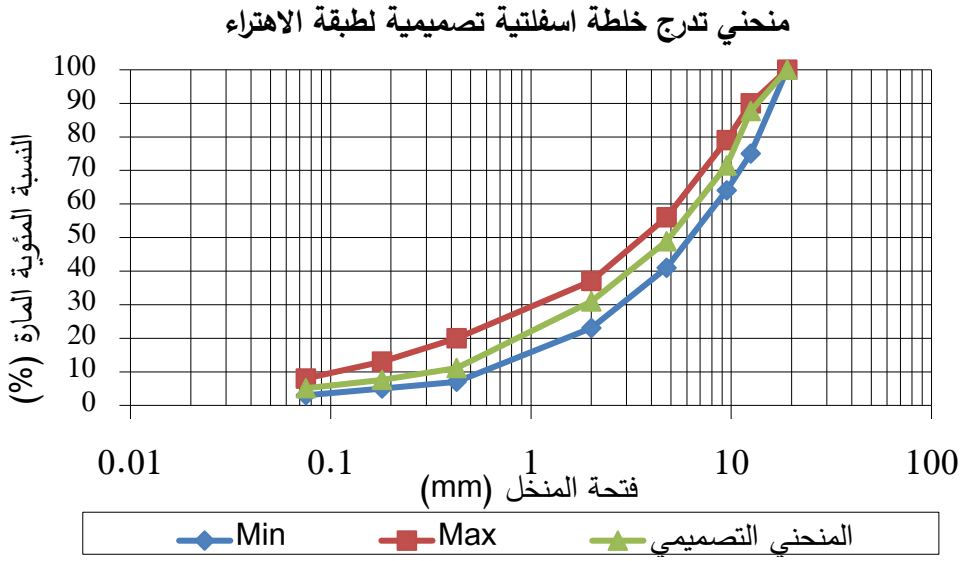
25% من المادة رقم (2)أي الأبعاد من (6-12mm).

25% من المادة رقم (3)أي الأبعاد من (12-18mm).

والجدول (2) يبين نسب الخلط التصميمية والتدرج التصميمي لخلطة المواد، بينما يوضح الشكل (1) التدرج التصميمي للمواد المستخدمة والنسب المعتمدة من وزارة النقل.

الجدول (2): نتائج نسب الخلط التصميمية والتدرج التصميمي طبقة الاهتراء

فتحة المنخل(mm)	مادة (1) 50%	مادة (2)25%	مادة (3)25%	التدرج التصميمي	مواصفات الوزارة
19	50	25	25	100	100
12.5	50	23.3	14.4	87.7	75-90
9.5	50	15.1	6.4	71.5	64-79
4.75	48.2	0.6	0.1	48.9	41-56
2	30.5	0.3	0.1	30.9	23-37
0.85	16.8	0.2	0.1	17.1	-------
0.425	10.8	0.2	0.1	11.1	7-20
0.18	7.3	0.2	0.1	7.6	5-13
0.075	4.9	0.1	0.1	5.1	3-8



الشكل (1): التدرج التصميمي للمواد المستخدمة ونسب وزارة النقل

2.2.5. طبقة الأساس

1_اجري تصميم الخلطة الإسفلتية لطبقة الأساس بنسب خلط للحصويات وحسب الشروط والمواصفات الفنية لوزارة النقل لعام 2002– التدرج رقم (2) **[6]** فكانت النتائج كما يلي:

46% من المادة رقم (1)أي الأبعاد من (0-6mm).

18% من المادة رقم (2)أي الأبعاد من (6-12mm).

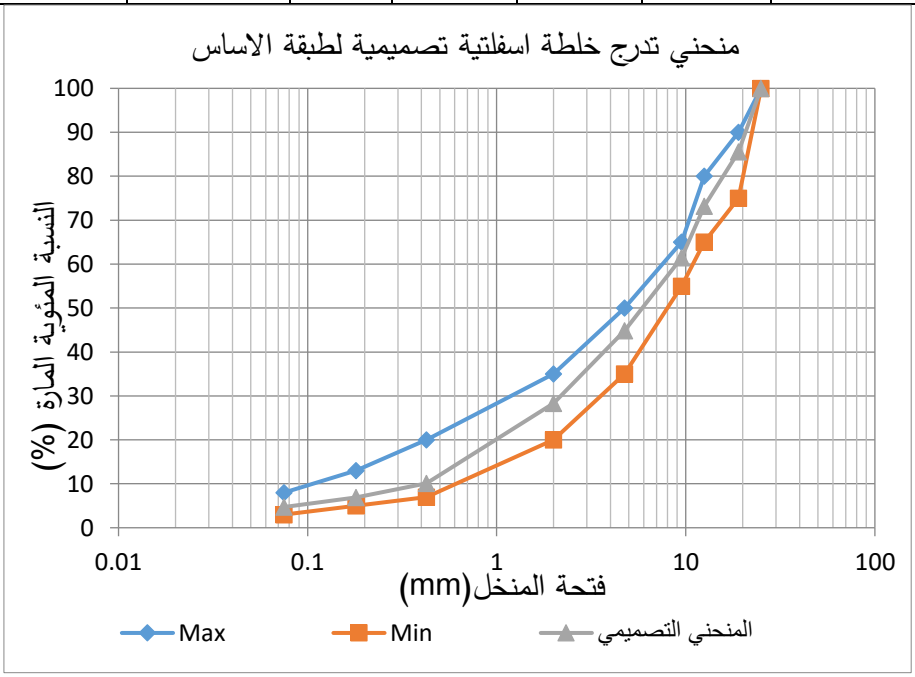
18% من المادة رقم (3)أي الأبعاد من (12-18mm).

18% من المادة رقم (4)أي الأبعاد من (18-25mm).

ويوضح الجدول (3) نتائج نسب الخلط التصميمية والتدرج التصميمي لطبقة الأساس، بينما يبين الشكل (2) التدرج التصميمي للمواد المستخدمة ونسب وزارة النقل

الجدول (3): نتائج نسب الخلط التصميمية والتدرج التصميمي لطبقة الأساس

مواصفات الوزارة	التدرج التصميمي	مادة رقم (4) 18%	مادة رقم (3) 18%	مادة رقم (2) 18%	مادة رقم (1) 46%	فتحة المنخل(mm)
100	100	18	18	18	46	25
75-90	85.6	3.64	18	18	46	19
65-80	73.2	0.02	10.35	16.79	46	12.5
55-65	61.5	0.0	4.61	10.87	46	9.5
35-50	44.9	0.0	0.11	0.4	44.34	4.75
20-35	28.4	0.0	0.05	0.18	28.11	2
--------	15.7	0.0	0.05	0.18	15.46	0.85
7-20	10.2	0.0	0.05	0.16	9.94	0.425
5-15	6.9	0.0	0.05	0.16	6.67	0.18
3-7	4.7	0.0	0.04	0.11	4.55	0.075



الشكل (2): التدرج التصميمي للمواد المستخدمة في طبقة الأساس والنسب المعتمدة من قبل وزارة النقل

3.5. اختبار التآكل[7]

تم إجراء اختبار التآكل بجهاز لوس أنجلوس على المواد الصلبة المستخدمة في تصميم الخلطة الإسفلتية لطبقة الاهتراء والأساس وكانت النتائج في حدود المواصفات وهي كالتالي:

-نسبة التآكل بعد 500دورة =15.18% لطبقة الأساس.

