Improving the Design of Asphalt Mixtures by Superpave Method and Comparison it with Marshall Method

Dr. Rami Hanna[*]
Moufak Shamseen[**]

(Received 3 / 6 / 2020. Accepted 19 / 7 / 2020)

□ ABSTRACT □

The purpose of bitumen mixture design methods is to determine the optimum bitumen content that would provide the basic requirements for asphalt mixtures, with regard to stability and durability. There are many methods of designing mixtures used throughout the world, the most famous of which is the widely used Marshall method, and recently the Superpave method, which began to spread since the year (2000). This research aims to shed light on the method of designing asphalt mixtures according to the new SUPERPAVE in Syria based on the characteristics of local building materials and climatic conditions, by describing the materials of asphalt mixtures according to the method of the superpave method, and studying the effect of gyratory compactor on the volumetric properties of bitumen mixtures, and from Then determine the optimum asphalt content and compare it with the Marshall method. The results indicated that the optimum bitumen according to the Marshall method (5.2%), while the optimum bitumen decreased according to the superpave method and reached (4.8%), and the stability value at the optimum bitumen (1225 kg) with the achievement of the flow rate criterion according to the Syrian specifications, as the results were filled and air voids are within the required limits, and the design results at the optimum asphalt according to the superpave method achieved the required standards for design, as the percentage of mineral voids (14.2%), filled voids (72.4%) and dust ratio (0.77), and the results of the indirect tensile test were shown according to the optimum bitumen design has achieved a sensitive standard Moisture level reached (84.2%), while it reached (78.7 %) by Marshall.

Keywords: Asphalt mixture – Marshall method- Superpave - stability - indirect tension

[*]**Associate Professor, Department of Traffic and Transportation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[**]**Master student, Department of Traffic and Transportation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

تحسين مستوى تصميم الخلائط الإسفلتية باستخدام طريقة السوبربيف ومقارنتها مع طريقة مارشال

د. رامي حنّا [*]

موفق شمسين [**]

(تاريخ الإيداع 3 / 6 / 2020. قُبِل للنشر في 19/ 7 / 2020)

□ ملخّص □

الغاية من طرق تصميم الخلائط الإسفلتية هو تحديد المحتوى المثالي للبيتومين الذي من شأنه أن يوفر المتطلبات الأساسية للخلائط الإسفلتية، فيما يتعلق بالثبات والمتانة. هناك العديد من طرق تصميم الخلائط المستخدمة في جميع أنحاء العالم أشهرها طريقة مارشال المستخدمة على نطاق واسع، وحديثاً طريقة السوبربيف والتي بدأ انتشارها منذ العام (2000).

يهدف هذا البحث إلى تسليط الضوء على طريقة تصميم الخلائط الإسفلتية وفق السوبربيف SUPERPAVE الجديدة في سورية بناءً على خصائص وتوصيف دقيق للمواد، ودراسة تأثير طريقة الرص الدوراني على الخواص الحجمية للخلائط الإسفلتية، ومن ثم تحديد نسبة البيتومين المثالية ومقارنتها مع طريقة مارشال. بينت النتائج أن نسبة البيتومين المثالية وفق طريقة مارشال (5.2 %)، بينما انخفضت نسبة البيتومين المثالية وفق طريقة السوبربيف وبلغت (4.8 %)، وبلغت قيمة الثبات عند نسبة البيتومين المثالية (1225 kg) مع تحقيق معيار الانسياب وفق المواصفات السورية، كما كانت نتائج الفراغات المليئة والهوائية ضمن الحدود المطلوبة، وحققت نتائج التصميم عند نسبة البيتومين المثالية وفق طريقة السوبربيف المعايير المطلوبة للتصميم حيث بلغت نسبة الفراغات الحصوية (14.2 %) والفراغات المليئة (72.4 %) ونسبة الغبار (0.77)، وبينت نتائج اختبار الشد غير المباشر وفق نسبة البيتومين التصميمية قد حققت معيار حساسية الرطوبة حيث بلغت (84.2 %)، بيمنا كانت قيمتها وفق طريقة مارشال (78.7 %).

الكلمات المفتاحية : الخلائط الإسفلتية – طريقة مارشال – طريقة السوبربيف – الثبات – الشد غير المباشر.

[*] **أستاذ مساعد – قسم هندسة المواصلات والنقل – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

[**] **طالب ماجستير – قسم هندسة المواصلات والنقل – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

مقدمة:

يستخدم الرصف المرن على نطاق واسع في رصف الطرق السورية، وهو الرصف الذي تكون طبقته السطحية من المجبول الإسفلتي، ويصمم المجبول الإسفلتي وفقاً لأحد الطرق التصميمية الخاصة بالخلطات الإسفلتية، بحيث يحقق التصميم المتطلبات الرئيسية للخلائط الإسفلتية، والتي تشمل الثبات والمتانة والمرونة ومقاومة الانزلاق[1–3].

الغاية من طرق تصميم الخلائط الإسفلتية هو تحديد المحتوى المثالي للبيتومين الذي من شأنه أن يوفر المتطلبات الأساسية للخلائط الإسفلتية، وخاصة فيما يتعلق بالثبات والمتانة. هناك العديد من طرق تصميم الخلائط المستخدمة في جميع أنحاء العالم مثل طريقة تصميم مارشال، طريقة تصميم هبارد الحقلية، طريقة تصميم هافيم، طريقة معهد الإسفلت، وغيرها من الطرق [2].

تستخدم طريقة مارشال (ASTM D–1559) لتصميم الخلطات الخرسانية الإسفلتية بشكل واسع عالمياً ومحلياً، ونظراً للطبيعة التجريبية والعيوب الخاصة بإجراءات تصميم الخلائط الإسفلتية وفق مارشال، قام برنامج أبحاث الطرق السريعة الاستراتيج (SHRP) بتطوير إجراء تصميم خلائط رصف الإسفلت عالي الأداء (SUPERPAVE) [4] . الهدف الرئيسي لبرنامج SHRP Asphalt Program هو تطوير طريقة لتصميم المزيج الذي يشتمل على مواصفات لرابط الإسفلت على أساس الأداء واختبارات سريعة تعتمد كذلك على الأداء[5].

في سوريا يتم دراسة وإنشاء الطرق وفقاً لأفضل المعايير والمواصفات الممكنة. بعد فترة قصيرة من الخدمة، أظهرت بعض هذه الطرق علامات مشاكل كبيرة بسبب الظروف البيئية القاسية من حرارة و رطوبة وحمولات حركة المرور، سبب آخر يساهم في هذه المشاكل المبكرة هو استمرار استخدام تصميم الخلائط الإسفلتية وفق طريقة مارشال.

يعاني التصميم وفق طريقة مارشال من محدودية الدقة في تحديد التأثيرات الكاملة للتغيرات في الظروف البيئية وظروف التحميل، وخصائص المواد وأنواعها على أداء الرصف.

بدأت الدول المجاورة لسوريا في تقييم تكييف البرامج المطورة حديثا منذ عام 1992. أدرجت المملكة العربية السعودية طريقة السوبربيف Superpave في مواصفاتها في عام 2008 كما اعتمدت بعض الدول المجاورة طريقة السوبربيف في تصميم الخلائط الإسفلتية بدلاً من طريقة مارشال، ولم يتم اتخاذ خطوات جادة نحو اعتماد برنامج SHRP في سورية.

تعتمد طريقة السوبربيف معايير خاصة لتصميم الخلطة الإسفلتية، فقبل البدء بعملية تصميم الخلطة الإسفلتية الحارة لمشروع ما، فانه يجب أولا تحديد مواصفات و متطلبات الخلطة الخاصة بالمشروع والتي يتم تحديدها واختيارها من المتطلبات العامة للسوبر بيف بناء على ثلاثة معايير (حجم المرور المتوقع على المشروع، المقاس الأعظمي الاسمي للحصويات، الموقع).

