

جامعة دمشق كلية الهندسة المدنية قسم هندسة النقل والمواصلات

تأثير التدرج الحبي للمواد الحصوية على أداء الخلطة الإسفلتية من حيث معيار التعب

دراسة اعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

إعداد المهندسة دينا تنبكجي

إشراف المهندس محمد فواز مسوتي

المشرف المشارك الدكتور المهندس لؤي الخطيب

المحتويات

ة الاشكال	قائم
ة الجداول	قائم
ة المصطلحات	قائم
ص البحث	ملخ
11Abstr	act
دف البحث	1هـ
مقدمة	1.1
مشكلة البحث	1.2
الغاية من البحثا	1.3
اهمية البحث	1.4
راسة في مفهوم التعب وتشكل التشققات	2 در
مفهوم التعب	2.1
عيوب ناتجه عن تشقق الرصف الاسفلتي	2.2
الدراسات والابحاث السابقة	2.3
المواد الحصوية	2.4
مواصفات الحصويات	2.5
مواصفات المواد الحصوية المحليه	2.6
التدرج الحبي	2.7
.2 التدرج الحبي الكثيف	7.1
.2 التدرج الحبي المفتوح	7.2
معامل المرونة الديناميكي	2.8
.2 تجربة معامل المرونة الديناميكي	9.1
تدرج الحبي وتأثيره على التعب والتشوه	3 ال
اختيار التدرج الحبي الامثل وفق معيار التعب	3.1
.3النمذجة بطريقة العناصر المحدودة	1.1
.3.1 خصائص النموذج المدروس	1.1
.3.1 نوع العناصر وحجم الشبكة	1.2
.3.1 الرّ حزم التدرج الحبي على تشوهات الشد اسفل النموذج	1.3
أثر تعديل التدرج الحبي على تشوهات الشد اسفل النموذج	
مقارنة بين نتائج عينة التدرج الحبي النظامية والنتائج المقترحة	
تحقيق مخبري	
.3 نتائج التحقيق المخبري	4.1

62	4 النتائج والتوصيات
62	4.1 النتائج
63	- 4.2 التوصيات
	لمراجع
68	لملحقّ رقم (1)لملحقّ على الملحقّ الملحقّ الملحقّ الملحق ا
82	لملحق رقم (2)
124	لملحق رقم (3)

قائمة الأشكال

15	 الشكل رقم 1-2 مرحلة البدء بظهور تشققات التعب
16	 الشكل رقم 2-2مرحلة النمو بظهور الشققات على السطح
16	 الشكل رقم 3-2موقع إجهادات الشد كمعيار للتعب
17	٤. الشكل رقم 4-2 موقع إجهادات الشد كمعيار للتعب
18	 الشكل رقم5-2 مثال على الشقوق التمساحية
19	 آ. الشكل رقم 6-2 يوضح أبعاد الشقوق البلوكية
19	٧. الشكل رقم 7-2مثال على الشقوق البلوكية
20	 ٨. الشكل رقم 8-2مثال على شقوق حواف الرصف
20	٩. الشكل رقم 9-2يوضح ابعاد شقوق حواف الرصف
21	٠١. الشكل رقم 10-2 مثال عن الشقوق الطولية والعرضية
22	١١. الشكل رقم 11-2 مثال على الشقوق الانزلاقيه
	١٢. الشكل رقم 12-2 مثال لمنحني تدرج حبي
	١٢. الشكل رقم 13-2مثال لحزمة تدرج حبي
30	٤١. الشكل رقم 14-2 منحني التدرج العملي بالكثافة الخطية العظمى
31	١٥ الشكل رقم 15-2 خط الكثافة العظمى لتدرج حبي بقطر حبي اعظمي 19.0م
32	١٦. الشكل رقم 16-2 يبين منحني التدرج الحبي المقترح لخلطة السوبربيف
33	١٧. الشكل رقم 17-2 مثال للتدرج الحبي 19 مم وفق طريقة السوبربيف
35	١٨. الشكل رقم 18-2 المنحني الناتج عن تجربة معامل المرونة الديناميكي
37	± 19 الشكل رقم ± 19 المعامل الديناميكي ± 19 بدلالة نسبة الثبات إلى السيلان ± 19
40	٢٠. الشكل رقم 1-3معامل المرونة الديناميكي لحزم التدرج الحدي
41	٢١. الشكل رقم 2-3 خط الكثافة العظمى لمنحنيات التدرج الحبي المدروسة
41	٢٢. الشكل3-3 تابع لخط الكثافة العظمى لمنحنيات التدرج الحبي المدروسة
42	٢٢. الشكل4-3 تابع لخط الكثافة العظمى لمنحنيات التدرج الحبي المدروسة
42	٢٤. الشكل5-3 تابع لخط الكثافة العظمى لمنحنيات التدرج الحبي المدروسة
44	٢٥. الشكل رقم 6-3 يمثل النموذج المستخدم
45	٢٦. الشكل رقم 7-3 شبكة العناصر المحددة للنموذج قبل وبعد التشوه
45	٢٧. الشكل رقم 8-3 حقل الإجهادات الأفقية للنموذج المستخدم
	٢٨. الشكل 9-3حقل التشوهات الأفقية للنموذج المستخدم
47	٢٩. الشكل10-3 التشوهات الأفقية أسفل طبقة الإِسفلت
48	.٣. الشكل11-3القدرج الحبي وفق المواصفة (ASTM(1)