-نسبة التآكل بعد 500دورة =15.78% لطبقة الاهتراء.

4.5. اختبار المكافئ الرملي:[7]

أجري اختبار المكافئ الرملي على المواد الصلبة المستخدمة في تصميم الخلطة الإسفلتية وكانت النتائج في حدود المواصفات إذ بلغ 77%.

5.5. اختبار الوزن النوعي:[7]

لدى إجراء اختبار الوزن النوعي للحصويات المخلوطة كانت قيمته وفق الاتي:

-لطبقة الاهتراء 2.627 ولطبقة الأساس 2.649.

6.5. تصميم الخلطة الإسفلتية

تمثل النتائج الموضحة بالجداول التالية القيمة الوسطية لثلاث عينات اسفلتية

تم تشكيل قوالب مارشال النظامية من مواد طبقتي الاهتراء والأساس بعد إضافة البيتومين بنسب تراوحت بين % (7-4) بمعدل تغير قدره 0.5 وبعدد قوالب قدره /3/ لكل نسبة.

ولدى إجراء اختبارات مارشال على العينات المشكلة لكل من طبقتي الاهتراء والأساس حصلنا على النتائج المبينة في الجداول (7-4) وعلى الأشكال (4-3) الآتية:

الجدول (4): الخواص الميكانيكية للخلطة التصميمية لطبقة الاهتراء وفقاً لنسب البيتومين المدروسة

نسبة الإسفلت (%)	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
الثبات (كغ)	1317	1325	1326	1300	1257	1186	1064
الانسياب(مم)	2.17	2.35	2.53	2.75	3.00	3.51	4.17
نسبة الفراغات الهوائية (%)	8.3	6.6	5.3	4.3	3.5	3.00	2.5
الفراغات الهوائية بالمواد الصلبة (%)	16.8	16.3	16.0	16.0	16.3	16.8	17.3
الوزن الحجمي (طن/م3)	2.273	2.298	2.316	2.328	2.331	2.329	2.325

الجدول (5): الخواص الميكانيكية للخلطة التصميمية لطبقة الأساس وفقاً لنسب البيتومين المدروسة

نسبة الإسفلت (%)	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
الثبات (كغ)	1197	1191	1181	1160	1125	1080	1006
الانسياب(مم)	2.17	2.29	2.53	2.84	3.17	3.62	4.17
نسبة الفراغات الهوائية (%)	8.6	7.1	5.9	4.7	3.5	2.9	2.5
الفراغات الهوائية بالمواد الصلبة (%)	17.2	16.85	16.6	16.4	16.4	16.8	17.4
الوزن الحجمي (طن/م3)	2.282	2.304	2.320	2.335	2.346	2.346	2.342

ومن تحليل معطيات الجداول والأشكال (3-4) يتبين أن نسبة البيتومين المثالية هي كالاتي:
5.5% لطبقة الاهتراء – 5.2% لطبقة الأساس وانسجاماً مع هذه النسب تكون الخواص الميكانيكية للطبقتين كما هو مبين في الجدولين (7–6) حيث تم حساب نسبة الاسفلت الكلية (%) بالعلاقة التالية:

$$\boldsymbol{Y = \frac{100 * x}{100 + x}}$$

Y% : نسبة الاسفلت الكلية

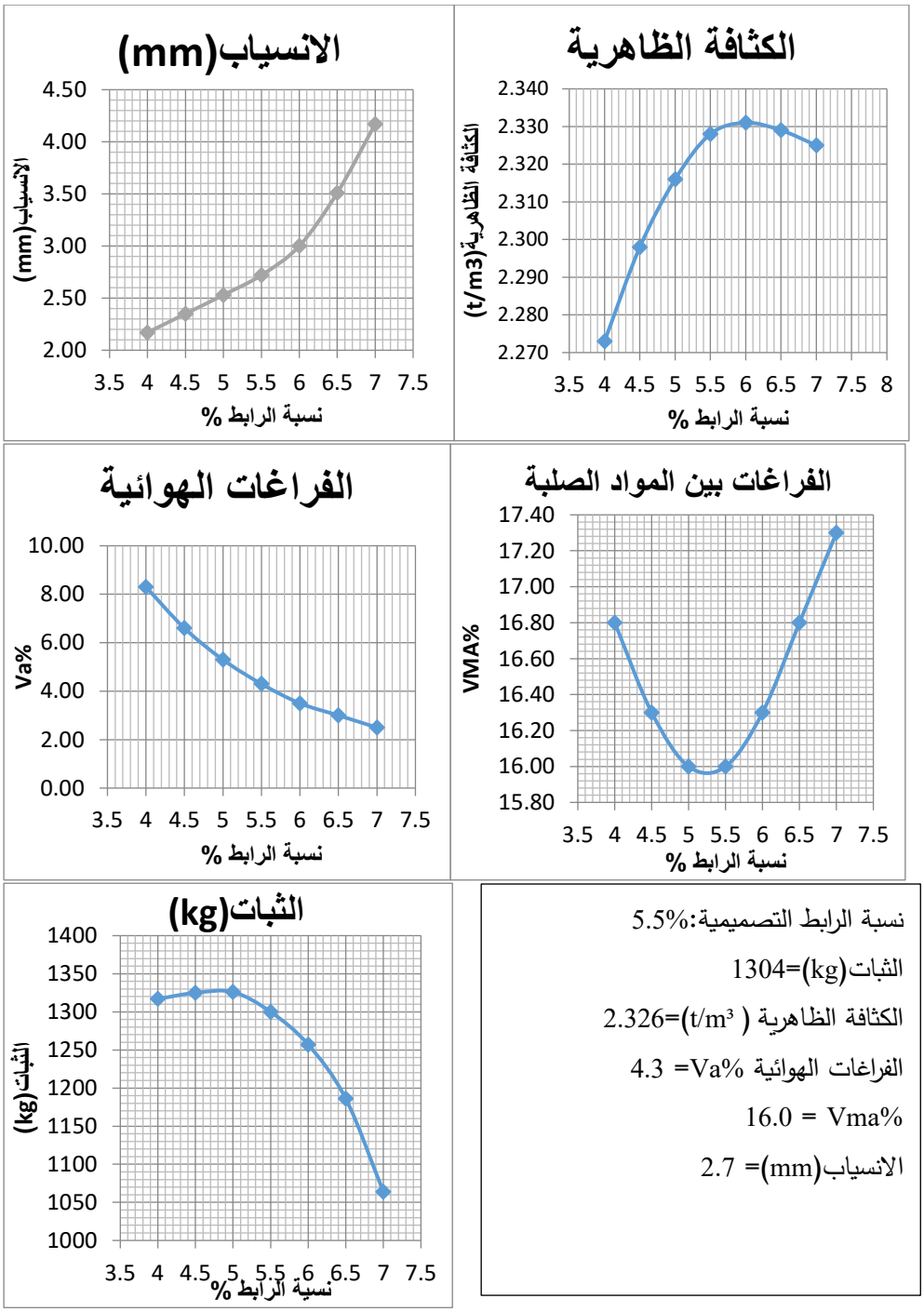
X%: نسبة الاسفلت من جملة المواد الصلبة

الجدول (6): الخواص الميكانيكية للخلطة التصميمية لطبقة الاهتراء عند نسبة الإسفلت 5.5% المثالية