بعد القيام باختيار الرابط الإسفلتي والتحقق من مطابقته للمواصفات المطلوبة، واختيار الحصويات اعتماداً على معايير الأداء للحصويات وانجاز الهيكل التصميمي للحصويات بالاعتماد على عملية التجريب والخطأ، بحيث تشمل مزج أقطار الحصويات المتوفرة المخزنة بنسب مختلفة حتى الوصول إلى التدرج الحبي الموافق لمتطلبات السوبربيف، ويتم تصميم ثلاث خلطات حصوية تجريبية عادة لهذا الغرض.

إن خطوة اختيار نسبة الرابط الإسفلتي المثالية تعتبر عملية مهمة، تتألف حيث يتم خلطها مع الخلطة الحصوية التصميمية التي تم اعتمادها للحصول على خصائص حجمية ورص مقبول ومقارنتها مع معايير الخلطة الإسفلتية، والتي تعتمد على الأحمال المرورية والشروط المناخية، حيث يتم تحديد حمولة المحور المكافئ (ESALs) المعتمدة في

الحارة التصميمية، و مستوى المرور (Traffic level) الخاص بالمنطقة، ويستخدم لتحديد المتطلبات التصميمية مثل: عدد دورات الرص التصميمية، متطلبات الخصائص الفيزيائية للحصويات، المتطلبات الحجمية للخلطة.

لقد تم تطوير جهاز الرص الدوراني Superpave Gyratory Compactor (GCM) في نظام السوبربيف لرص عينات الخلطة الإسفلتية بطريقة زاوية دورانية تمثل حركة المداحل الفعلية، وتحاول أن تكون أقرب مايمكن إلى شروط التحميل والشروط المناخية التي تتعرض لها طبقات الرصف، حيث تستخدم عينات أسطوانية بقطر 6 انش (15 cm) أو 4 انش (10 cm) ويدور القالب بشكل محوري بسرعة 30 دورة/دقيقة وبزاوية مقدارها 1.25 درجة. حيث يحتوي الجهاز على نظام الكتروني لقياس قوة الضغط وتغيير سماكة العينة مع الرص، يتم تحديد عدد الدروات المطلوبة وذلك بحسب حركة المرور، حيث يتوفر ثلاث أنماط من عدد الدورات تشمل (يمثل Nini : عدد الدورات الابتدائي، Ndes : عدد الدورات التصميم ، Nmax : عدد الدورات الأعظمي)، ويتم تحديد درجة حرارة الخلط والرص حسب العلاقة بين درجة الحرارة واللزوجة للبيتومين [8].

تعتبر الفراغات الهوائية أحد معايير التصميم الحجمي الرئيسية في طريقة السوبربيف بالإضافة للفراغات بين الحصويات والفراغات المليئة، وإن فهم العلاقة بين الأنواع الثلاثة للفراغات يعتبر مهماً لتحليل أساسيات التصميم الحجمي، حيث أن تحقيق العلاقة مخبرياً قد يختلف عن تحقيق مستوى أداء مقبول للرصف على مدى عشرين عاماً.

قدم Hafez &Witczak [6] دراسة مقارنة الخلائط المصممة بطريقة السوبربيف من المستوى الاول و الخلائط المصممة بطريقة مارشال وفق لمستوى مرور عالي، من خلال تصميم (14) خلطة إسفلتية ودراسة تأثير طريقة تصميم الخلطات على استخدام المعدلات ومنها المطاط، كما قدمت الدراسة العلاقة بين عدد الدورات في الرص الدوراني والكثافة النظرية الأعظمية للخلطات وباستخدام نسب إسفلتية مختلفة، حيث يلاحظ ازدياد الكثافة النظرية الأعظمية بزيادة عدد دورات الرص الدوراني، وتصل العينات إلى الكثافة القصوى بعدد دورات أقل عندما تكون نسبة الإسفلت مرتفعة.

كما قام HABIB وأخرون [7] بإجراء مقارنة للخلائط المصممة بطريقة السوبربيف ومارشال للطرق منخفضة المرور والاكتاف، باستخدام حصويات محلية لمقارنة مدى ملاءمة الخلطة المصممة بالسوبربيف بالمقارنة مع الخلائط المصممة بمارشال، بينت النتائج انخفاض محتوى الإسفلت للخلائط المصممة بطريقة السوبربيف مقارنة مع مارشال، وتزداد نسبة البيتومين المثالية بزيادة نسبة الرمل النهري الخشن، وتوصلت الدراسة إلى أنه يؤدي تصميم الخلائط وفق طريقة السوبربيف Superpave للطرق والأكتاف منخفضة حجم المرور إلى تقليل محتوى البيتومين مقارنةً بطريقة مارشال، وتعتبر خلائط السوبربيف اقتصادية في هذه التطبيقات بسبب انخفاض محتوى البيتومين عدا عن العمر الأطول للرصف.

كما قام Bryan[8] بدراسة مقارنة لتصميم الخلائط الإسفلتية باستخدام طريقة مارشال وطريقة السوبربيف، حيث عرض التقرير دراسة نظرية لتصميم الخلائط الإسفلتية باستخدام طريقتي مارشال والسوبربيف والخطوات المتبعة في كل طريقة لتصميم الخلائط، ومن ثم قدم التقرير دراسة عملية لتصميم مجموعة من الخلائط الإسفلتية باستخدام طريقة مارشال والسوبربيف، ومن ثم مقارنة خواص التصميم لكل خلطة عبر دراسة كثافة الخلائط الإسفلتية ونسب الفراغات الهوائية والمليئة والفراغات بين الحصويات باختلاف طريقة الرص.

Magdi وأخرون [9] قدم دراسة مقارنة تصميم الخلائط الإسفلتية المصممة بطريقة السوبربيف وطريقة مارشال للطرق السودانية، تم إجراء عمل مخبري شامل وباستخدام مواد محلية لتصميم خلطات إسفلتية وفق طريقة السوبربيف وخلطات وفق طريقة مارشال لظروف مرور ثقيل وبحسب نظام درجات الحرارة السائدة ومناقشة نتائج التصميم وفق

كل طريقة، وتوصلت دراسة JIANG وأخرون [10] إلى ان التصميم بطريقة السوبربيف أفضل من التصميم بطريقة مارشال وذلك بعد مقارنة وتحليل طريقة تصميم السوبربيف ومارشال للخلائط الإسفلتية.

أهمية البحث وأهدافه:

يقع هذا البحث في مجال هندسة المواصلات والنقل (مواد طبقات الرصف الطرقي) ويختص في مجال دراسة طرق تصميم الخلائط الإسفلتية. يهدف هذا البحث إلى تسليط الضوء على طريقة تصميم الخلائط الإسفلتية وفق السوبربيف SUPERPAVE الجديدة في سورية بناءً على خصائص مواد البناء المحلية والظروف المناخية.

تبرز أهمية البحث في الخروج عن النطاق التقليدي في تصميم الرصف المحلي و وضع مراحل متقدمة في تصميم خلائط الرصف الإسفلتي بحيث تقوم هذه المراحل بمحاكاة المتطلبات والشروط المطلوبة عالمياً وبالتالي تقليل كلف الرصف المحلي و زيادة ديمومته وفق الشروط والظروف المناخية والحمولات المطبقة وكثافات السير التي تؤثر على الرصف، و تسليط الضوء على أحدث طريقة في تصميم الخلائط الإسفلتية.