49	٣١. الشكل12-3التدرج الحبي بحذف المجال بين "1 و "3/4
49	٣٢. الشكل13-3التدرج الحبي بحذف المجال "1/2 و"3/8
50	٣٣. الشكل14-3التدرج الحبي بحذف المجال بين "3/8 وno.4
50	٣٤. الشكل 15-3التدرج الحبي بحذف المار من المهزة no.200
51	٣٥. الشكل رقم 16-3 خط الكثافة العظمى للتدرج الحبي المعدل
ي المعدل	٣٦. الشكل رقم17-3 معامل المرونة الديناميكي للخلطة الإسفلتية بعينات التدرج الحب
عدل53	٣٧. الشكل رقم 18-3التشوهات الأفقية أسفل طبقة الإسفلت بعينات الدرج الحبي الم
54	٣٨. الشكل رقم 19-3 يبين شكل قالب مارشال لتحضير عينات الاختبار
55	٣٩. الشكل رقم20-3يبين شكل المطرقة
55	٠٤. الشكل رقم21-3 يبين جهاز الحمام الحراري
56	١٤. الشكل رقم 22-3 يوضح غمر العينات بالحمام الحراري
56	۲ ٤. الشكل رقم 23-3 يبين جهاز مارشال
58	٣٤. الشكل رقم24-3 يبين شكل العينات النظامية
59	٤٤. الشكل رقم 25-3 يبين العينات المعدلة
60	٥٤. الشكل رقم26-3. تغير نسبة الثبات إلى السيلان
61	٦٤. الشكل رقم 27-3 المنخل المستخدم حسب مواصفة ASTM
التعب 61	٤٧. الشكل رقم 28-3 تأثير التدرج الحبي المعدل على العمر التصميمي وفق معيار

قائمة الجداول

2-1 التدرج الحبي لحصويات بعض المقالع في سوريا	- الجدول رقم
2-2 تصنيف التدرج الحبي وفق طريقة السوبربيف	- الجدول رقم
2-3 نقاط الضبط لتدرج حبي اسمي 19.0مم	- الجدول رقم
3-1 حزم التدرج الحبي المستخدمة في البحث	- الجدول رقم
3-2 قيم عوامل التصحيح لثبات مارشال وعلاقتها بحجم وارتفاع العينة	- الجدول رقم
3-3 نتائج تجربة مارشال باستخدام تدرج حبي نظامي	- الجدول رقم
4-3 نتائج تجربة مارشال باستخدام تدرج حبى معدل	الجدول رقم

قائمة المصطلحات

الندرج الحبي للحصويات	Gradation of Aggregate
التعب	Fatigue
الخلطة الإسفانية	Mix Asphalt
انهيار	Failure
تشققات	Cracking
اجهاد	Stress
تشوه	Strain
تشققات التعب	Fatigue Cracking
طبقات الرصف	Layers of pavement
طبقة القميص الإسفاتي	Asphalt Coarse
تشوه الشد الأفقي المرن	Horizontal Tensile Elastic Strain
التشوهات الأفقية	Horizontal Strain
التحليل بالعناصر المحدودة	Finite Element analysis
قابلية التشغيل	Workability
عزم الانعطاف	Bending Moment
معامل المرونة	ModulusOf Elasticity
حصويات خشنة	Coarse Aggregate
حصويات ناعمة	Fine aggregate
حصويات متوسطة الخشونة	Middle Aggregate
خط الكثافة الاعظمي	Max density Line
ضغط	Compression
حمل	Load

اجهادات دینامیکیة	Dynamic Stresses
اجهادات حرارية	Thermal stresses
احتكاك	Friction
تماسك	Bond
سلوك المواد	Material Behavior
مناخل	Sieves
اختبار الضغط المحوري	Axial Compression Test
	Complex number
رقم عقدي	Complex number
شقوق تمساحية	Alligator cracking
شقوق بلوكية	Block Cracking
شقوق حواف الرصف	Edge cracking
شقوق طولية وعرضية	Longitudinal & Transverse Cracking
شقوق انزلاقية	Slippage cracking
مقاومة	Strength
تشابك زاوي	Interlocking angular
صلابة	Hardness
متانه	Toughness
ديمومة	Durability
كثافة والثبات	Density & stability
معامل المرونة (معامل المرونة الرجوعي)	Resilient modulus
القطر الاسمي الأعظمي للحصويات	Nominal maximum size
وهو أكبر فتحة منخل يحجز أقل من 10%	
القطر الأعظمي للحصويات. وهو فتحة المنخل الأعلى مباشرة من القطر الأعظمي النسبي	Maximum size

Gravel	بحص
Sand	رمل
Flow	سيلان
superpave	خلطات عالية الاداء
Rutting	تخدد

ملخص البحث

تتسبب كل من الحمولات المرورية والظروف البيئية في حدوث إجهادات وتشوهات متكررة بشكل متناوب مما تؤدي إلى ظهور عجز في طبقات الرصف المرنة والتي تظهر بشكل تشوهات تخدد وتشققات تعب[8]. ويعد كلاً من تشوهات التخدد وتشققات التعب من أهم معايير تقييم أداء الخلطات الإسفاتية في طبقات الرصف المرن للطرق.