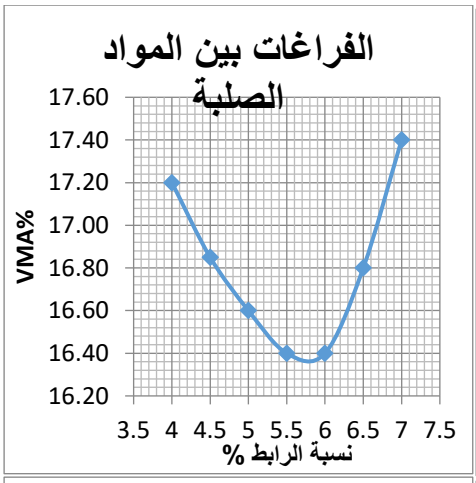
نسبة الإسفلت (من جملة المواد الصلبة) (%)	5.5
نسبة الإسفلت الكلية (%)	5.2
الثبات (كغ)	1304
الانسياب(مم)	2.7
نسبة الفراغات الهوائية (%)	4.3
الفراغات الهوائية في المواد الصلبة (%)	16
الكثافة الظاهرية (طن/م3)	2.326

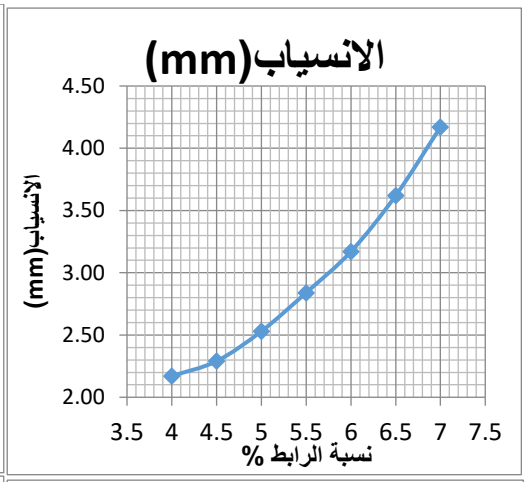
الجدول (7): الخواص الميكانيكية للخلطة التصميمية لطبقة الأساس عند نسبة الإسفلت 5.2% المثالية

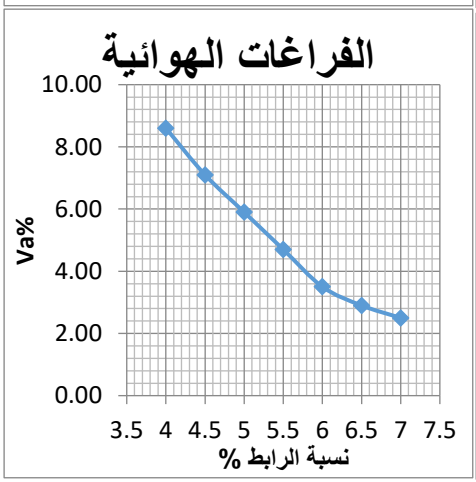
نسبة الإسفلت (من جملة المواد الصلبة) (%)	5.2
نسبة الإسفلت الكلية (%)	4.9
الثبات (كغ)	1176
الانسياب(مم)	2.6
نسبة الفراغات الهوائية (%)	5.3
الفراغات الهوائية في المواد الصلبة (%)	16.4
الكثافة الظاهرية(طن/م3)	2.329

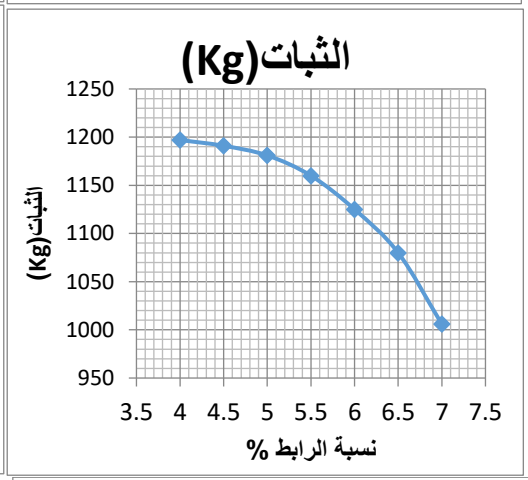


الشكل (3): المنحنيات الناتجة من تجربة مارشال لطبقة الاهتراء









نسبة الرابط التصميمية:5.2%

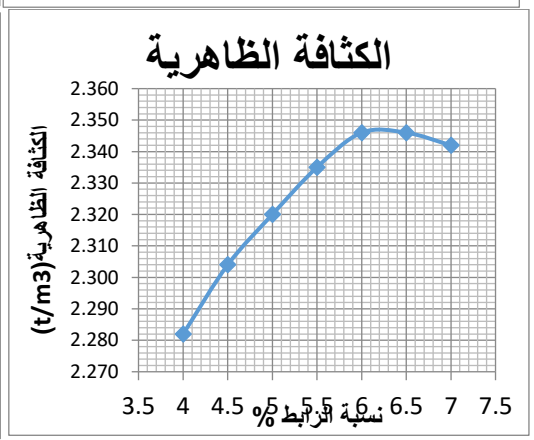
الثبات(kg)=1176

الكثافة الظاهرية (t/m³)=2.329

الفراغات الهوائية Va% =5.3

Vma% = 16.4

الانسياب(mm)= 2.6



الشكل (4): المنحنيات الناتجة من تجربة مارشال لطبقة الأساس

7.5. دراسة تأثير درجة حرارة الخلط في خواص الخرسانة الإسفلتية

بعد تحديد نسبة الإسفلت التصميمية وتحديد النسب المطلوبة من كل نوع من أنواع الحصويات، تم تشكيل قوالب مارشال عند درجات حرارة الخلط

(160 C^o-175 C^o-190 C^o-205 C^o-220 C^o), وإجراء الاختبارات التالية:

1_ تحديد خواص مارشال.

2_ إجراء اختبار الشد غير المباشر.

3_اجراء تجربة التجمد والذوبان **[8]**.

وكان عدد العينات اللازمة للاختبارات عند كل درجة حرارة ولكل من طبقتي الاهتراء والأساس كما يلي:

3 قوالب لاختبار مارشال * 5=15

3 قوالب لاختبار الشد غير المباشر * 7= 21

3 قوالب لدورة واحدة من التجمد والذوبان * 5 = 15

3 قوالب لدورتين من التجمد والذوبان * 5 = 15

حيث تم تسخين العينات بالفرن الى درجة الحرارة المطلوبة وضبط درجة حرارة الخلط بواسطة ميزان والحفاظ عليها عن طريق التسخين

6. خصائص مارشال عند درجات حرارة الخلط المختلفة

تمثل النتائج الموضحة بالجداول التالية القيمة الوسطية لثلاث عينات اسفلتية

لدى إجراء اختبار مارشال على العينات المشكلة لكل نوع من أنواع الحصويات المذكورة أعلاه وفق [9] حصلنا على النتائج المبينة في الجدولين (8) و (9).