طرائق البحث ومواده:

تم إنجاز البحث اعتماداً على دراسة مخبرية تجريبية من خلال تصميم خلائط إسفلتية ساخنة باستخدام طريقتي مارشال و السوبربيف ومقارنة نتائج التصميم وفق كلا الطريقتين، والمواد المستخدمة في تصميم الخلائط الإسفلتية هي:

1- البيتومين: تم استخدام نوع واحد من البيتومين في تصميم عينات البحث، البيتومين المستخدم في الدراسة هو بيتومين ذي صنف (60-70) وتم الحصول عليه من مصفاة بانياس واختباره وفق المواصفات السورية، ويبين الجدول (1) نتائج توصيف البيتومين المستخدم.

نجد من نتائج الجدول (1) أن البيتومين المستخدم في الدراسة هو من الصنف (60-70) وهو محقق للمتطلبات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل العام 2002.

2- الحصويات: استخدم في البحث حصويات كلسية قاسية مكسرة وقطر أكبر حبة لا يزيد عن 19 mm، تم الحصول عليها من أحد الكسارات الخاصة، ويتم اختبارها وفقاً لطريقة التصميم للخلطة الإسفلتية.

الجدول (1) نتائج اختبار البيتومين

نوع الاختبار	نتائج الاختبار	المتطلبات الفنية وفق ASTM D946
الغرز (25 °C)100g,5sec , (0.1mm)	64.0	60-70
نقطة الوميض والاشتعال (°c)	درجة الوميض 246 °C	min (232 C°)
	درجة الاشتعال 262 °C	
استطالة الإسفلت (25 °C) 5cm/min , (cm)	131	min 100.0
نقطة التميع (Softening Point Test) (°c)	51.0	52-48
النقص في الوزن (LOSS On Heating) (%)	0.5	Max 1 %

1- التصميم وفق طريقة مارشال : يتم تحضير الحصويات المحققة للتدرج الحبي المعتمد والموافقة للحزمة النظامية المعتمدة، ومن ثم تجفيفها في فرن بدرجة حرارة (125-200 درجة مئوية) والمحافظة على درجة حرارتها حتى البدء بعملية الخلط، ومن ثم يتم تسخين الرابط الإسفلتي إلى درجة الحرارة اللازمة لتغليف كامل الحصويات بالإسفلت، ومن ثم إضافة الرابط الإسفلتي المسخن بالنسب التالية وزناً (4.0- 4.5- 5.0- 5.5- 6.0 %)، وإعداد ثلاث قوالب من قوالب مارشال لكل نسبة وفق المتطلبات الفنية لطريقة مارشال، بحيث يتم تشكيل 15 قالب بـ(75) طرقة على كل وجه، وبعد نزعها، يتم غمر عينات الخلطة الإسفلتية المرصوصة بحمام مائي لمدة (30 min) وعند درجة حرارة (60 C°)، ثم يتم تحديد كثافتها وكلاً من الثبات والانسياب و كافة عناصر مارشال، ثم يتم رسم منحنيات مارشال وتم تحديد نسبة البيتومين على كل منحن والمحققة للكثافة العظمى والثبات الاعظمي ومتوسط المتطلبات الفنية للانسياب والفراغات الهوائية والفراغات المليئة بالإسفلت، وتم تحديد نسبة البيتومين المثالية المحققة للمتطلبات الفنية لطبقة المجبول الإسفلتي، تم إعداد جميع عينات الخلطات الإسفلتية المدروسة وفق طريقة مارشال للتصميم بحسب المواصفة (ASTM-D-1559) مع استخدام (75) طرقة قياسية لتصميم الخلطات الخرسانية الإسفلتية الساخنة.

2-التصميم وفق طريقة سوبربيف : تعتمد طريقة السوبربيف لتصميم الخلطة الإسفلتية أربع خطوات رئيسية في الاختبار والتحليل : (اختيار المواد الداخلة في الخلطة الإسفلتية (الحصويات ، الرابط الإسفلتي)، اختيار التركيب الحبي للحصويات (الخلطة الحصوية)، اختيار محتوى الإسفلت التصميمي، تقييم الخلائط الإسفلتية وفق نسبة البيتومين المثالية). يتعلق اختيار المواد على تحديد العوامل المرورية والبيئية لمشروع الرصف المعتمد. وفق ذلك يتم تحديد صنف الرابط الإسفلتي المطلوب للمشروع، ويتم تحديد المتطلبات الخاصة بالحصويات بناءً على مستوى الحركة و سماكة الطبقة. يتم اختيار المواد بناءً على قدرتها على تلبية المواصفات المطلوبة بعد أن يتم اعتماد التراكيب الحبية، يتم تحديد خواص الحصويات وفق كل خلطة حصوية تجريبية، وذلك وفق نسب الخلط الخاصة بكل خلطة تجريبية، ومن ثم انتاج خلائط إسفلتية بنسب بيتومين تجريبية يتم تحديدها بالاعتماد على الأوزان النوعية للخلطات الحصوية التجريبية، ومن ثم رص عينات الخلطة الإسفلتية وفق طريقة الرص الدوراني وبعدد دورات وفق (Nini=8 , Nmax=160 , Ndes=100) والخاصة بحجم حركة مرور متوسط إلى كثيف، ومن ثم تم رص العينات وفقاً ل Ndes لتقييم الخواص الحجمية وباعتماد نسبة فراغات هوائية (4%) لتحديد نسبة الإسفلت المثالية، وسيتم رص كل عينة وفقا لعدد الدورات التصميمي، مع تسجيل البيانات الخاصة بارتفاع العينة أثناء عملية الرص الدوراني SGC. وخلال عملية الرص للعينة، يتم مراقبة ارتفاع العينة بشكل مستمر. بعد اكمال الرص، يتم سحب العينة من القالب وتترك لتبرد، بعد ذلك يتم تحديد الوزن النوعي (Gmb) للعينة باستخدام المواصفة AASHTO_T166. يتم تحديد الوزن النوعي الأعظمي Gmm لكل مزيج باستخدام AASHTO_T209.

بعد تحديد الهيكل التصميمي للحصويات المستخدمة في الخلطة الإسفلتية، يتم رص عينات خلائط إسفلتية بنفس الهيكل التصميمي المعتمد مع نسب بيتومين متباينة. ليتم بعد ذلك تقييم خصائص الخلطات الإسفلتية الجديدة لتحديد محتوى الرابط الإسفلتي التصميمي. الخطوة التالية هي تقييم حساسية الرطوبة للخلطة التصميمية. حيث يتم تحقيق هذه الخطوة من خلال إجراء اختبار وفق (AASHTO T 283) على مزيج الحصويات التصميمي وذلك وفق محتوى رابط إسفلتي تصميمي، والذي تم إيجاده وفق الخطوة السابقة لعملية التصميم. يتم رص العينات وذلك وفق نسبة فراغات هوائية بحدود (7٪)، بحيث يتم رص 6 عينات على الأقل. يتم تقسيم العينات المرصوصة إلى مجموعتين : المجموعة الأولى (ثلاثة عينات) يتم حفظها ضمن ظروف جافة، وذلك لحساب قيمة الشد غير المباشر في الحالة

الجافة (ITS dry)، أما بالنسبة للمجموعة الثانية، فيتم تعريضها لظروف رطوبة من خلال غمرها ضمن حمام مائي وبدرجة حرارة الغرفة وذلك لمدة (3 أيام)، ومن ثم إيجاد قيمة الشد غير المباشر في الحالة الرطبة (ITS wet).

