The possibility of design the asphalt mixtures using foamed asphalt

Dr. Rami Hanna[1]
Dr. Bassam Sultan[2]
Ali Saleh[3]

(Received 17 / 2 / 2019. Accepted 15 / 5 / 2019)

□ ABSTRACT □

A safe and effective road system needs to provide a significantly sustainability roads pavement. According to the lofty principles for the development and modernization process, especially in the exceptional circumstances of our country and the next phase of reconstruction, Services through the development of methods and upgrade it, especially in the transport sector as the most important sector within any country.

The traditional asphalt mixtures suffer from low weather resistance and low durability, with average rehabilitation every five years. This study focused on the possibility of manufacturing asphalt mixtures using foam asphalt within study the possibility of manufacturing foamed asphalt, considering the possibility of manufacturing locally. The main objective of this research is to increase the design age of pavement and easily constructed in addition to increase the durability of bituminous mixtures to the effect of external factors and to provide of building costs where the providing by using foamed asphalt has reached to (7-12) %.

We could design a small device for the production of foam asphalt (can be developed), the required quantity has been produced for conducting experiments and studying the reality of asphalt mixtures locally.

Over all, the final result prove that the use of foam asphalt increases the properties of asphalt mixtures and its main requirements than the normal mixtures and gives indicators to increase the durability of pavement.

key words: Foam Asphalt, Ideal Moisture Content, Process, RAP, HMA, Bitumen Foaming, Expansion Ratio.

[1]**Assistant Professor،Departmentof transportation،Faculty of civil engineering، TishreenUniversity، Lattakia، Syria**
[2]**Assistant Professor،Departmentof transportation،Faculty of civil engineering،TishreenUniversity ،Lattakia، Syria.**
[3]**Master student،Departmentof transportation،Faculty of civil engineering، TishreenUniversity، Lattakia،Syria. Eng.alosh79@gmail.com**

البحث بإمكانية تصميم الخلائط الإسفلتية باستخدام الإسفلت الرغوي

د. رامي حنا[1]

د. بسام سلطان[2]

علي صالح[3]

(تاريخ الإيداع 17 / 2 / 2019. قُبِل للنشر في 15/ 5 / 2019)

□ ملخّص □

أدت الحاجة إلى توفير نظام طرق آمن وفعال، لزيادة كبيرة في الطلب على وسائل تزيد من ديمومة الرصف الطرقي، وانطلاقاً من المبادئ السامية الرامية إلى استكمال مسيرة التطوير والتحديث وخصوصا في ظل الظروف الاستثنائية التي يعيشها بلدنا ومرحلة إعادة الأعمار القادمة فيجب أن نولي الاهتمام الكبير لتحسين مستوى الخدمات من خلال تطوير أساليب ترفع من سويتها خصوصا في قطاع النقل باعتباره القطاع الأهم ضمن قطاعات أي بلد.

تعاني الخلائط الإسفلتية التقليدية من ضعف في مقاومتها للعوامل الجوية مما يؤثر على ديمومتها حيث تتم إعادة تأهيل الطرق وسطياً كل خمس سنوات.

تم التركيز في بحثنا على إمكانية تصنيع خلائط اسفلتية باستخدام الإسفلت الرغوي مع دراسة إمكانية تصنيع الاسفلت الرغوي نفسه محليا وتكمن أهمية البحث في زيادة العمر التصميمي للرصف وسهولة تنفيذ خلائط الإسفلت الرغوي بالإضافة إلى زيادة ديمومة الخلطات البيتومينية ومقاومة العوامل الخارجية وتوفير في كلف الإنشاء حيث بلغ الوفر باستخدام الاسفلت الرغوي ما بين 7−12%.

تمكنت من تصنيع جهاز صغير (قابل للتطوير) لإنتاج الإسفلت الرغوي يعطي الكمية اللازمة لإجراء التجارب ودراسة واقع الخلطات الإسفلتية محلياً.

توصل البحث إلى أن استخدام الإسفلت الرغوي يزيد من خواص الخلطات الإسفلتية ومتطلباتها الاساسية مقارنة بالخلطات العادية ويعطي مؤشرات لزيادة ديمومة الرصف الطرقي.

الكلمات المفتاحية: الإسفلت الرغوي، محتوى الرطوبة المثالي، معالجة، المكشوط الأسفلتي،HMA ،إرغاء البيتومين، نسبة التوسع.

[1]أستاذ مساعد، قسم هندسة المواصلات، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

[2]أستاذ مساعد، قسم هندسة المواصلات، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

[3]طالبدراساتعليا(ماجستير)، قسمهندسة المواصلات والنقل، كليةالهندسة المدنية، جامعةتشرين،اللاذقية، سوريا.

Eng.alosh79@gmail.com

مقدمة:

يتم إنتاج ملايين الأطنان من مزيج الاسفلت ووضعها على الطرق في كل عام، بعض هذه الخلطات الإسفلتية والتي تلبي متطلبات أغراض التصميم لا تزال تتعرض كالسابق لبعض المشاكل (النزيف، والتخدد، والتكسير...) وهذه المشكلات تؤدي إلى تخريب الآليات وعدم الراحة للسائقين وزيادة تكاليف الصيانة وضرورة التعجيل لإعادة التأهيل مما دفع المهندسين إلى المحاولة لمعالجة هذه المشكلة بالتركيز بشكل إضافي على تحسين إدارة إنتاج الخلطات الإسفلتية.

وانطلاقاً من المبادئ الرامية إلى استكمال مسيرة التطوير والتحديث وخصوصا في ظل الظروف الاستثنائية التي يعيشها بلدنا ومرحلة إعادة الأعمار القادمة فيجب ان نولي الاهتمام الكبير لتحسين مستوى الخدمات من خلال تطوير أساليب ترفع من سويتها خصوصا في قطاع النقل باعتباره القطاع الأهم ضمن قطاعات أي بلد وتجدر الإشارة بأن 25% وأكثر من قيمة المشاريع الخدمية أو الاستثمارية تتجسد في أجور النقل والتحضيرات لذلك لابد من التطرق لأساليب تزيد العمر التصميمي للمشروع واستغلال الفروق الاقتصادية في مشاريع أخرى.

وفي السنوات الأخيرة تم الاتجاه إلى تحسين مواصفات الخلائط الإسفلتية عن طريق إضافة مواد ذات كلفة اقتصادية بسيطة، حيث تم العمل على إيجاد مواد تضاف إلى الخلطات الإسفلتية الحارة من أجل تحسين أدائها وزيادة ديمومتها وخاصة في الطبقات العلوية من الرصف، من أجل زيادة مقاومتها،وذلك باستخدام العديد من الإضافات كالمطاط، الرماد المتطاير، نفايات بلاستيكية وغيرها.

أهميّة البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث كونه يدرس تصميم خلائط الرصف التي تستخدم في شبكة الطرق والتي تعتبر الشبكة العصبية الأساسية ضمن أي دولة أي دراسة إمكانية إنشاء خلائط للرصف بمقاومة ومتانة عالية وتقليل التأثر بالعوامل الخارجية قدر الإمكان وبالتالي زيادة العمر الاستثماري للرصف وتقليل تكاليف الصيانة المستقبلية للرصف والعربات وزيادة عوامل الأمان والراحة للسائقين.

إشكالية البحث:

تعاني طرق المنطقة الساحلية من توقف أعمال الصيانة في فصل الشتاء (يمتد من منتصف شهر تشرين الثاني حتى منتصف شهر آذار) وهذا التوقف يفاقم حجم العيوب في طبقة التغطية الإسفلتية وطبقات الرصف، ويؤثر بشكل سلبي على حركة المرور وراحة المستخدمين، عدا عن ذلك أن الخلطات الإسفلتية على البارد قد توقف العمل بها في بلدنا بسبب عدم كفاءتها وتحقيقها لأدنى المواصفات الفنية ففي بحثنا هذا سوف نعمل على صناعة خلطات إسفلتية تعمل على البارد ويمكن استخدامها في أي وقت من العام حتى في فصل الهطولات المطرية الشديدة.