الجدول (8): نتائج اختبار الخواص الميكانيكية للخلطة لطبقة الاهتراء عند درجات حرارة الخلط

الطبقة المدروسة	طبقة الاهتراء				
درجة حرارة الخلط C^o	160	175	190	205	220
عدد الضربات	75	75	75	75	75
نسبة الاسفلت المثلى (%)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
الكثافة الظاهرية δa(t/m^3)	2.326	2.290	2.260	2.240	2.222
الفراغات الهوائيةVa(%)	4.3	5.8	7.0	7.8	8.6
الفراغات بين المواد الصلبة VMA (%)	16.0	17.4	18.4	19.2	19.8
الثبات(كغ)	1305	1125	976	877	802
الانسياب (مم)	2.7	4.1	5.1	5.8	6.2

الجدول (9): نتائج اختبار الخواص الميكانيكية للخلطة لطبقة الأساس عند درجات حرارة الخلط

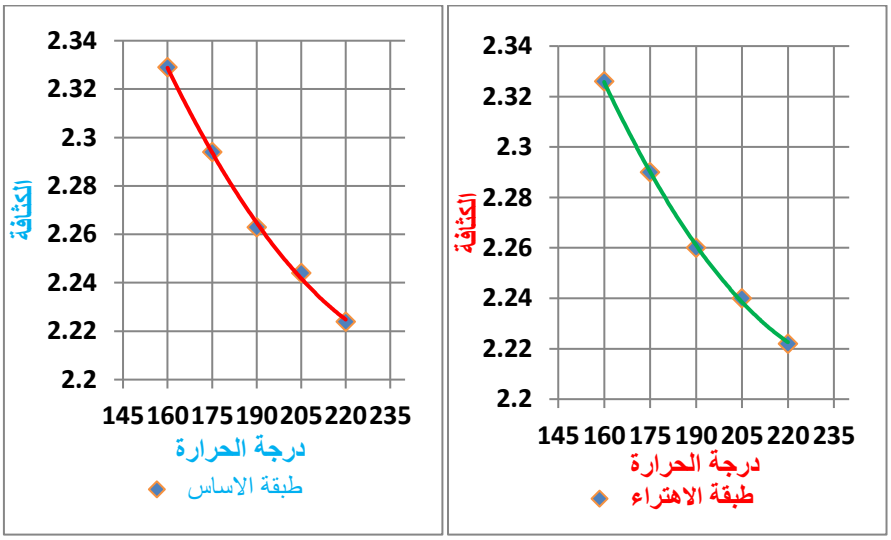
الطبقة المدروسة	طبقة الأساس				
درجة حرارة الخلط C°	160	175	190	205	220
عدد الضربات	75	75	75	75	75
نسبة الاسفلت المثلى (%)	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
الكثافة الظاهرية δa(t/m³)	2.329	2.294	2.263	2.244	2.224
الفراغات الهوائيةVa(%)	5.3	6.8	8.0	8.8	9.6
الفراغات بين المواد الصلبة VMA (%)	16.4	17.6	18.8	19.5	20.1
الثبات(كغ)	1176	940	740	660	642
الانسياب (مم)	2.6	3.8	4.8	5.5	5.9

1.6. تحليل النتائج

1.1.6. تحليل نتائج اختبار الخواص الميكانيكية للخلطة البيتومينية عند درجات حرارة الخلط المختلفة

1) تأثير درجة حرارة الخلط في الكثافة.

يبين الشكل (5) تغير الكثافة بدلالة حرارة الخلط:



الشكل (5): تغير كثافة المجبول الأسفلتي بدلالة درجة حرارة الخلط

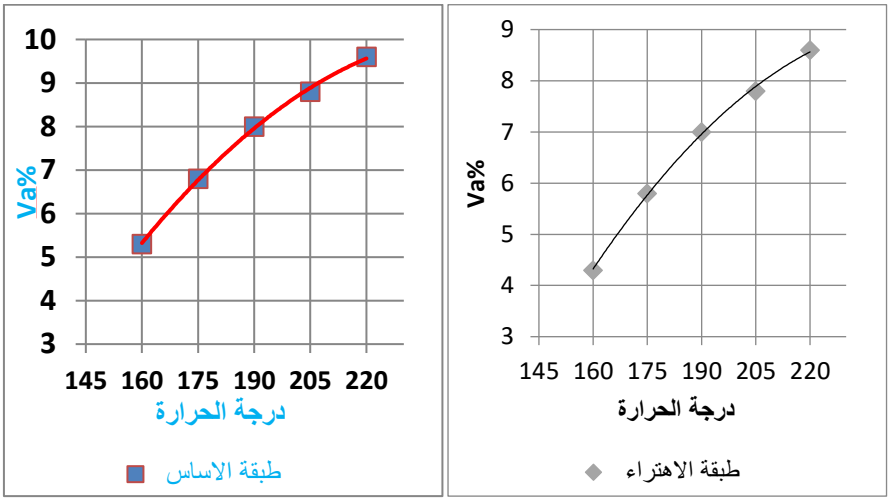
يظهر من المخطط أن:

-الكثافة تقل بازدياد درجات حرارة الخلط.

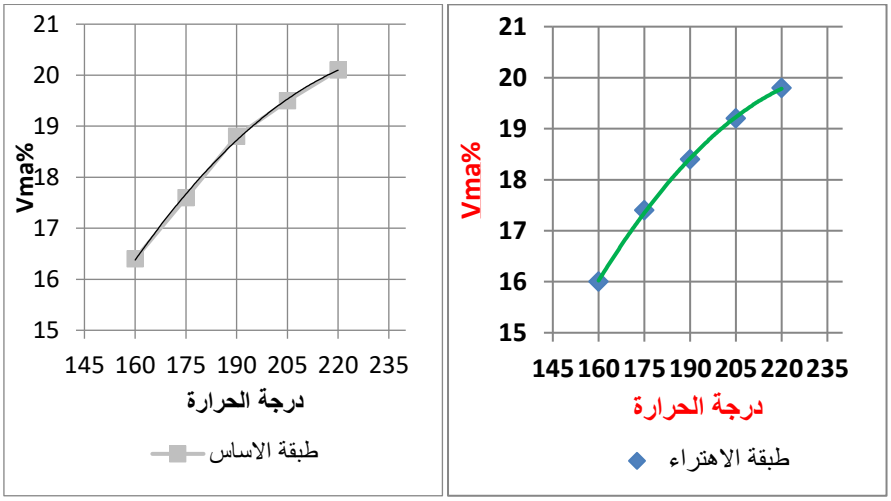
-نقصان قيمة الكثافة عند درجات الحرارة العالية يعود ذلك إلى تبخر وتطاير الزيوت أي يصبح الإسفلت أكثر لزوجة.