أخيراً ، يتم تحديد حساسية الرطوبة (TSR) كنسبة لإجهاد الشد غير المباشر في الحالة الرطبة على اجهاد الشد غير المباشر في الحالة الجافة، العلاقات الحسابية المستخدمة وفق التالي:

$$ITS = \frac{2000*P}{\pi*D*H}$$

حيث : ITS : مقاومة الشد غير المباشر (Kpa).

P : الحمولة المطبقة لحظة الانهيار (N) ، D: قطر العينة (mm) ، H ارتفاع العينة (mm).

$$TSR = \frac{ITS_{wet}}{ITS_{dry}}$$

حيث : TSR حساسية الرطوبة للعينة .

ITSwet : مقاومة الشد غير المباشر للعينة في الحالة الرطبة.

ITSdry: مقاومة الشد غير المباشر للعينة في الحالة الجافة .

لا توجد مواصفات قياسية متاحة لتصميم الخلائط الإسفلتية وفق طريقة السوبربيف في سوريا، وتمت الاستعانة بالمواصفة الأمريكية لتصميم الخلطات الإسفلتية وفق طريقة السوبربيف.

النتائج والمناقشة:

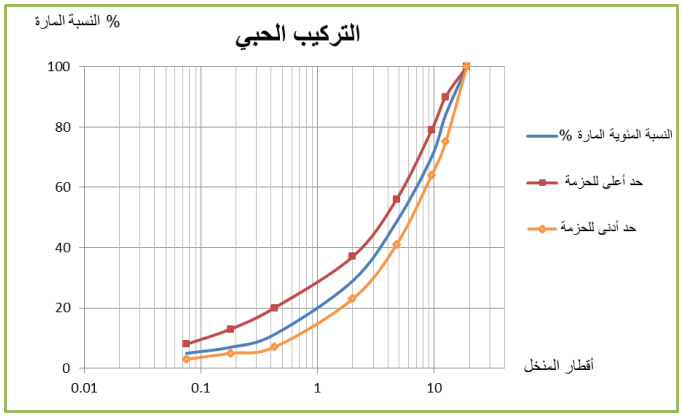
1- نتائج التصميم وفق طريقة مارشال:

بعد القيام بالعمل المخبري التجريبي وفق ما هو محدد سابقاً، نبين في الجدول (2) نتائج اختبار توصيف الحصويات وفق متطلبات طريقة مارشال:

الجدول(2) نتائج اختبارات الحصويات

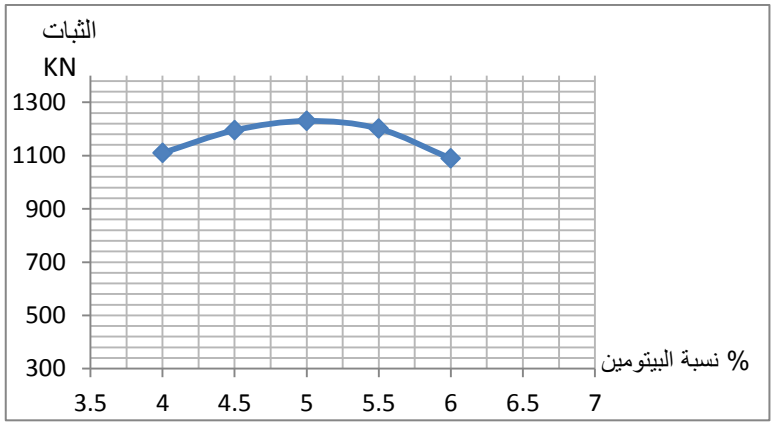
نوع الاختبار	نتيجة الاختبار
المكافئ الرملي %	71
فاقد الاهتراء وفق لوس انجلوس %	28
امتصاص الماء (خشنة)	0.347
امتصاص الماء (ناعمة)	0.458
الوزن النوعي الفعال	2.584

نلاحظ من الجدول (2) أن الحصويات المستخدمة في تصميم الخلطة الإسفلتية هي حصويات كلسية ومحققة للمواصفات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل العام 2002. كما نبين في الشكل (1) منحني التركيب الحبي المعتمد والخاص بخلطة طبقة اهتراء مجبول إسفلتي و الحزمة النظامية المعتمدة.

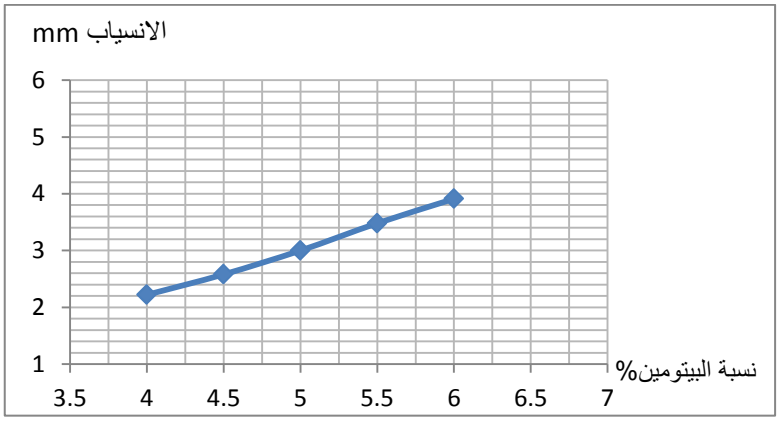


الشكل (1) التحليل الحبي والحزمة النظامية المستخدمة في تصميم الخلطة الحصوية

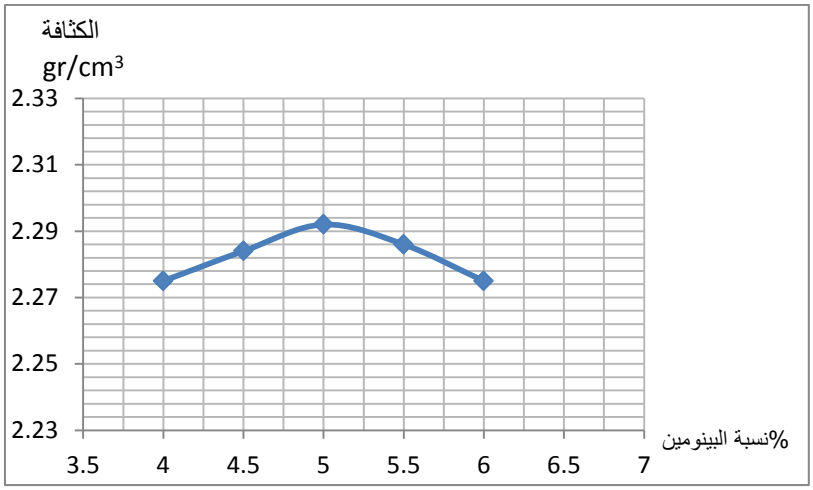
بحسب نتائج التصميم يتم رسم منحنيات مارشال وتحديد نسبة البيتومين على كل منحني والمحققة للكثافة العظمى والثبات الأعظمي ومتوسط المتطلبات الفنية للانسياب والفراغات الهوائية والفراغات المليئة بالإسفلت لتحديد نسبة البيتومين المثالية المحققة للمتطلبات الفنية لطبقة اهتراء مجبول إسفلتي.