أهمية البحث وأهدافه:

يقع هذا البحث في مجال هندسة المواصلات والنقل ويتخصص في تحسين الخلطات الإسفلتية، ويهدف هذا البحث إلى:

1. التحقق من إمكانية استخدام الإسفلت الرغوي، وتصميم الخلطات البيتومينية وفقاً لذلك.
2. زيادة ديمومة الخلطات البيتومينية لتأثير العوامل الخارجية.

3. الحفاظ على نسبة من مواد الخلطات عن طريق استخدام نسبة من مواد المكشوط الأسفلتي.
4. تغيير واقع تصميم الخلطات الإسفلتية اي خلط البيتومين مع المكشوط والحصويات بدرجة الحرارة المحيطة.

طرائق البحث و مواده:

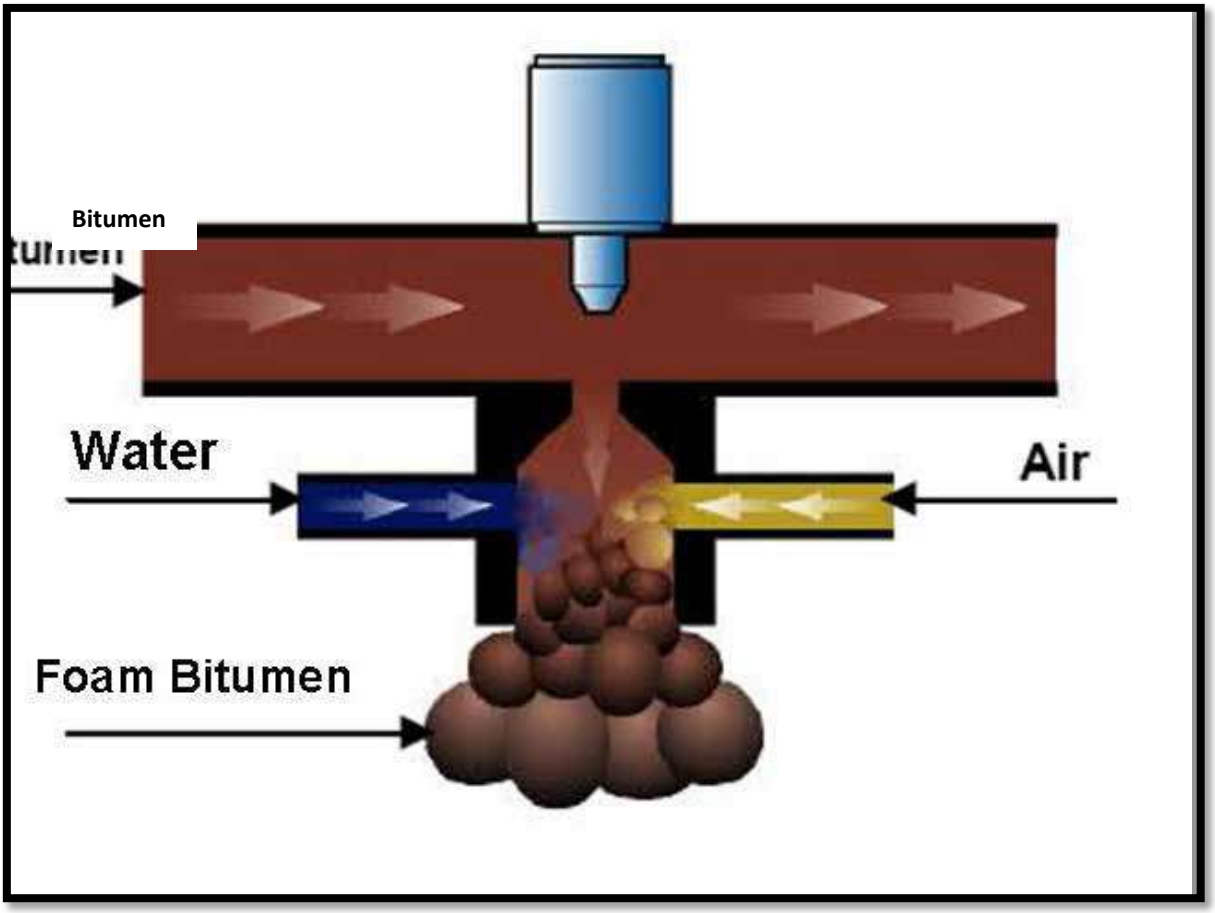
. منهجيّة الدراسة

دراسة الخلطات العادية	•خصائص المواد الداخلة في الخلطات من حصويات وبيتومين •خصائص الخلطات المصممة وتصميم خلطة مرجعية للمقارنة باستخدام مواد المكشوط بنسب (٠-٢٥-٥٠-٧٥-١٠٠%)
تصنيع جهاز لإنتاج الإسفلت الرغوي	• تطبيق آلية لمراحل إنتاج الإسفلت الرغوي ميكانيكياً • دراسة مادة الإسفلت الرغوي الناتجة وفق البارامترات الخاصة بالمادة
دراسة الخلطات باستخدام الإسفلت الرغوي	• تصميم خلطات باستخدام الإسفلت الرغوي بنسب(١.٥-٢-٢.٥-٣%) ومواد المكشوط بنسب (٠-٢٥-٥٠-٧٥-١٠٠%)والتأكد من البارامترات الخاصة بتصميم أي خلطة إسفلتية • مقارنة النتائج بين الخلطة المرجعية والخلطات الناتجة

الاسفلت الرغوي

هو كمية صغيرة من الماء البارد (1 – 4 % وزنا) أدخلت في اسفلت حار جداً (170 – 190 °C) بضغط معين حيث يتمدد الاسفلت الحار بالاتصال المباشر مع الماء بنسبة (5 – 20) مرة من حجمه الأولي[1].

الاسفلت الرغوي أو فقاعات الاسفلت يمكنها التناثر ضمن المزيج بشكل منتظم تماما، وتعتبر نظير ممتاز لعملية الخلط البارد بدقة، تماما كبياض البيض الذي يمكن أن يمزج في الطحين الجاف.



الشكل (1) طريقة إنتاج البيتومين الرغوي ميكانيكياً

يبين الجدول التالي مقارنة بين الإسفلت الرغوي والمستحلبات الإسفلتية والخلائط العادية (hot mix)

جدول (1) مقارنة بين الإسفلت الرغوي والمستحلبات والبيتون البيتوميني الحار hot mix

	المستحلبات	الإسفلت الرغوي	Hot mix
أنواع الحصويات المستخدمة	الحصويات المكسرة والطبيعية، المكشوط Rap الخلط على البارد	الحصويات المكسرة والطبيعية، Rap (هامش الرمل)	الحصويات المكسرة، Rap (0- 50%)
درجة حرارة البيتومين المخلوط	20 -70 C^0	160 -180 C^0 قبل الإرغاء	140 -180 C^0
درجة حرارة الحصويات في أثناء الخلط	10 C^0<	15 C^0<	140 -200 C^0 حارة
محتوى الرطوبة في أثناء الخلط	محتوى الماء المثالي بزيادة 1% بالدقيقة للمستحلب المضاف	محتوى الماء المثالي وتبدأ من70- 90 %	جافة

أشكال تغليف الحصويات	تغليف الحصويات الناعمة مع بعض الحصويات الأخشن (تعدّ كمونة)	تغليف الحصويات الأنعم فقط، ثمّ يتم التغليف تدريجياً (تعدّ كمونة)	تغليف كل الحصويات
حرارة الضغط والإنشاء	%5 >	$10\ C^0$<	$140 - 160\ C^0$
الفراغات الهوائية	%15 -10	%15 -10	%7 -3
درجة الرج	بطيئة برطوبة أقل	برطوبة متوسطة وأقل	سريعة (كوي)
تعديل البيتومين	نعم	لا	نعم
أهم بارامترات البيتومين	نوع المستحلب (موجب أو سالب)، البيتومين المتبقي، وقت المتبقي (قبل التطاير)	نسبة التوسع، العمر الوسطي	الاختراق، اللزوجة، درجة النعومة

ويعدّ البيتومين الرغوي من أفضل هذه البدائل، إذ بمقارنته بأساليب الرصف التقليدية يتّضح الآتي:

1. في الرصف المرن يزداد الضرر تسع مرات فقط عندما تزيد الحمولة بمقدار 20 % عن الحمولة التصميمية في الرصف الحبيبي.
2. يساعد استقرار الرصف باستخدام البيتومين الرغوي في توقُّع العمر التصميمي للرصف، كما يزيد الرابط البيتوميني الرغوي من مقاومة التعب.
3. البيتومين الرغوي يقاوم التعب الناتج من الطقس الرطب مقارنةً بالمستحلبات والخلطات البيتومينية.