2) تأثير درجة حرارة الخلط في نسبة الفراغات الهوائية والفراغات الهوائية في المواد الصلبة

يبين الشكل (6) تغير الفراغات الهوائية بدلالة حرارة الخلط والشكل (7) تغير الفراغات في المواد الصلبة بدلالة حرارة الخلط



الشكل (6): تغير الفراغات الهوائية بدلالة حرارة الخلط



الشكل (7): تغير الفراغات في المواد الصلبة بدلالة حرارة الخلط

يظهر من المخططين السابقين أن:

-كلما ارتفعت درجة الحرارة فإن الفراغات الهوائية والفراغات بين المواد الصلبة تزداد ويعود ذلك لانه عند التسخين بدرجات الحرارة العالية فإن الرابط البيتومينى يتبخر الأمر الذي يؤدي لزيادة نسبة الفراغات

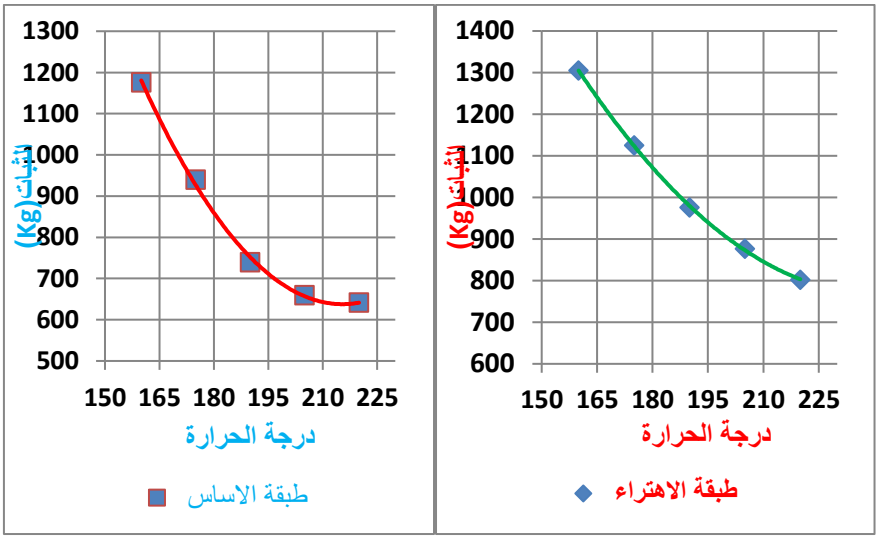
الهوائية بين المواد الحصوية وعدم امتلاء الفراغات بين المواد الصلبة بالبيتومين مما يؤدي لزيادتها أيضاً وباستمرار ارتفاع درجة الحرارة تزداد نسبة الفراغات أكثر وكما هو معروف فإن ارتفاع نسبة الفراغات الهوائية يسهل دخول الماء الذي يعمل على تعرية الحصويات من الرابط البيتوميني.

-حددت المواصفات أن تكون نسبة الفراغات الهوائية بالنسبة لطبقة الاهتراء%(3-5) وبالنسبة للاساس %(5-7) ونلاحظ أن درجة الحرارة عند نسبة فراغات هوائية %(5) يجب أن لا تتجاوز (168 Cº) بالنسبة لطبقة الاهتراء , أما بالنسبة للاساس نجد أن درجة الحرارة يجب ألاتتجاوز (178 Cº) عند نسبة فراغات هوائية %(7) وفقاً لمعطيات **[2]**.

-الخلط بعد درجتي الحرارة هذه يؤدي لزيادة نسبة الفراغات الهوائية والخروج عن النسب المحددة بالمواصفات.

3) تأثير درجة حرارة الخلط في الثبات

يبن الشكل (8) تغير الثبات بدلالة تغير حرارة الخلط



الشكل (8): تغير قيم الثبات بدلالة تغير حرارة الخلط

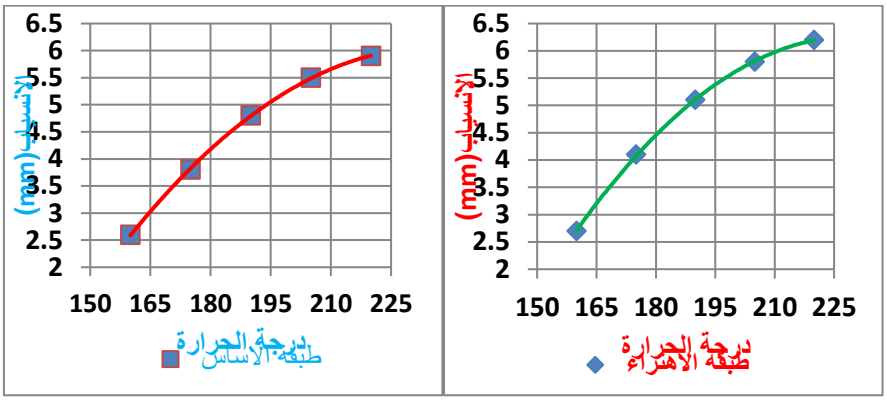
يظهر من الشكل أن:

-قيم الثبات تنخفض كلما ازدادت درجة الحرارة حيث أن بازدياد درجة الحرارة تزداد لزوجة الإسفلت الأمر الذي ينعكس سلباً على قيم الثبات حيث عند درجات الحرارة العالية يفقد البيتومين جزءاً من خواصه الفيزيائية ويتبخر الرابط حيث يؤدي ذلك لفقدان تماسك والتصاق المواد الحصوية مع بعضها البعض وعدم تداخلها بشكل جيد فيما بينها.

–حددت المواصفات ألا تقل قيم الثبات عن kg (1100) بالنسبة لطبقة الاهتراء وعن (800Kg) بالنسبة للاساس وبالعودة للمخططات نجد أنه عند قيمة ثبات kg (1100) تكون درجة الحرارة (178 C°) بينما تكون درجة الحرارة (185 C°) بالنسبة لطبقة الأساس عند ثبات (800Kg) وإذا زادت درجة الحرارة عن هذه القيمة يؤدي ذلك لنقصان في قيم الثبات وفقاً لمعطيات **[2]**.

4) تأثير درجة حرارة الخلط في الانسياب

يبين الشكل (9) تغير قيم الانسياب بدلالة حرارة الخلط



الشكل (9): تغير الانسياب بدلالة حرارة الخلط

يظهر من الشكل أن:

قيم الانسياب بازدياد درجة حرارة الخلط حيث أنه عند درجات الحرارة العالية فان الاسفلت يتصرف كسائل لزج وقابل للانسياب وبسبب عملية تبخر الرابط عند درجات الحرارة العالية يؤدي ذلك الى عدم تغليف البيتومين بشكل كافي فتزداد نسبة الفراغات الهوائية.

–حددت المواصفات أن تكون قيم الانسياب بين mm (2-4) بالنسبة لطبقتي الاهتراء والأساس ومن المخططات (4.15) نجد أن قيم درجات الحرارة عند نسبة % (4) يجب أن لاتزيد عن (178 C°) بالنسبة للاساس أما بالنسبة للاهتراء يجب أن لاتزيد درجة الحرارة عن (174 C°) وفقاً لمعطيات **[2]**.