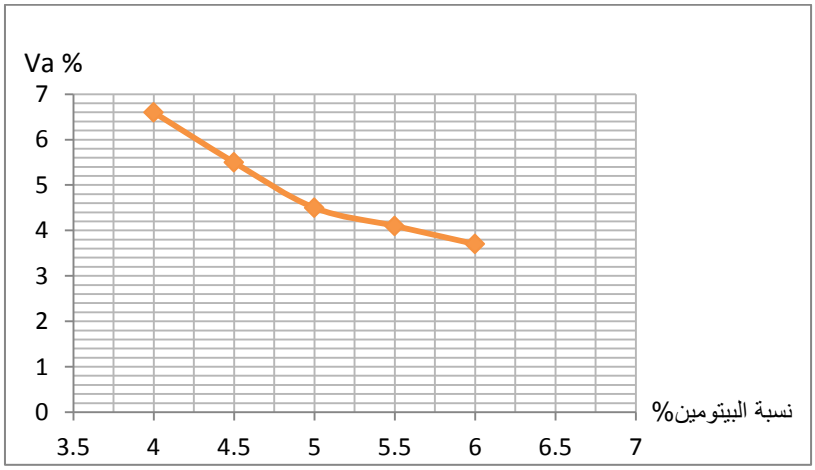
الشكل (2) منحني الثبات – نسبة البيتومين للخلطة الإسفلتية



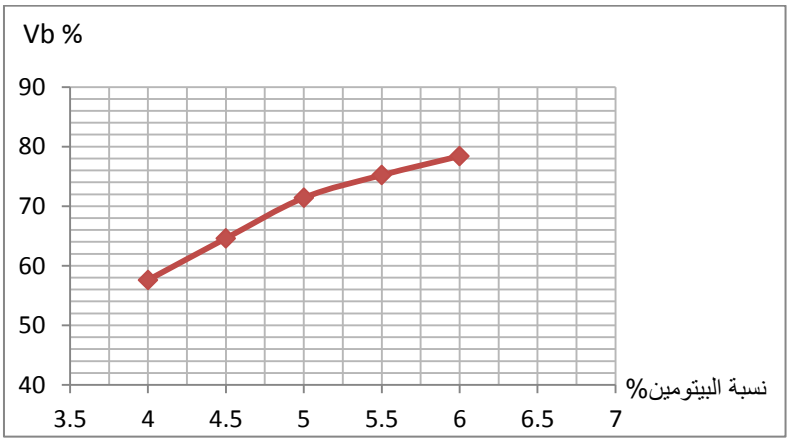
الشكل (3) منحني الانسياب – نسبة البيتومين للخلطة الإسفلتية



الشكل (4) منحني كثافة مارشال – نسبة البيتومين للخلطة الإسفلتية



الشكل (5) منحني الفراغات الهوائية – نسبة البيتومين للخلطة الإسفلتية



الشكل (6) منحني الفراغات المليئة – نسبة البيتومين للخلطة الإسفلتية

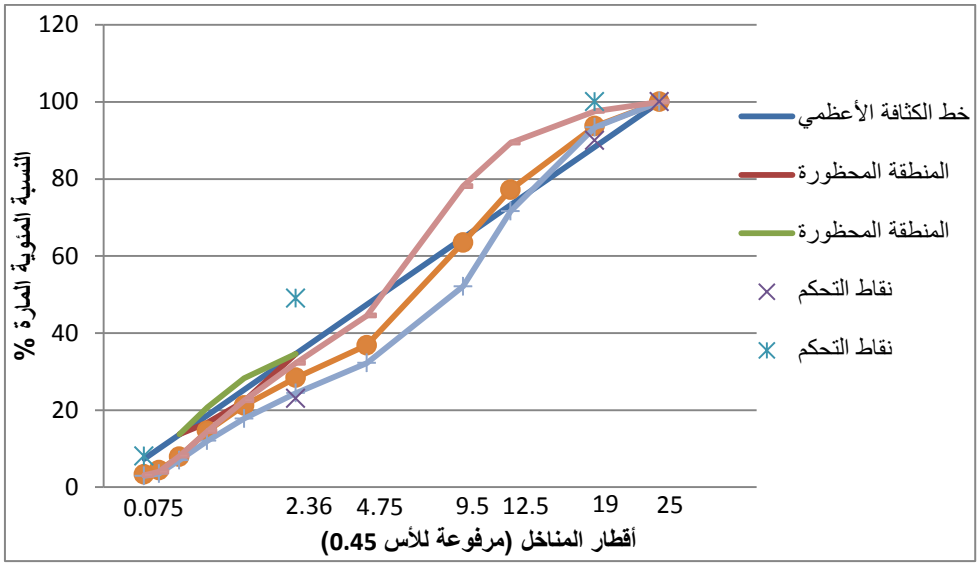
من النتائج السابقة وبالاعتماد على منحنيات مارشال (الثبات، الانسياب، الكثافة، الفراغات الهوائية والمليئة) تم تحديد نسبة البيتومين المثالية ونبين في الجدول (3) خصائص الخلطة الإسفلتية التصميمة، باعتماد نسبة بيتومين أصولية (5.2 %) كمتوسط لنسبة البيتومين التي تحقق أكبر قيمة للثبات ونسبة بيتومين محققة لكثافة أعظمية ونسبة فراغات هوائية (4%).

الجدول(3) خصائص الخلطة الإسفلتية التصميمة

الخاصة	القيمة	الحدود المسموحة وفق المواصفات السورية
نسبة البيتومين المثالية %	5.2	–
الثبات (Kg)	1228	1100<
الانسياب (mm)	3.0	2 – 4
الكثافة (gr/cm3)	2.291	–
نسبة الفراغات الهوائية (%)	4.0	3 – 5
نسبة الفراغات المليئة (%)	72.7	85 – 65

2- نتائج التصميم وفق طريقة السوبربيف:

لتحديد الهيكل الحصوي التصميمي، نقوم بتصميم خلائط حصوية بنسب مختلفة من الحصويات الخشنة والناعمة بشكل تجريبي من خلال الجمع بين كل نسبة مئوية مارة لكل منخل، وتتم مقارنة التدرج مع المواصفات المطلوبة للتركيب الحبي وفق الحد الأدنى والأعلى وحدود المنطقة المقيدة وفق المناخل، نبين في الشكل (7) التراكيب الحبية للخلطات التجريبية الثلاثة وحدود المنطقة المحظورة بالإضافة لنقاط التحكم المطلوبة. وبعد أن يتم اعتماد التراكيب الحبية، يتم تحديد خواص الحصويات وفق كل خلطة حصوية تجريبية، وذلك وفق نسب الخلط الخاصة بكل خلطة تجريبية، ويبين الجدول (4) نتائج توصيف الحصويات الخاصة بكل خلطة تجريبية. يتم تحديد نسبة البيتومين التجريبية اعتماداً على الأوزان النوعية للخلائط الحصوية والبيتومين المستخدم، ومن ثم يتم رص العينات وفق الرص الدوراني وباستخدام عدد دورات (Nmax=160 , Ndes=100 , Nini=8) والخاصة بحجم حركة مرور متوسط إلى كثيف .