ويعدّ البيتومين الرغوي مناسباً من أجل إعادة تأهيل رصف (حدوث رقع وحفر فيه) بشكلٍ متكرر، ومناسباً لحالات تربة المسار الحبيبية الضعيفة (CBR=5% كحد أدنى)، وبالإضافة للأماكن التي تكون فيها الحمولات تزيد بشكل كبير عن الحمولات التصميمية ومن الصعب التحكم في شواذها، ومن أهمّ مزايا استخدام البيتومين الرغوي أنه يزيد في مقاومة القص للمجبول الإسفلتي، عدا عن زيادة مُقاومة التعب.

وأشارت الأبحاث إلى أن استخدام البيتومين الرغوي يقلل من محتوى الرطوبة في المجبول مقارنةً مع المجبول الإسفلتي الذي يستخدم فيه بمستحلب بيتوميني، كما انه يزيد من إمكانيّة التحمل (بعد الإنشاء) طبقة المجبول الإسفلتي عند هطول أمطار غزيرة مع حدوث ضرر بسيط على السطح تحت تأثير الحمولات المرورية، وبالنهاية يعتبر البيتومين الرغوي من أسرع الطرائق في عملية إعادة التأهيل بسبب سهولة تطبيقه وسرعته وتوافقه مع مجموعة واسعة من أنواع الرصف الطرقي [4].

استخدام مواد المكشوط

يمكن استخدام مواد المكشوط بدون معالجة كمواد تقليدية لإنشاء طبقات جديدة، حيث يستخدم المكشوط غير الفعّال للطرق ذات الحمولات المرورية الثقيلة، كبديل للحجر المكسر المتدرج في طبقة الأساس، وتستخدم بنفس متطلبات الكثافة كطبقة الحجر المكسر بالنسبة للزوجة البيتومين المتبقي، وتكون مواد المكشوط النشطة ذات مستوى أعلى من التماسك بالمقارنة مع المواد الطبيعية غير النشطة، حيث يقاوم التماسك تأثير الضغط، وتتحقق حدود الكثافة من خلال الإنشاء، تتوحد المواد ببطء تحت تأثير الحمولات الديناميكية المطبقة من الحمولات المرورية، وتعمل مواد المكشوط الفعالة كرابط بنسبة 30% كنسبة من حجم الحجر المكسر.

مواد المكشوط المعالجة بوساطة البيتومين الرغوي

يعدّ الإسفلت الرغوي (البيتومين الرغوي) عنصر مثبت، حيث يُضاف لمواد المكشوط بحالة الرغوة ليتشتت لقطع صغيرة "كشظايا" تغلّف حبيبات المكشوط كالإسفلت، والغرض من استخدام الإسفلت الرغوي ليس لتجديد البيتومين في مواد المكشوط ولكن لإنتاج مجبول إسفلتي للوصول إلى ثبات مواد المجبول الاسفلتي بخصائصها ومزاياها.

يمكن تصنيف مواد المكشوط بأنها غير فعالة، وفي هذه الحالة سينتج أن الثبات مع استخدام الإسفلت الرغوي سيعتمد على استقرار مواد المكشوط.

أماإذا كانت مواد المكشوط واقعة في الصنف الفعال،سيؤدي ذلك إلى حدوث ترابط مستمر بين الحصويات حتى وإن كان الإسفلت غير مستقراً، ولهذا السبب يجب أن تكون نسبة المكشوط (المصنف كفعال)في الخلطات الحصوية والتي ستؤمن ترابط جيد هي 30% على أن يكون التدرج الحبي للحصويات (max 20 mm)

يجب الانتباه إلى الاعتبارات الآتية أثناء استخدام مواد المكشوط مع البيتومين الرغوي(foamed):

1. خصائص القص للخليط يجب أن تحدد من تجربة ثلاثي المحاور بما يتوافق مع درجة الحرارة للمزيج.
2. يجب ضبط وزن الحمولة المحورية للشاحنات الثقيلة، حيث تولد الحمولات الزائدة إجهاد عالي غير متناسب في طبقة الأساس مما يؤدي إلى تشوه سريع.
3. لزيادة الأمان في استمرارية التماسك والتلاصق بين الحصويات ويجب أن تكون جميع الخلائط مخلوطة بمواد ناعمة من الحجر المكسر من أجل المكشوط الاسفلتي غير الفعال بنسبة 15%،و30% للفعال من الحجر المكسر ذو تركيب حبي مناسب
4. يجب أن يحقق استقرار مواد المكشوط بالإسفلت الرغوي نجاحاً لافتاً في مشاريع بناء الطرق في العالم.

مواصفات الجهاز المستخدم في الدراسة

تم تصنيع جهاز صغير لإنتاج كمية لازمة لإجراء التجارب وفق معايير الرغوة المطلوبة وهي نصف العمر الوسطي ونسبة التوسع حيث نسبة التوسع تحسب كنسبة الحجم الأعظمي للرغوة إلى الحجم الأصلي للرابط الإسفلتي أما العمر الوسطي فيحدد بالوقت المقاس بالثواني للإسفلت الرغوي ليهبط من حجمه الأقصى عند التوسع إلى نصف حجم التوسع [6] والتصميم عبارة عن:

1. حجرة التوسع: وهي عبارة عن مكعب بأبعاد 0.3*0.3*0.3 متر مكون من صفائح من الحديد بسماكة 8 ملم
2. حجرة الاسفلت: وهي عبارة عن أسطوانة بأبعاد 0.5*0.3 متر سماكة الصفيحة 10 مم تتوضع على قاعدة ارتفاعها 0.52 متر عن السطح تم تثبيت مصدر تسخين (غاز) عليها إضافة لمنظم حتى 12 بار ينظم ضغط الهواء الداخل للحجرة تحوي ضمنها سخان 4000 واط موصول بشبكة كهرباء لضمان بقاء درجة حرارة الاسفلت ضمن المجال (180–200) درجة مئوية
3. حجرة الماء: وهي عبارة عن أسطوانة بأبعاد 0.3*0.3 متر سماكة الصفيحة 8 مم تتوضع على ارتفاع 0.08 م عن السطح
4. شبكة كهرباء: وظيفتها قياس حرارة الإسفلت وضمان الحرارة ضمن المجال (180–200) درجة
5. ضاغط الهواء: أسطوانة من الهواء بسعة 50 ليتر أي (4905 غرام = 10.81 ليبره) تملأ بواسطة محرك بسرعة دوران 2850 راديان /دقيقة أي مايعادل 193 ليبره/الدقيقة

6. مجموعة من الإكسسوارات الخاصة بتمرير المواد اللازمة للتجربة وضبط معاييرها (أنابيب، سكر، ساعات قياس).