2.1.6. دراسة تأثير التجمد والذوبان عند درجات حرارة الخلط المختلفة[6]

تم اعتماد (48h) مدة دورة التجمد والذوبان بحيث تعرض العينات للتجمد بدرجة حرارة(-10C°) مدة (24h) وللذوبان بدرجة حرارة (60C°) مدة (24h)، واعتمد في هذه الدراسة عدد دورات (1,2). ويبين الجدول (10) والجدول (11) نتائج اختبار الخواص الميكانيكية لخلطة طبقة الاهتراء وطبقة الأساس عند درجات حرارة الخلط المختلفة وبدلالة عدد دورات التجمد والذوبان

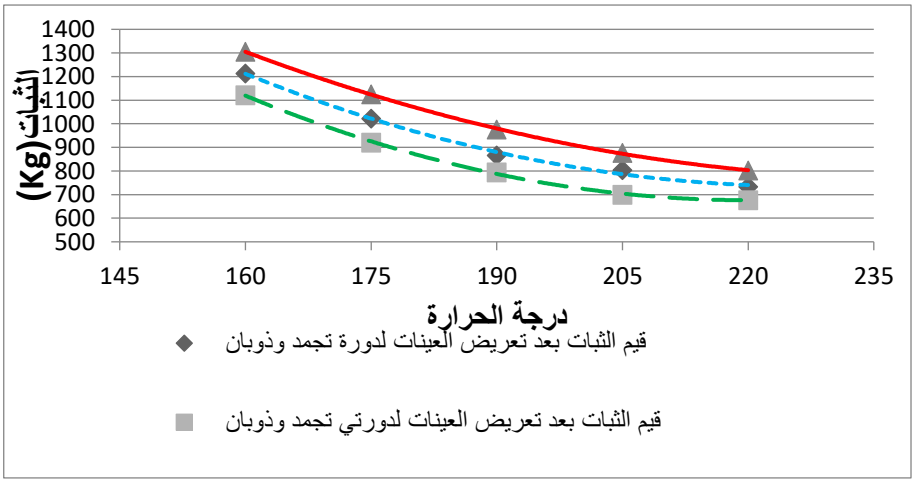
الجدول (10): خواص مارشال لطبقة الاهتراء بدلالة حرارة الخلط ودورات التجمد والذوبان

درجة حرارة الخلط	عدد دورات التجمد والذوبان	الثبات (كغ)	الانسياب(مم)
160 C°	1	1214	3.3
	2	1121	3.7
175 C°	1	1022	4.8
	2	920	5.4
190 C°	1	867	5.9
	2	795	6.5
205 C°	1	804	6.6
	2	700	7.0
220 C°	1	734	6.9
	2	677	7.3

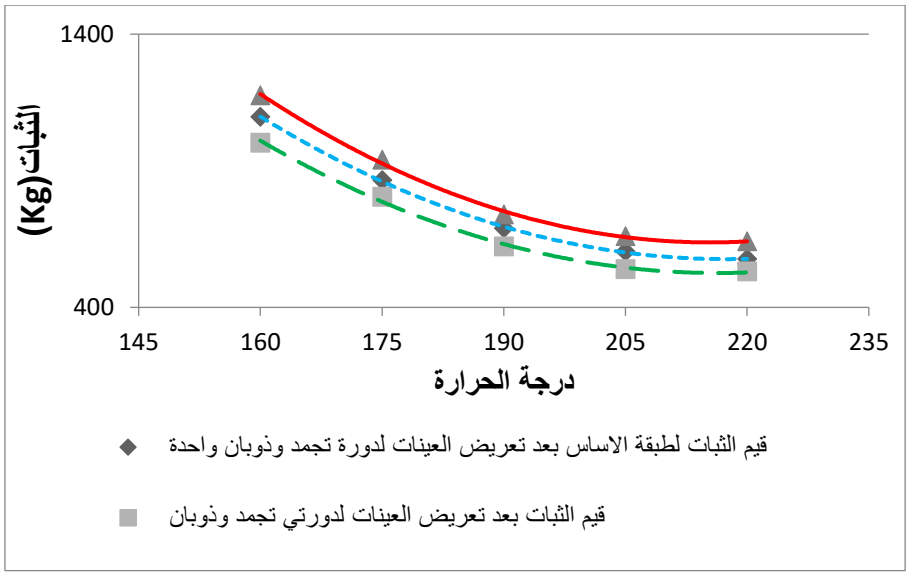
الجدول (11): خواص مارشال لطبقة الاساس بدلالة حرارة الخلط ودورات التجمد والذوبان

درجة حرارة الخلط	عدد دورات التجمد والذوبان	الثبات (كغ)	الانسياب(مم)
160 C°	1	1097	3.1
	2	1003	3.4
175 C°	1	865	4.6
	2	804	5.1
190 C°	1	690	5.6
	2	623	6.2
205 C°	1	604	6.3
	2	540	6.7
220 C°	1	577	6.7
	2	532	7.1

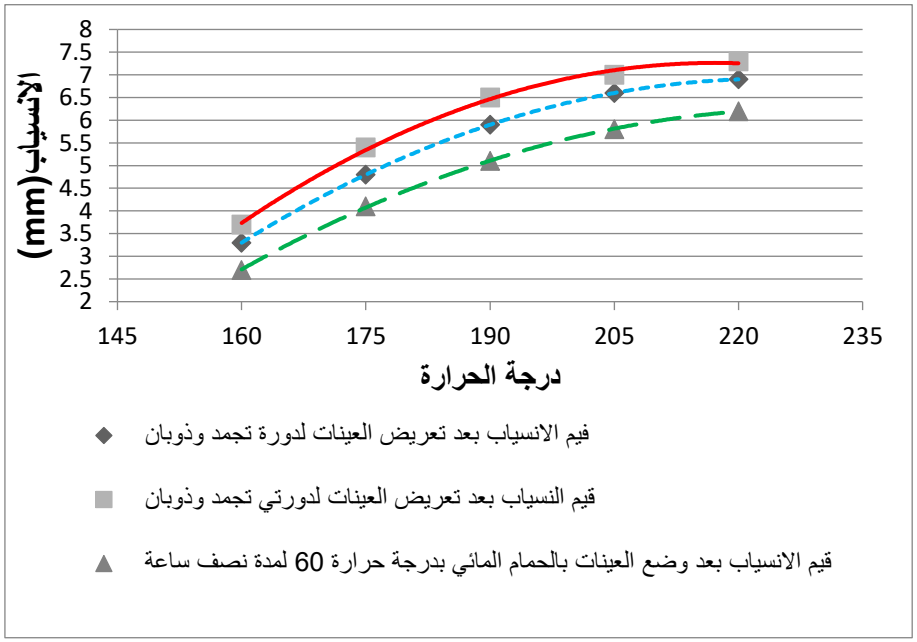
وتظهر المخططات (10)، (11)، (12)، (13) تغير قيم خواص مارشال لطبقتي الاهتراء والأساس بدلالة عدد دورات التجمد والذوبان.