الشكل (7) التراكيب الحبية الحصوية المستخدمة في خلائط السوبربيف

الجدول (4) نتائج توصيف حصويات الخلطات التجريبية

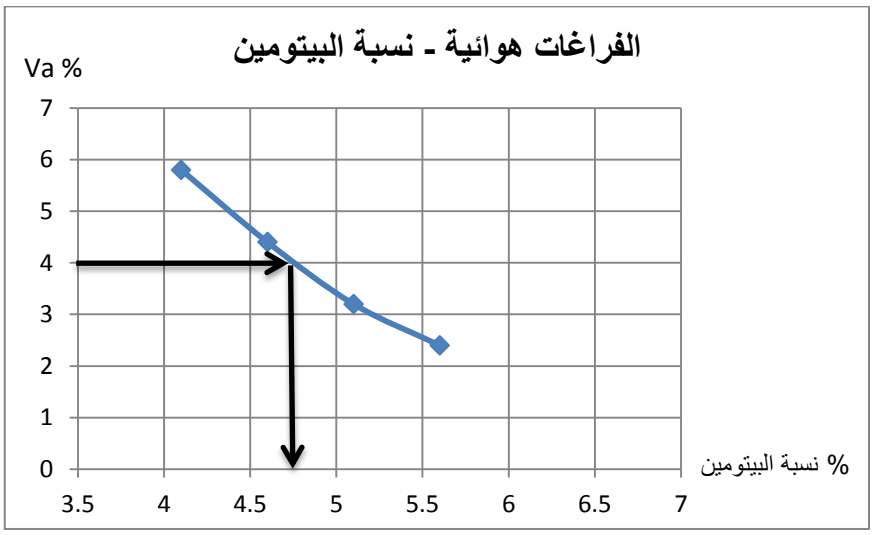
خواص الحصويات المستخدمة في الخلطة الإسفلتية				
الخاصة	الخلطة (1)	الخلطة (2)	الخلطة (3)	المعايير التصميمية (حركة مرور كثيفة)
الخاصة الزاوية للحصويات الخشنة % CAA	96/93	96/92	95/92	95/90 min
الخاصة الزاوية للحصويات الناعمة % FAA	47	46	47	45 min
المكافئ الرملي %	63	62	64	45 min
التطاول والتسطح %	0	1	0	10 max
الوزن النوعي الظاهري Gsb	2.711	2.685	2.698	-
الوزن النوعي الظاهري Gsa	2.759	2.759	2.764	-

يبين الجدول (5) ملخص نتائج حسابات الخواص الحجمية للخلطات التجريبية عند عدد دورات الرص التصميمي Ndes.

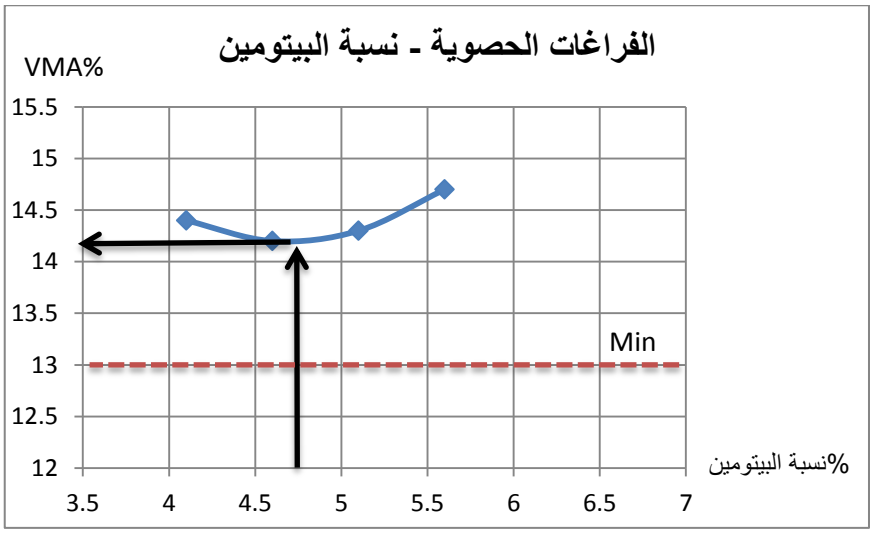
الجدول (5) نتائج حساب الخواص الحجمية للخلطات التجريبية

	1	2	3
نسبة البيتومين الأولية %	4.3	4.5	4.4
نسبة البيتومين المقدرة %	4.6	4.5	4.7
نسبة الفراغات الهوائية Va %	4.0	4.0	4.0
نسبة الفراغات الحصوية VMA %	13.7	12.9	13.5
نسبة الفراغات المليئة VFA %	70.3	68.9	70.3
D.p	0.80	0.78	0.78
%Gmm @ Nini=8	86.2	86.9	86.5

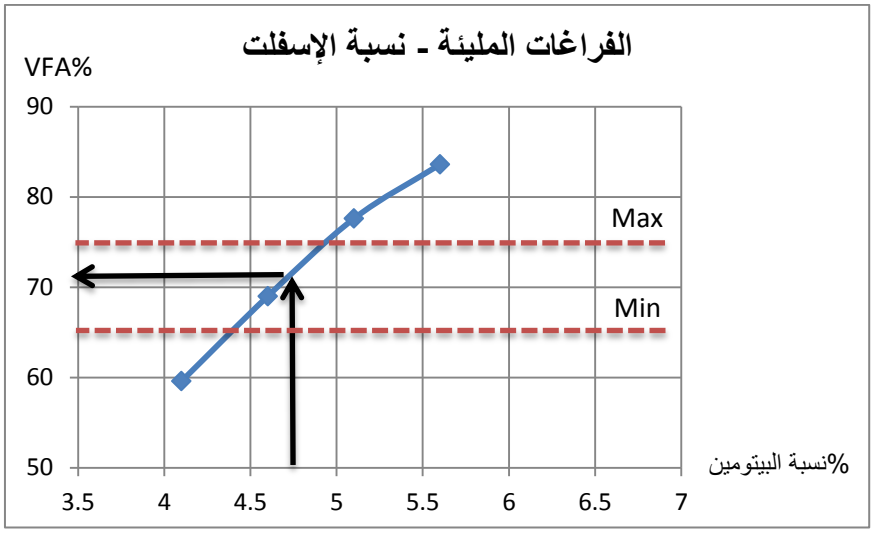
تتم مقارنة الخصائص المقدرة مع المعايير الحجمية المطلوبة لتصميم خلطات إسفلتية بحركة مرور كثيفة، ومن النتائج نجد أن كلا الخلطتين 1 و 3 مقبولة، وهي محققة لمتطلبات ومعايير VMA و VFA و D.P. و Nini. ووفق نتائج الدراسة والحسابات، يتم تحديد الخلطة التجريبية الأولى كهيكل حصويات مناسب للتصميم. بالاعتماد على الهيكل الحصوي التجريبي الأولي والذي تم اعتماده، يتم رص عينات خلائط إسفلتية وفق لنسبة البيتومين التجريبية لتحديد نسبة البيتومين المثالية وفق الخواص الحجمية، الأشكال (8،9،10،11،12) تبين العلاقة بين نسبة البيتومين وكل من نسب الفراغات الهوائية والحصوية والمليئة.



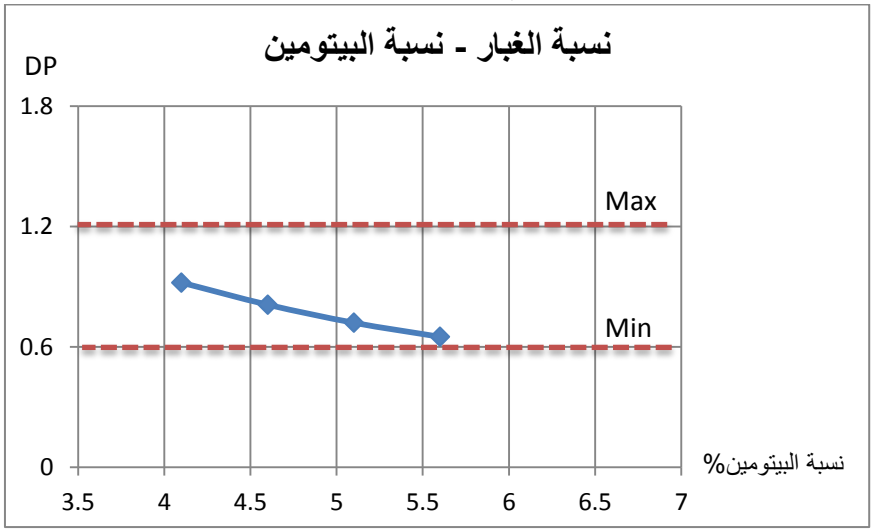
الشكل (9) منحني الفراغات الهوائية – نسبة البيتومين