الشكل (2) الجهاز المصنع من قبلي لإنتاج الإسفلت الرغوي

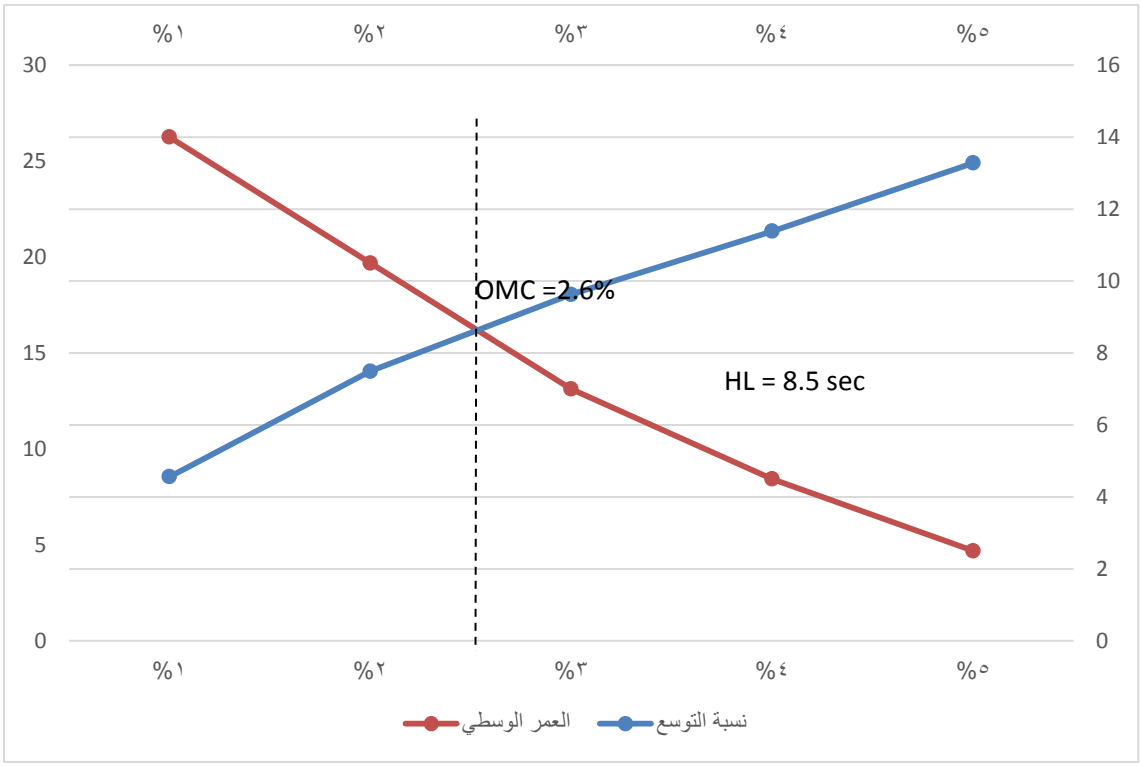
القسم العملي في البحث

تم إنتاج الإسفلت(البيتومين) الرغوي واستخدامه في الخلطات حيث تم التصميم وفق عدد من المعايير:

1. نسبة كمية الماء الداخل في التجربة لا تقل عن 1% من كمية الاسفلت الداخل ولا تزيد عن 4%
2. التحكم بسرعة المواد الداخلة
3. التحكم بالتدفق للوصول للكمية المثالية وكانت النتائج موضحة في الجدول الآتي:

جدول (2) نتائج اختبار الإسفلت الرغوي عند الدرجة 170

محتوى الماء %	نسبة التوسع		الوسطي	العمر الوسطي		الوسطي
	الأولى	الثانية		الأولى	الثانية	
1	9	8.1	8.55	13	15	14
2	12.3	15.8	14.05	10	11	10.5
3	16.9	19.2	18.05	6	8	7
4	20.3	22.4	21.35	4	5	4.5
5	24.4	25.4	24.9	2	3	2.5

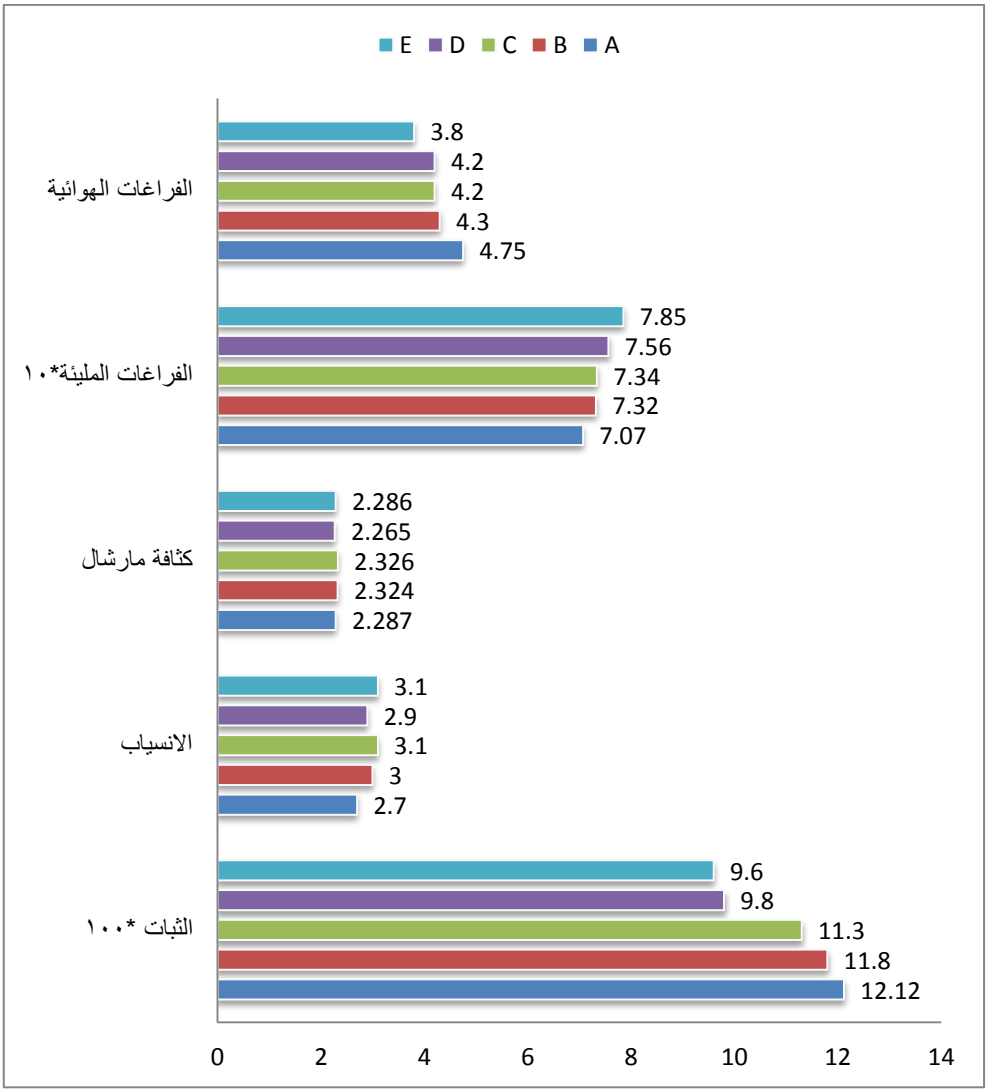


الشكل (3)حساب محتوى الماء المثالي عند الدرجة 170 درجة مئوية

وبعد الحصول على مادة الإسفلت الرغوي تم إضافتها إلى النماذج التي تم إعدادها للتجارب المطلوبة والتصميم وفق طريقة مارشال حيث تم تصميم خلطة بيتومينية تقليدية بأفضل نتائج التقييم وجعلها خلطة مرجعية لإعداد المقارنة بينها وبين نتائج الخلطات المصممة باستخدام الإسفلت الرغوي بالطريقة نفسها وتم إدخال نسب من المكشوط الأسفلتي ضمن الخلطات التقليدية والخلطات المصممة باستخدام الاسفلت الرغوي وتم تمييز الخلطات وفق النماذج الآتية:

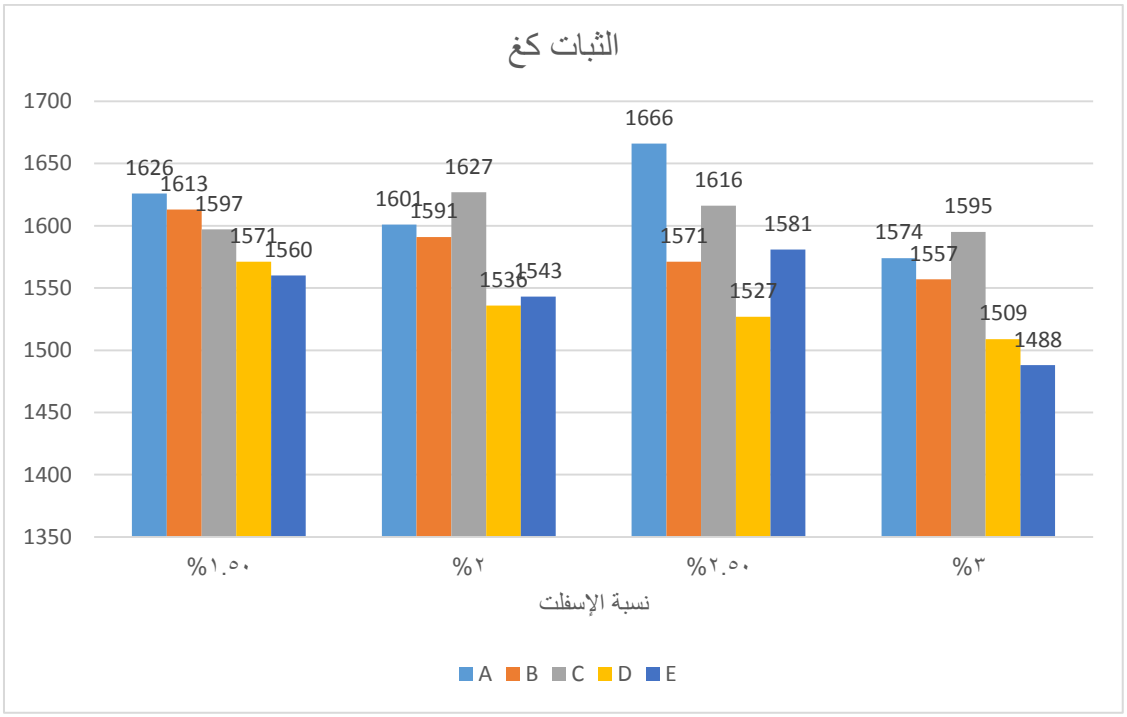
1. النموذج (A) الخلطات المكونة من 100% حصويات جديدة
2. النموذج (B) الخلطات المكونة من 75% حصويات جديدة و25% مكشوط
3. النموذج (C) الخلطات المكونة من50% حصويات جديدة و50% مكشوط
4. النموذج (D) الخلطات المكونة من25% حصويات جديدة و75% مكشوط
5. النموذج (E) الخلطات المكونة من 100% مكشوط

وكانت نتائج الخلطات المصممة بالطريقة التقليدية وفق عناصر مارشال موضحة في الشكل الآتي:

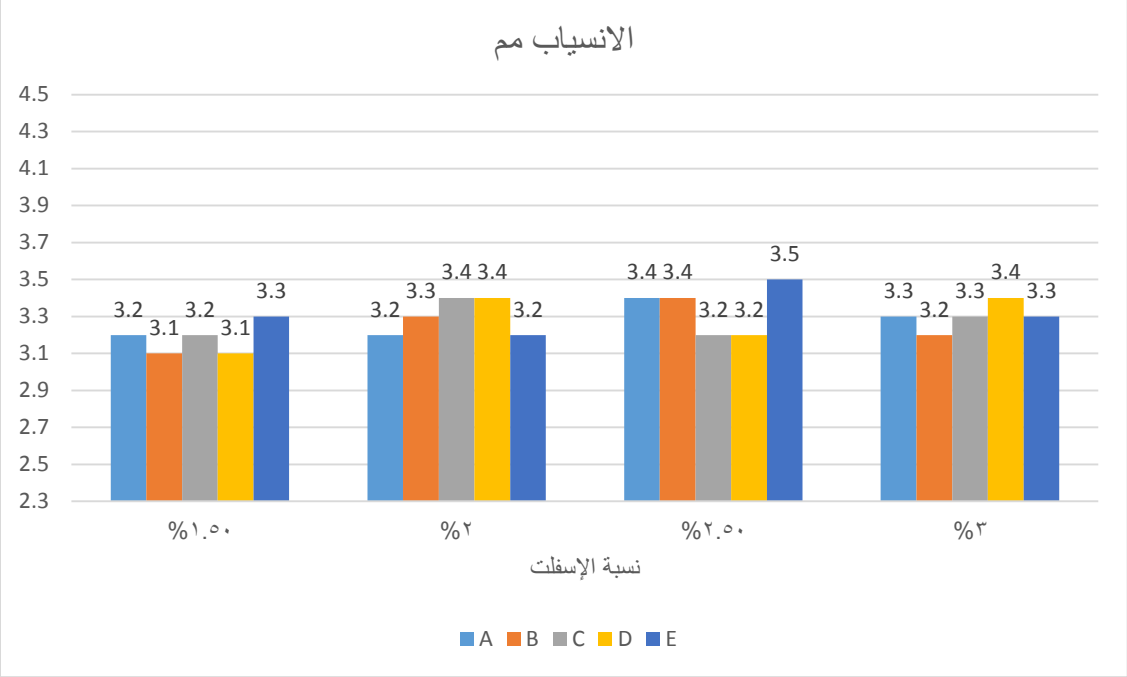


الشكل (4) تغير عناصر الخلطة العادية بالنسبة لنسب المكشوط

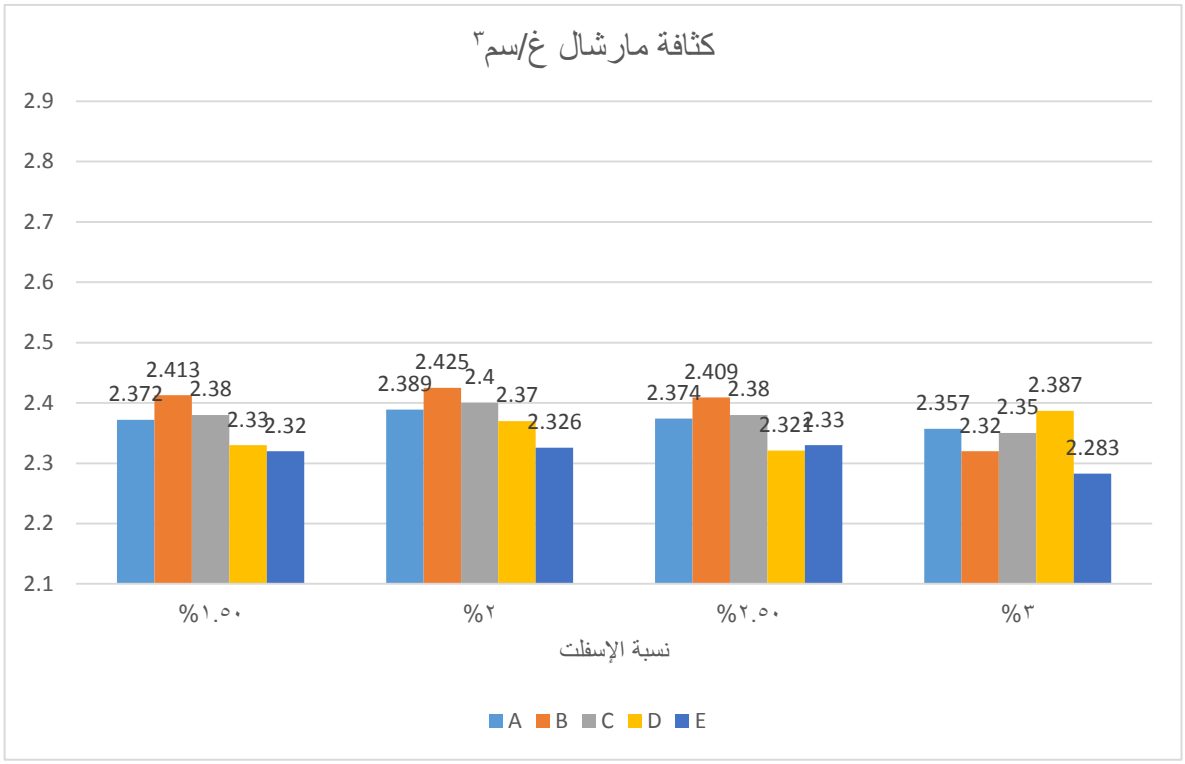
أما الخلطات المصممة باستخدام نسب مختلفة من الإسفلت الرغوي فكانت نتائجها وفق الأشكال الآتية:



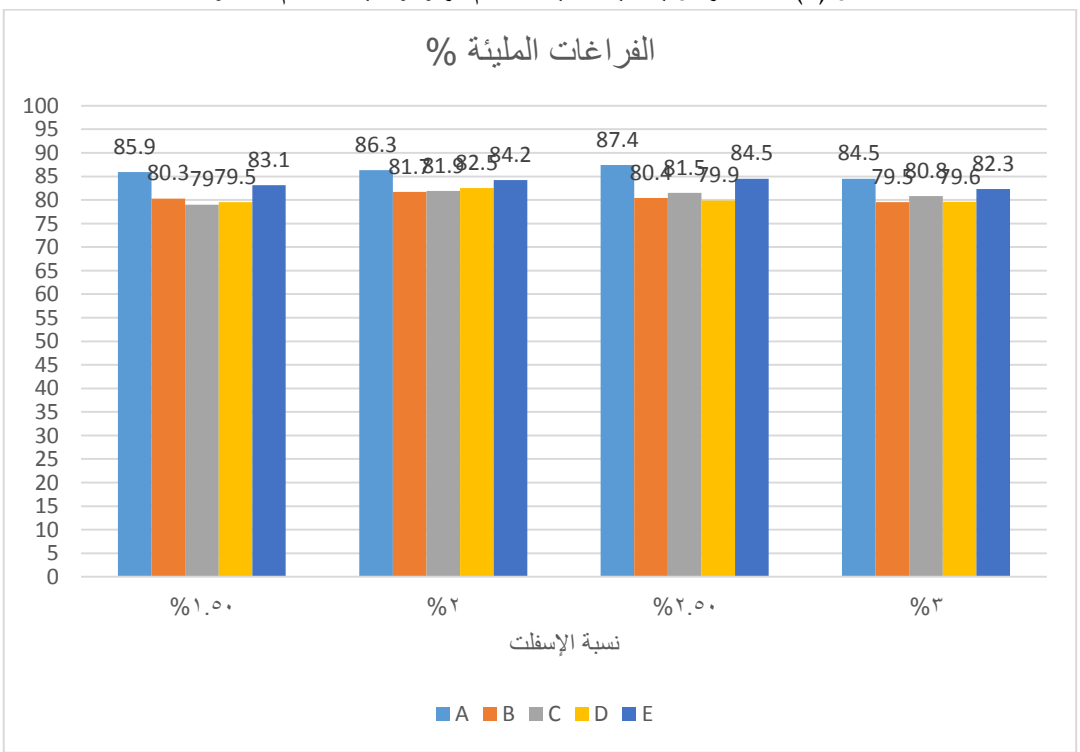
الشكل (5) الثبات بالنسبة لنسب استخدام الرغوة ونسب استخدام المكشوط



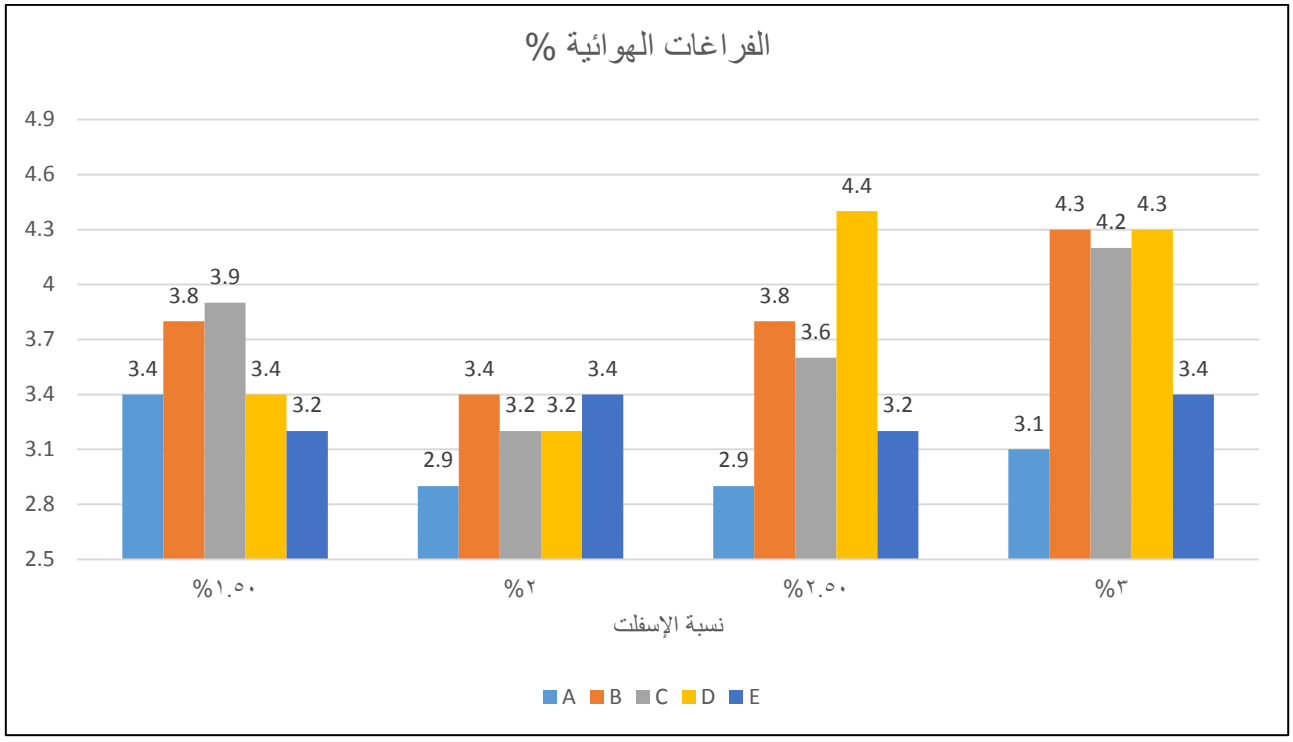
الشكل (6) الانسياب بالنسبة لنسب استخدام الرغوة ونسب استخدام المكشوط



الشكل (7) كثافة مارشال بالنسبة لنسب استخدام الرغوة ونسب استخدام المكشوط



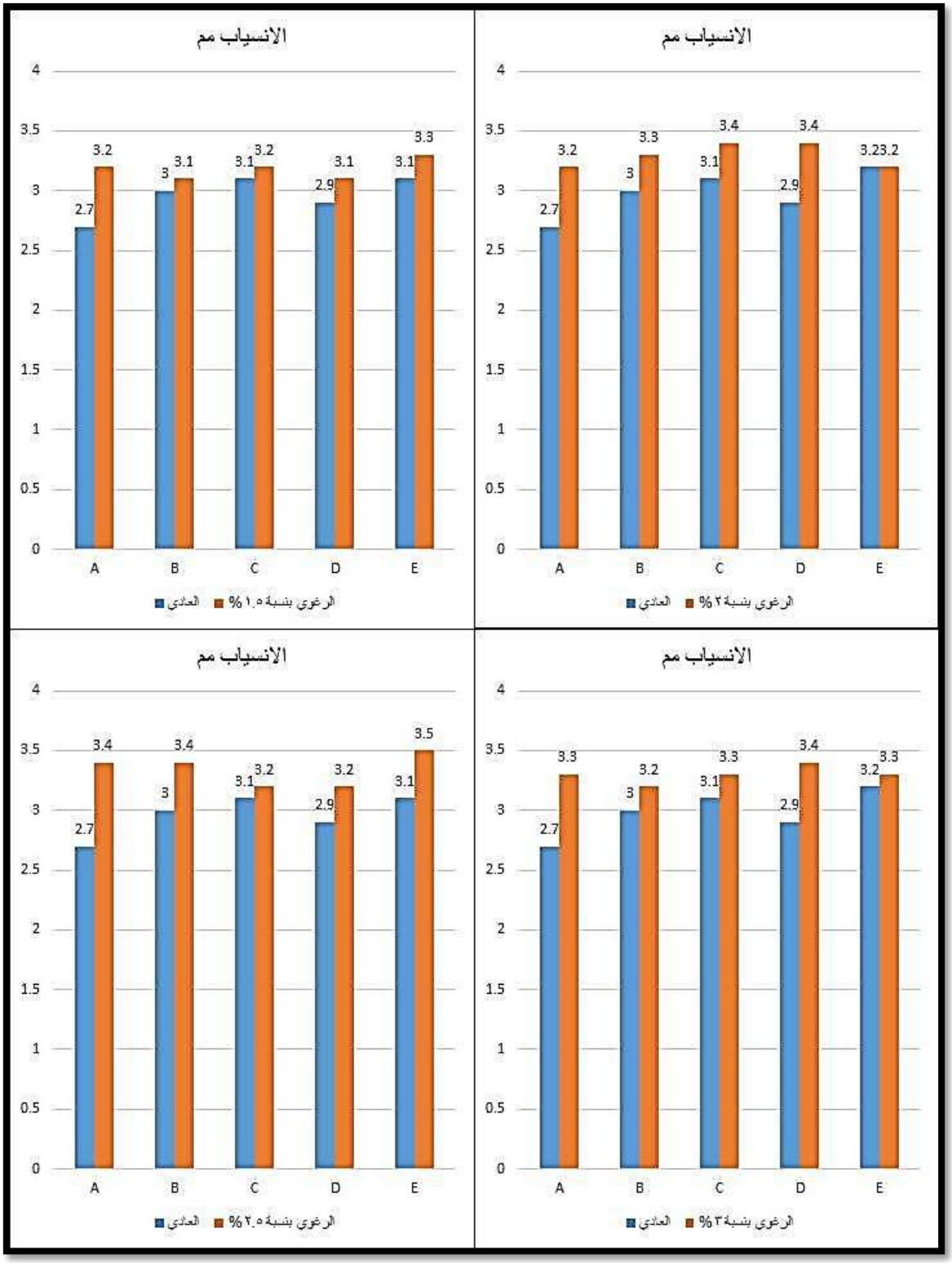
الشكل (8) الفراغات المليئة بالنسبة لنسب استخدام الرغوة ونسب استخدام المكشوط