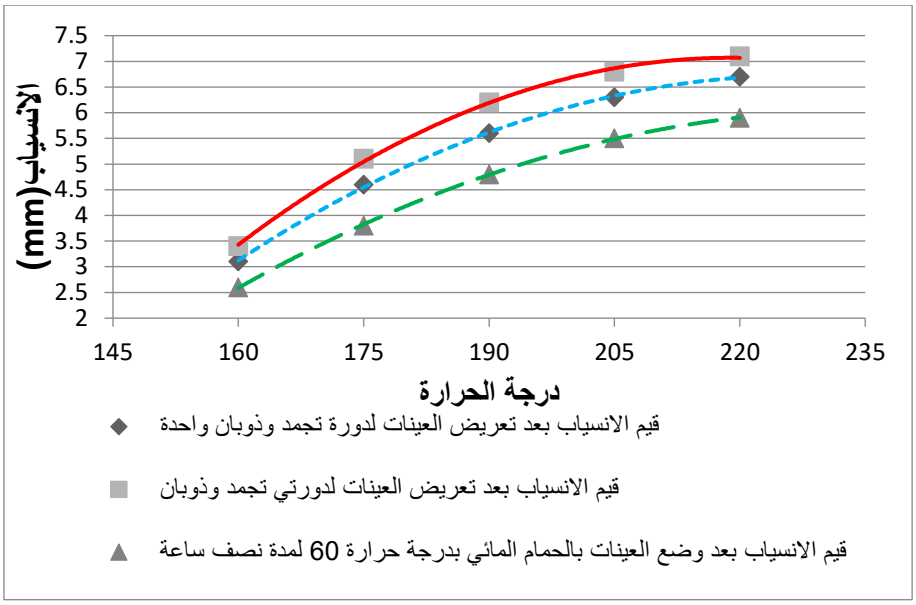
الشكل (10): قيم الثبات لطبقة الاهتراء بتأثير عدد دورات التجمد والذوبان (1,2)



الشكل (11): قيم الثبات لطبقة الأساس بتأثير عدد دورات التجمد والذوبان (1,2)



الشكل (12) قيم الانسياب لطبقة الاهتراء بتأثير عدد دروات التجمد والذوبان (1,2)



الشكل (13): قيم الانسياب لطبقة الاساس بتأثير عدد دورات التجمد والذوبان (1,2)

<u>ونتوصل من خلال قراءتنا لنتائج اختبارات التجمد والذوبان إلى الاتي:</u>

بمقارنة قيم الثبات للعينات عند درجات حرارة الخلط المختلفة بتأثير عدد دورات التجمد والذوبان أي عند وضع العينات بالمجمدة لمدة (24h) ثم اخراجها ووضعها بالحمام المائي لمدة (24h) بدرجة حرارة ($60C^o$) مع قيم الثبات عند نقع العينات بالحمام المائي بدرجة حرارة ($60C^o$) لمدة نصف ساعة نلاحظ انخفاض قيم الثبات وازدياد قيم الانسياب عند تعريض العينات لدورة واحدة ولدورتي تجمد وذوبان حيث أن عملية التجمد والذوبان بتكرار دوراتها يفقد البيتومين جزءاً من خواصه ومرونته وتؤدي إلى تشوه وخلخلة جزيئات العينة نتيجة لتجمد جزيئات الماء داخل العينة ومن ثم خلق إجهادات داخلية تؤدي إلى تكسير جزء من الروابط البيتومينية ومن ثم ضعف تماسك جزيئات الحصويات أي انخفاض ثباتها وسهولة انسيابها.[10]

حددت المواصفات ألا تقل قيم الثبات عن (1100) كغ بالنسبة لطبقة الاهتراء وعن (800) كغ بالنسبة لطبقة الاساس وبتوقيع هذه القيم على المنحنيات نجد أن درجة حرارة الخلط يجب أن لاتزيد عن ($167C^o$) عند دورة تجمد وذوبان واحدة وعن ($161C^o$) عند دورتي تجمد وذوبان وذلك بالنسبة لطبقة الاهتراء، أما بالنسبة للاساس يجب أن لاتزيد عن ($178C^o$) عند دورة تجمد وذوبان واحدة وعن ($175C^o$) عند دورتي تجمد وذوبان.

بالنسبة للانسياب حددت المواصفات ألا تزيد قيم الانسياب عن (4%) بالنسبة لكل من طبقتي الاهتراء والاساس وبتوقيع هذه القيم على المنحنيات نجد أن درجة حرارة الخلط يجب أن لاتزيد عن ($164C^o$)

عند دورة تجمد وذوبان واحدة وعن (161C°) عند دورتي تجمد وذوبان وذلك بالنسبة لطبقة الاهتراء أما بالنسبة للاساس يجب أن لاتزيد عن (167C°) عند دورة تجمد وذوبان واحدة وعن (163C°) عند دورتي تجمد وذوبان.

أي أنه إذا زادت درجة حرارة الخلط عن هذه القيم فان الرصف يصبح غير مقاوم للتغيرات المناخية (تجمد وذوبان).

3.1.6. مقاومة الخلطة تحت تأثير درجات حرارة الخلط لإجهادات الشد غير المباشر [4]

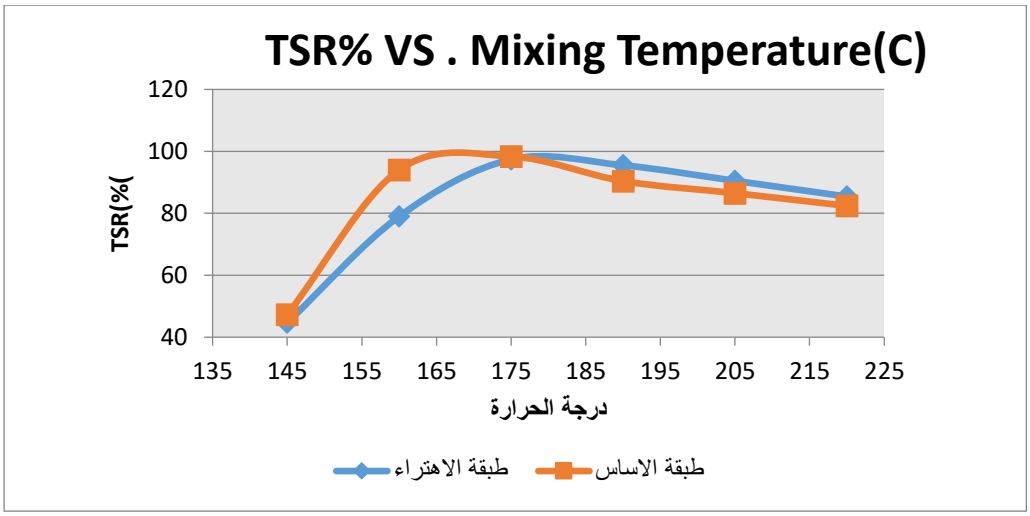
تبين الجداول (12) و(13) والشكل (14) نتائج اختبار الشد غير المباشر لطبقتي الاهتراء والاساس عند درجات حرارة الخلط المختلفة حيث تم صب عينات عند درجات الحرارة الموضحة بالجدول التالي حيث تم إضافة درجة حرارة 145° لمعرفة إن كان معدل اجهاد الشد يحقق قيمة 80% عند درجة حرارة أقل من 160°.