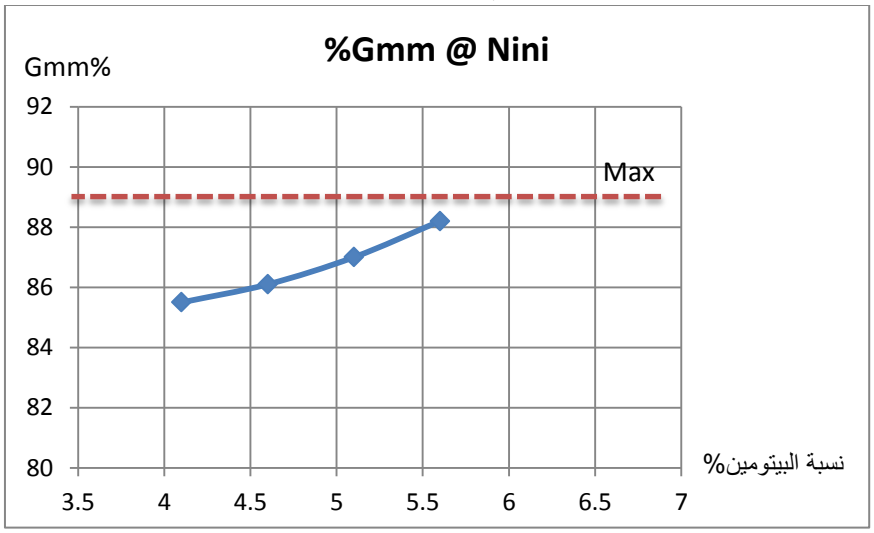
الشكل (10) منحني الفراغات الحصوية – نسبة البيتومين



الشكل (11) منحني الفراغات المليئة – نسبة البيتومين



الشكل (12) منحني نسبة الغبار – نسبة البيتومين



الشكل (13) منحني %Gmm @ Nini – نسبة البيتومين

بعد رسم المنحنيات وفق نتائج الخلطات وبالاعتماد على المعايير الخاصة بتصميم خلطة إسفلتية وفق طريقة السوبربيف والخاصة بمستوى حركة مرور كثيف المبينة، يتم تحديد نسبة البيتومين المثالية والنتائج مبينة في الجدول (6)

الجدول (6) نتائج تحديد نسبة البيتومين المثالية وفق طريقة سوبربيف

الخاصة	النتيجة	الحدود المطلوبة
نسبة البيتومين التصميمية %	4.8	–
نسبة الفراغات الهوائية % Va	4.0	4.0
نسبة الفراغات الحصوية % VMA	14.2	13.0% min
نسبة الفراغات المليئة % VFA	72.4	65%–75%
D.p	0.77	0.6–1.2
% Gmm@Nini=8	86.5	أقل من 89 %

يبين الجدول (7) نتائج قيمة الشد غير المباشر وحساسية الرطوبة للعينات المخبرية المصممة بطريقة سوبربيف :

الجدول (7) نتائج اختبار الشد غير المباشر و حساسية الرطوبة

	1	2	3
الشد غير المباشر (رطب) ITS (Kpa)	784.6	745.3	755.5
الشد غير المباشر (جاف) ITS (Kpa)	891.2	903.5	919.8
حساسية الرطوبة TSR (%)	88.1	82.5	82.1
متوسط % TSR	% 84.2		

يبين الجدول (8) نتائج قيمة الشد غير المباشر وحساسية الرطوبة للعينات المخبرية المصممة بطريقة مارشال :

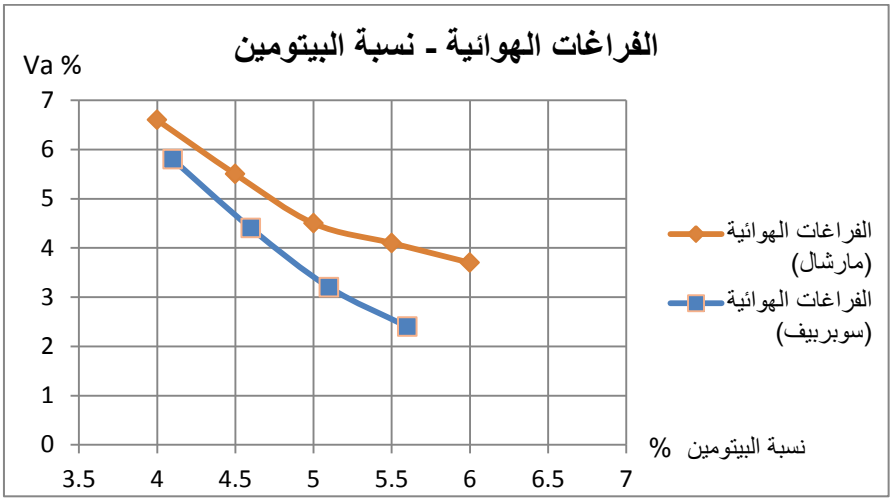
الجدول (8) نتائج اختبار الشد غير المباشر و حساسية الرطوبة

	1	2	3
الشد غير المباشر (رطب) ITS (Kpa)	697.0	719.2	683.8
الشد غير المباشر (جاف) ITS (Kpa)	903.8	887.5	875.2
حساسية الرطوبة TSR (%)	77.1	81.0	78.1
متوسط % TSR	% 78.7		

يلاحظ من نتائج اختبار الشد غير المباشر، أن نسبة البيتومين التصميمية وفق السوبربيف قد حققت معيار حساسية الرطوبة حيث بلغت (84.2 %)، والحد الأدنى المطلوب هو (80 %)، بينما حققت نسبة (78.7%) وفق مارشال.

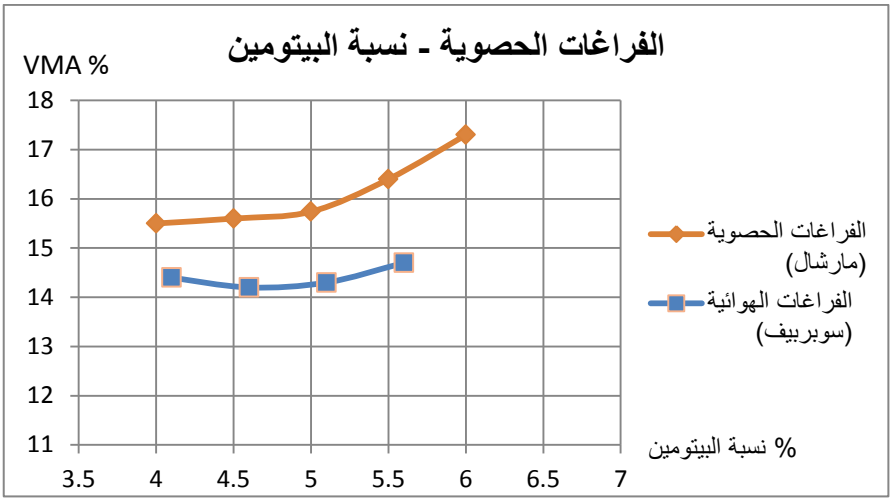
3- مقارنة ومناقشة نتائج التصميم :

بينت نتائج التصميم الخلطة الإسفلتية وفق طريقة مارشال وطريقة السوبربيف، أن نسبة البيتومين المثالية وفق طريقة مارشال بلغت (5.2 %) وزناً من الخلطة الإسفلتية، بينما انخفضت عند التصميم وفق طريقة السوبربيف إلى (4.8 %) أي بنسبة انخفاض (7.7 %) عن النسبة المثالية وفق طريقة مارشال، ومن نتائج التصميم والمقارنة مع الدراسات المرجعية، تبين أن طريقة السوبربيف تعطي نسبة رابط إسفلتي أقل من طريقة مارشال مع تحقيق المتطلبات والمعايير الخاصة بطريقة السوبربيف، وبالنسبة لمحتوى الفراغات الهوائية فإن نسب البيتومين وفق الطريقتين مبينة في الشكل (14) حيث يلاحظ انخفاض محتوى الفراغات الهوائية مع زيادة نسبة البيتومين لكلا الطريقتين، وعند نسبة فراغات هوائية (4%) تكون نسبة البيتومين وفق طريقة مارشال تساوي (5.6 %) أما وفق طريقة السوبربيف فتساوي (4.8 %)، وتتغير نسب البيتومين المثالية وفق مارشال لأن الطريقة تعتمد على متوسط ثلاثة معايير لإيجاد نسبة البيتومين المثالية (أعلى ثبات، أكبر كثافة، فراغات هوائية (3-5 %)).