الشكل (9) الفراغات الهوائية بالنسبة لنسب استخدام الرغوة ونسب استخدام المكشوط

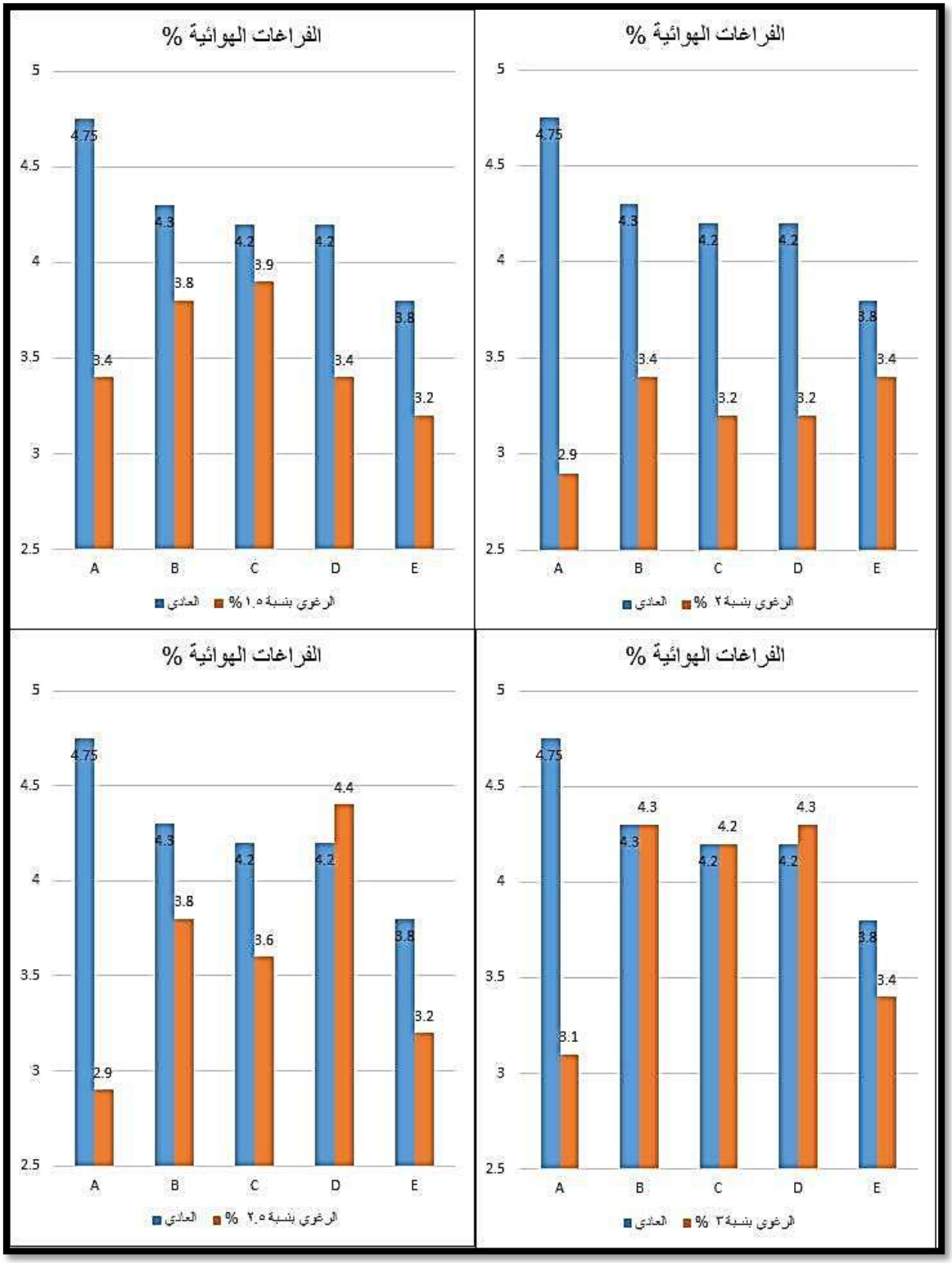
وبمقارنة نتائج الخلطات الإسفلتية التقليدية مع نتائج الخلطات التي تم تصميمها باستخدام الإسفلت الرغوي لكل عنصر من عناصر مارشال كانت المقارنة وفق الأشكال الآتية:

الشكل (10) تغير الثبات بين الخلطات الإسفلتية العادية والخلائط الإسفلتية الرغوية

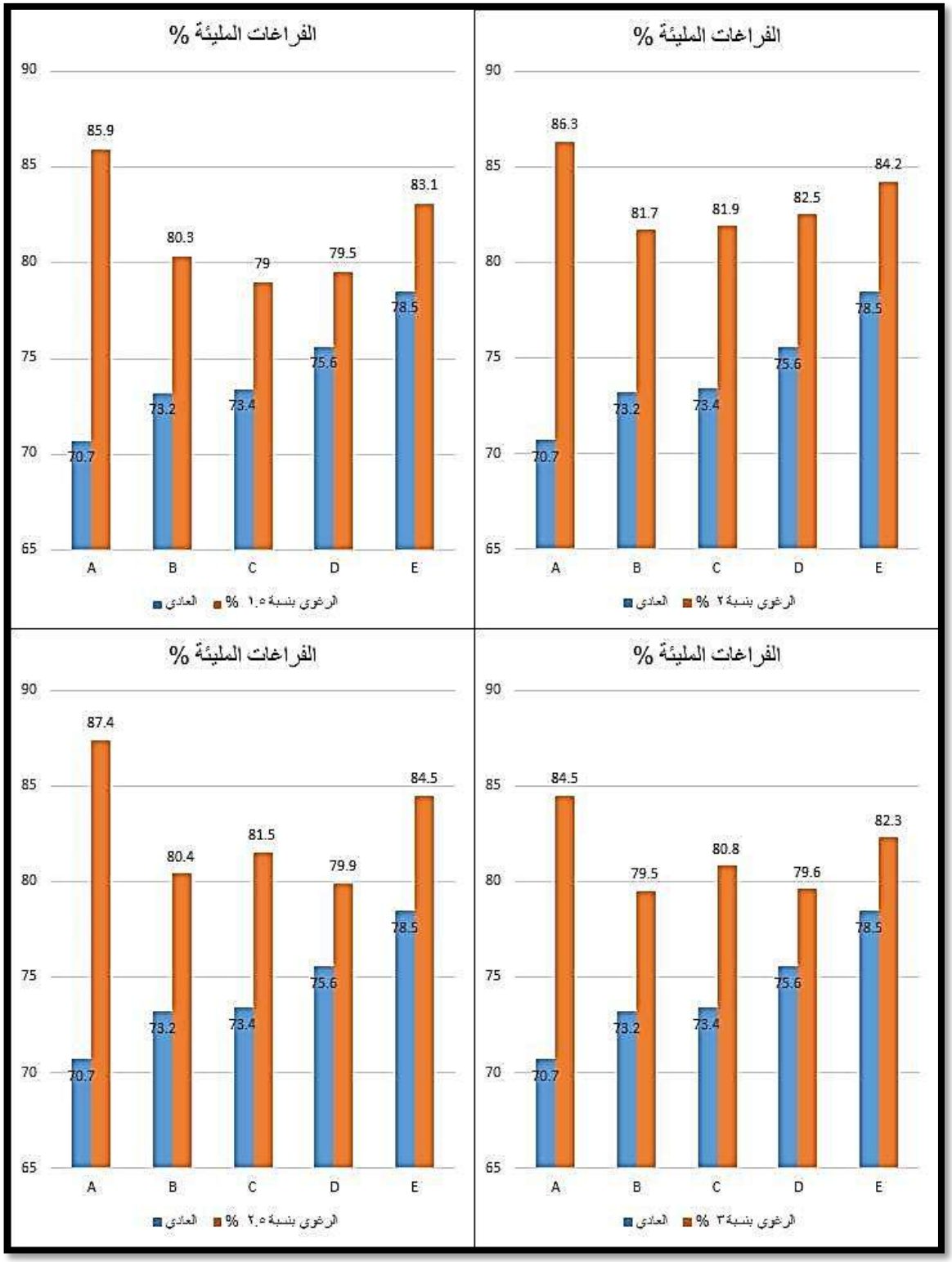


الشكل (11) تغير الانسياب بين الخلطات الإسفلتية العادية والخلائط الإسفلتية الرغوية

الشكل (12) تغير كثافة مارشال بين الخلطات الإسفلتية العادية والخلائط الإسفلتية الرغوية



الشكل (13) تغير الفراغات الهوائية بين الخلطات الإسفلتية العادية والخلائط الإسفلتية الرغوية



الشكل (14) تغير الفراغات المليئة بين الخلطات الإسفلتية العادية والخلائط الإسفلتية الرغوية

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات

من الاختبارات التي قمنا بها بإعداد خلطات باستخدام الإسفلت الرغوي باستخدام نسب مختلفة من الإسفلت الرغوي ومواد المكشوط ومقارنتها مع الخلطات التقليدية توصلنا إلى النتائج التالية:

1. نلاحظ بمقارنة النموذج A الذي تم خلطه بنسبة رغوة 1.5 % مع النموذج نفسه في الخلطة العادية: زيادة في الثبات بنسبة 34.15 % وفي الانسياب بنسبة 18.51 %وفي كثافة مارشال بنسبة 3.7 % وفي قيمة الفراغات المليئة بنسبة 21.5 % مع انخفاض في قيمة الفراغات الهوائية بنسبة 28.4 %
2. نلاحظ بمقارنة النموذج A الذي تم خلطه بنسبة رغوة 2 % مع النموذج نفسه في الخلطة العادية: زيادة في الثبات بنسبة 32 %وفي الانسياب بنسبة 18.5 % وفي كثافة مارشال بنسبة 4.4 % وفي قيمة الفراغات المليئة بنسبة 22 % مع انخفاض في قيمة الفراغات الهوائية بنسبة 38.9 %
3. نلاحظ بمقارنة النموذج A الذي تم خلطه بنسبة رغوة 2.5 % مع النموذج نفسه في الخلطة العادية: زيادة في الثبات بنسبة 37.4 %وفي الانسياب بنسبة 25.9 %وفي كثافة مارشال بنسبة 3.8 % وفي قيمة الفراغات المليئة بنسبة 23.6 % مع انخفاض في قيمة الفراغات الهوائية بنسبة 38.9 %
4. نلاحظ بمقارنة النموذج A الذي تم خلطه بنسبة رغوة 3 % مع النموذج نفسه في الخلطة العادية: زيادة في الثبات بنسبة 29.8 %وفي الانسياب بنسبة 22.2 %وفي كثافة مارشال بنسبة 3 % وفي قيمة الفراغات المليئة بنسبة 19.5 % مع انخفاض في قيمة الفراغات الهوائية بنسبة 34.7 %
5. نلاحظ بمقارنة النموذج E الذي تم خلطه بنسبة رغوة 1.5 % مع النموذج نفسه في الخلطة العادية: زيادة في الثبات بنسبة 62.5 %وفي الانسياب بنسبة 10 %وفي كثافة مارشال بنسبة 1.4 % وفي قيمة الفراغات المليئة بنسبة 5.8 % مع انخفاض في قيمة الفراغات الهوائية بنسبة 15.7 %
6. نلاحظ بمقارنة النموذج E الذي تم خلطه بنسبة رغوة 2 % مع النموذج نفسه في الخلطة العادية: زيادة في الثبات بنسبة 60.7 %وفي كثافة مارشال بنسبة 1.7 %وفي قيمة الفراغات المليئة بنسبة 7.2 % مع ثبات في قيمة الانسياب وانخفاض في قيمة الفراغات الهوائية بنسبة 10.5 %
7. نلاحظ بمقارنة النموذج E الذي تم خلطه بنسبة رغوة 2.5 % مع النموذج نفسه في الخلطة العادية: زيادة في الثبات بنسبة 64.6 %وفي الانسياب بنسبة 12.9 % وفي كثافة مارشال بنسبة 1.9 %وفي قيمة الفراغات المليئة بنسبة 7.6 % مع انخفاض في قيمة الفراغات الهوائية بنسبة 15.7 %
8. نلاحظ بمقارنة النموذج E الذي تم خلطه بنسبة رغوة 3 % مع النموذج نفسه في الخلطة العادية: زيادة في الثبات بنسبة 55 %وفي الانسياب بنسبة 3.1 %وفي قيمة الفراغات المليئة بنسبة 4.8 % مع ثبات في كثافة مارشال وانخفاض في قيمة الفراغات الهوائية بنسبة 10.5 %

وبالتالي فإن استخدام الإسفلت الرغوي بنسب مختلفة يعطي نتائج جيدة جدا مقارنة بالخلطات التقليدية ويخفض من قيمة الفراغات الهوائية بنسب مقبولة.

التوصيات

1. استخدام الإسفلت الرغوي يساعد في استخدام مواد المكشوط حتى لنسبة تصل إلى 100% لذلك نقترح دراسة ديمومة الخلطات في أبحاث لاحقة.

2. العمل على تطوير جهاز تصنيع الإسفلت الرغوي بالتعاون مع جهات صناعية مختصة لإنتاج المادة واستخدامها محلياً.

3. استخدام الإسفلت الرغوي يمكننا من توفير مواد جديدة كونه يستخدم المكشوط إضافة الى إمكانية استخدامه بشكل مباشر أثناء الكشط وبالتالي له مناحي اقتصادية جيدة لذلك نقترح استكمال الدراسات المتعلقة باستخدامه كالدراسات البيئية.

المراجع

1. *"Wirtgen Cold Recycling Technology"*,Wirtgen Group Reinhard-Wirtgen-Strasse 2 · 53578 Windhagen · Germany 2012.
2. Plati, Christina Loizos, Andreas Papavasiliou, Vasilis Kaltsounis, Antonis, *"Investigating in situ properties of recycled asphalt pavement with foamed asphalt as base stabilizer"*,Greec 2010.
3. Lee, Hosin David, *"Development of a Mix Design Process for Cold-in-Place Rehabilitation Using Foamed Asphalt"*,The University of Iowa,2003.
4. Martin Kendall, Bruce Baker, Peter Evans & Jothi Ramanujam, *"Foamed Bitumen Stabilisation"*.
5. David Rettner, Allen Hartleib,*" 2013 Foamed AsphaltOverview of Mix Design and Construction"*,American Engineering Testing, Inc,2013.
6. Chiu C.T., Lewis A.J.N., "*A study on properties of foamed-asphalt-treated mixes*", Journal of Testing and Evaluation, No. 1, 2006