الجدول (12): نتائج تجربة الشد غير المباشر لطبقة الاهتراء عند درجات حرارة الخلط المختلفة

الطبقة المدروسة	طبقة الاهتراء						
درجة حرارة الخلط C°	145	160(Un)	160(Con)	175	190	205	220
نسبة الإسفلت (%)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
القوة(kn)	4.33	9.70	7.63	9.42	9.23	8.76	8.29
اجهادالشد2^N/mm	0.46	1.03	0.81	1.00	0.98	0.93	0.88
TENSILE STRENGTH RATIO (%)	44.7	100	79	97.4	95.5	90.5	85.4

الجدول (13): نتائج تجربة الشد غير المباشر لطبقة الاساس عند درجات حرارة الخلط المختلفة

الطبقة المدروسة	طبقة الاساس						
درجة حرارة الخلط (C°)	145	160(Un)	160(Con)	175	190	205	220
نسبة الإسفلت (%)	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
القوة(kn)	5.37	11.4	10.74	11.21	10.27	9.89	9.33
اجهادالشد2^N/mm	0.57	1.21	1.14	1.19	1.09	1.05	0.99
TENSILE STRENGTH RATIO (%)	47.26	100	94.00	98.35	90.4	86.5	82.4



الشكل (14): معدل اجهاد الشد لكل من طبقتي الاهتراء والاساس عند درجات حرارة المختلفة

يظهر من الشكل (14) ما يلي:

-مقاومة الخلطات للشد الغير مباشر تقع ضمن الحدود التي أوجدها الباحث كينيدي عند نفس درجة الحرارة **[3]**.

-عند الخلط بدرجات حرارة مختلفة ينتج قيم مختلفة عن بعضها البعض لمعدل اجهاد الشد وذلك لكل من طبقتي الاهتراء والأساس.

-بالنسبة لطبقة الاساس يشير معدل إجهاد الشد الى أن درجة حرارة الخلط يجب أن لا تقل عن ($155C^{o}$) تقريباً وذلك لتصبح قيمة معدل اجهاد الشد أعلى من (80%) بينما طبقة الاهتراء تحتاج لدرجة حرارة خلط أكبر لتصبح قيم معدل اجهاد الشد أكبر من(80%)أي عند درجة حرارة لا تقل عن ($160C^{o}$).

توضح الأشكال التالية أجهزة الاختبارات والمواد المستخدمة بالبحث:





الشكل (15): أجهزة الاختبار والمواد المستخدم

7. النتائج

1) تلعب درجة حرارة المجبول البيتوميني دوراً مهماً في تكوينه وتشكيله عند الخلط كما أنها تؤثر عليه (كظروف مناخية متناوبة) بعد التنفيذ.
2) نلاحظ انخفاض الثبات والوزن الحجمي بازدياد درجة حرارة الخلط، في حين تزداد قيم الفراغات الهوائية والفراغات بين المواد الصلبة والانسياب بازدياد درجة حرارة الخلط.

3) تعتبر دورات التجمد والذوبان من أكثر العوامل المؤدية لتلف الخلطات البيتومينية وفقدان ديمومتها، حيث تم ملاحظة انخفاض قيم الثبات وازدياد قيم الانسياب بزيادة عددها وذلك عند درجات حرارة الخلط، ومنه نستنتج أنه كلما زاد عدد الدورات تزداد درجة انخفاض مقاومة الخلطات للثبات.
4) تظهر نتائج مقاومة الشد غير المباشر أنه لوصولها إلى قيمة أعلى من (80%)، يجب أن لا تقل درجة حرارة الخلط عن ($160C^o$) بالنسبة لطبقة الاهتراء وعن ($155C^o$) بالنسبة للأساس.
5) أظهرت النتائج أن قيم الخواص الميكانيكية لمارشال تحت تأثير درجات حرارة الخلط لا تعد كافية وذلك للاستدلال على ديمومة الخرسانة الاسفلتية وانما يجب مقارنتها بالقيم الاخرى بتأثير التجمد والذوبان والشد غير المباشر أيضا

8. التوصيات

1) للحصول على مجبول إسفلتي عالي الجودة، نوصي أن تكون درجة حرارة الخلط تتراوح بين 160- (165) Co.
2) ضرورة توفير تجهيزات لقياس التشوهات الأفقية لتحديد معامل بواسون و لتحديد معامل المرونة للخلطات الأسفلتية , بالإضافة لأجهزة قياس التخدد وذلك للتعرف على سلوك المادة وخصائصها عند درجات الحرارة المختلفة.
3) نوصي بإجراء أبحاث أخرى باستخدام التدرجات الحبية الاخرى، واجراء كافة الاختبارات السابقة ليعطينا فكرة أوضح عن سلوك الخرسانة الاسفلتية بتأثير التدرجات الحبية الاخرى عند درجات حرارة الرص والخلط المختلفة، بالاضافة لاستخدام طرق آخرى بالتصميم كطريقة هفيم (Hveem).
4) نوصي أن يتم نمذجة النتائج السابقة التي تم التوصل اليها في البحث.
5) ضرورة تشغيل مجابل قريبة من موقع العمل إذ أنه في كثير من الاحيان تكون المجابل بعيدة عن موقع العمل لذلك تقوم برفع درجة حرارة الخلط لضمان وصول المجبول إلى الورشة بدرجة حرارة مثالية حيث بيّنت النتائج أن لهذا أيضاً تأثيراً سلبياً على خواص الخرسانة الأسفلتية.

المراجع

[1] National Cooperative Highway Research Program, Evaluation of Indirect Tensile Test (IDT) Procedures for Low-Temperature Performance of Hot Mix Asphalt, NCHRP Rep. 530. Washington, DC, USA: National Academies Press, 2004.

[2] Ministry of Transport, Syrian Arab Republic, Technical Specifications for Road and Bridge Works. Syrian Arab Republic: Ministry of Transport.

[3] T. W. Kennedy, F. L. Roberts, and R. B. McGennis, "Effects of compaction temperature and effort on the engineering properties of asphalt concrete mixtures," in Placement and Compaction of Asphalt Mixtures, F. T. Wagner, Ed. ASTM Special

Technical Publication 829. Philadelphia, PA, USA: American Society for Testing and Materials, 1984, pp. 48–66.

[4] M. J. Shivakumar, “Effect of varying mixing and compaction temperature on Marshall properties of bituminous concrete mix,” RASTA-Center for Road Technology, Bangalore, India, 2009.

[5] Alhandasa, “Website,” [Online]. Available: www.alhandasa.com.

[6] ScienceDirect, “Website,” [Online]. Available: www.sciencedirect.com.

[7] Arab Engineering, “Website,” [Online]. Available: www.arab-eng.org.

[8] Asphalt Institute, Asphalt Pavements for Highways and Streets, Manual Series No. 1 (MS-1). College Park, MD, USA: Asphalt Institute, Sep. 2011.

[9] B. D. Hanna, Building Materials and Their Testing. Al-Baath Univ. Publications, Faculty of Civil Engineering, Directorate of University Books and Publications, 1999–2000.

[10] M. D. Assi, Roads/2/Pavement Engineering. Aleppo Univ. Publications, Faculty of Civil Engineering, Directorate of University Books and Publications, 2003.

[11] M. A. Shaloum, “The effect of freezing and thawing alternation on the durability of bituminous mixtures,” Damascus Univ. J. Eng. Sci., vol. 23, no. 1, 2007.

[12]A. S. Noureldin, Material Characterization of Hot-Mix Recycled Bituminous Pavements, Ph.D. dissertation, School of Civil Engineering, Purdue Univ., West Lafayette, IN, USA, 1987.