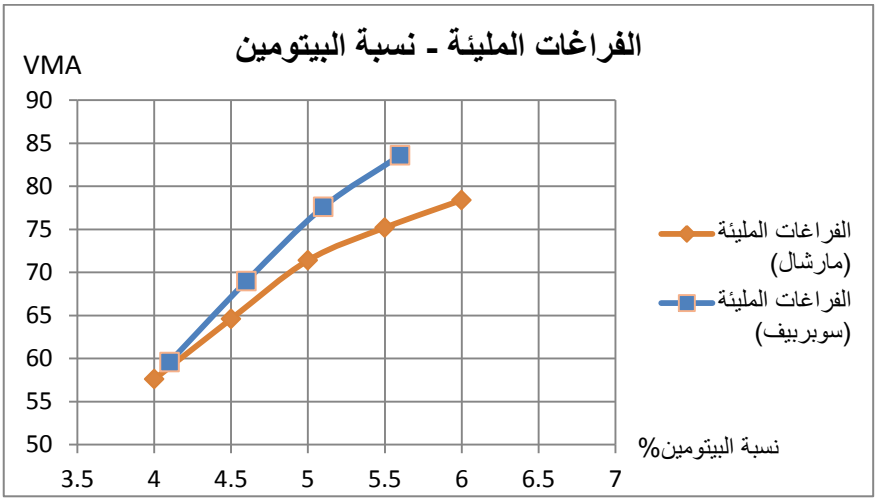
الشكل (14) منحني الفراغات الهوائية - نسبة البيتومين

كما يبين الشكل (15) العلاقة بين الفراغات الحصوية ونسبة البيتومين لكل من الخلطة المصممة وفق طريقة مارشال والخلطة المصممة وفق طريقة السوبربيف، ويلاحظ من الشكل انخفاض نسب الفراغات الحصوية في طريقة السوبربيف مقارنة مع طريقة مارشال، حيث بلغت نسبة الفراغات الحصوية (15.9 %) عند نسبة البيتومين المثالية وفق طريقة مارشال، وبلغت (14.2 %) عند نسبة البيتومين وفق طريقة السوبربيف.



الشكل (15) منحني الفراغات الحصوية – نسبة البيتومين

ويرافق هذا الانخفاض في الفراغات الحصوية زيادة في الفراغات المليئة بالبيتومين كما هو مبين في الشكل (16) حيث يوضح العلاقة بين نسب الفراغات المليئة ونسب البيتومين لكلا الطريقتين، وبلغت نسبة الفراغات المليئة (72.7 %) عند نسبة البيتومين المثالية وفق طريقة مارشال، وبلغت (72.4 %) عند نسبة البيتومين وفق طريقة السوبربيف.



الشكل (16) منحني الفراغات المليئة – نسبة البيتومين

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1- بلغت نسبة البيتومين المثالية وفق طريقة مارشال (5.2 %)، بينما انخفضت نسبة البيتومين المثالية وفق طريقة السوبربيف وبلغت (4.8 %).

2- بينت نتائج التصميم وفق طريقة مارشال وعند نسبة البيتومين المثالية قيمة للثبات (1225 kg) مع تحقيق معيار الانسياب وفق المواصفات السورية، كما كانت نتائج الفراغات المليئة والهوائية ضمن الحدود المطلوبة.

3- استخدم في طريقة التصميم وفق السوبربيف ثلاثة خلطات حصوية تجريبية، وبينت نتائج التصميم أن الخليطين الأول والثالث قد حققت المعايير المطلوبة، بينما فشل الخليط الثاني في تحقيق المواصفات، وتم اعتماد الخلطة التجريبية الأولى في التصميم النهائي كهيكل حصوي.

4- حققت نتائج التصميم عند نسبة البيتومين المثالية وفق طريقة السوبربيف المعايير المطلوبة للتصميم حيث بلغت نسبة الفراغات الحصوية (14.2 %) والفراغات المليئة (72.4 %) ونسبة الغبار (0.77)، وبينت نتائج اختبار الشد غير المباشر وفق نسبة الإسفلت التصميمية قد حققت معيار حساسية الرطوبة حيث بلغت (84.2 %).

التوصيات:

نوصي بالبدء في اعتماد طريقة السوبربيف في تصميم الخلطات الإسفلتية السورية وإنجاز مواصفات ومعايير خاصة بالظروف المناخية السورية المختلفة بحسب طريقة السوبربيف.

References:

1- Roberts F, Mohammad M, Wang L. History of hot mix asphalt mixture design in the USA. J Mater Civil Eng 2002;14(4):279–93.

2- Ibrahim M. Asi. Performance evaluation of SUPERPAVE and Marshall asphalt mix designs to suite Jordan climatic and traffic conditions Construction and Building Materials 21 (2007) 1732–1740

3- Brown R, Kandhal P, Zhang J. Performance testing for hot mix asphalt. National Center for Asphalt Technology, Report No. 2001- 05A, Auburn University, Alabama; 2001.

4- Federal Highway Administration (FHWA). Background of SUPERPAVE asphalt mixture design and analysis. Publication No. FHWASA- 95-003, US Department of Transportation, Washington, DC; 1995.

5- Asphalt Institute (2001). Superpave Mix Design Series No. 2 (SP-2), Asphalt Institute Research Center, Lexington, KY.

6- Ihab H. Hafez , Matthew W. Witczak (1995)." Comparison of Marshall and SUPERPAVE Level I Mix Design for Asphalt Mixes ".Department of Civil Engineering ,University of Maryland

7- AFFAN HABIB, MUSTAQUE HOSSAIN, RAJESH KALDATE, AND GLENN A. FAGER (1998)." Comparison of Superpave and Marshall Mixtures for Low-Volume Roads and Shoulders" TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 1609

8- Bryan Pidwerbesky . (2002)." Comparison of Gyratory and Marshall Asphalt Design Methods for New Zealand Pavement Mixes " New Zealand Research Report 232.43 . 2002

9- Magdi M. E. Zumrawi and Samir A. Sheikh Edrees, (2016) " Comparison of marshall and superpave asphalt design methods for Sudan pavement mixes " International Journal of Scientific and Technical Advancements, Volume 2, Issue 1, pp. 29-35, 2016.

10- Rui Nan JIANG, Bao Lin ZHU, Liang CHANG ,(2016) " The design of Superpave compared with Marshall design method " MATEC Web of Conferences 63, 02007 (2016) DOI: 10.1051/matecconf/2016630

11- Bahia HU. Bibliographies for physical properties of asphalt cement. SHRP-A-626, National Research Council, Washington, DC.