في هذا البحث قمنا بدراسة تأثير التدرج الحبي للحصويات على خاصية التعب في الخلطات الإسفائية من خلال مقارنة منحنيات التدرج الحبي القياسية المقترحة من قبل بعض المؤسسات المختصة واختيار التدرج الحبي الأفضل لهذا المعيار (مقاومة التعب). ومن ثم تحليل دور أقطار حبات الحصويات ضمن تدرج حبي محدد على مقاومة الخلطة الإسفائية لتشوهات التعب مستخدمين نموذج بيلنين ووتزاك [24] لحساب معامل المرونة الديناميكي وإدراجه في نموذج تحليل بطريقة العناصر المحدودة لحساب التشوهات الأفقية أسفل الطبقة الإسفائية ودراسة تأثير ذلك على ثبات مارشال مخبريا.

يبين هذا البحث أن الحصويات المارة من المنخل "3/8 (9.5 مم) و المحجوز على المنخل رقم 4 (4.75مم) تلعب دوراً هاما في خاصية التعب للخلطة الإسفلتية، حيث أن حذف هذا المجال من التدرج الحبي ساعد على رفع معامل المرونة الديناميكي وبالتالي خفض التشوهات الأفقية أسفل طبقات الرصف، إلا أن حذف هذا المجال من التدرج الحبي قد يؤدي لارتفاع كثافة الخلطة الإسفلتية وانخفاض نسبة الفراغات الهوائية مما قد يتسبب بظهور مبكر للتخدد ، ما لم يتم إعادة توزيع نسبة المار من المنخل "3/8 والمحجوز على المنخل رقم 4على بقية المجالات للتدرج الحبي بشكل مناسب.

Abstract

Defects of flexible pavements revealed as rutting and/or fatigue cracking are usually generated by repeated traffic loads and environmental conditions. Both, deformations, (Rutting and/or fatigue cracking) are considered as major evaluating performance criterions for such type of asphalt roads.

In this research, impact of gravel components on bituminous mixtures via fatigue cracking criterion has been conducted using standard gradation of aggregate proposed by several specialized institutions.

Then, the role of particle sizes in a chosen gradation of aggregate has been analyzed through the module of Pellinen and Witczak [24] in conjunction with a finite elements model and laboratory tests.

The research shows that the particle sizes passing from 3/8" (9.5 mm) and retained on Sieve no#4 (4.75 mm) has a major role on the fatigue cracking property of the bituminous mixture, where the elimination of these particles helps to improve the dynamic modulus of the mixture therefore, reducing the traction strain beneath the asphalt coarse.

Caution should be considered, since the elimination of these particle sizes might increase the density of the mixture and reducing the void ratio, consequently, a premature Rutting could take place. In such cases, a careful redistribution of gravel particles should be considered to rearrange the gradation of aggregate.

1. الفصل الأول: هدف البحث

1.1 مقدمة:

تعرف مقاومة الخلطات الإسفاتية للتعب بقدرتها على الاستجابة للحمولات المرورية المتكررة تحت تأثير الشروط البيئية السائدة دون حدوث تشققات ملحوظة أو انهيار مبكر.

حيث تتسبب كل من الحمولات المرورية والظروف البيئية في حدوث إجهادات وتشوهات متكررة بشكل متناوب مما يؤدي لظهور العجز في الخلطات الإسفانية والذي يتجلى من خلال تشققات التعب التي تعد معياراً رئيساً من معايير الانهيار المطبقة في تصميم طبقات الرصف وفق الطرق الميكانيكية.

كما وتعتبر الخصائص التي تعبر عن تعب الإسفلت عاملاً أساسياً في عملية التصميم الإنشائي لطبقات الرصف، من خلال العلاقة بين تشوه الشد الأفقي في الألياف السفلية عند قاعدة طبقة القميص الإسفلتي وتشققات التعب،حيث يتم فرض قيمة حدية لتشوه الشد الأفقي المرن بحيث لا تتجاوز تشققات التعب القيم المسموحة وفق معايير الانهيار في نهاية العمر التصميمي لطبقات الرصف.

تتطلب خطوات التصميم في طرق الحساب الميكانيكية تحديد الخصائص المخبرية لمواد الإنشاء بشكل دقيق بحيث تعكس السلوكية الواقعية ضمن ظروف الاستثمار تحت تأثير كل من (الحمولات المرورية، سرعة التحميل، زمن الاسترخاء، الحمولات المحورية المتنوعة. الخ). والشروط البيئية (الحرارة،التقادم،الرطوبة. الخ). ويعود السبب في ذلك إلى كون الخصائص المخبرية المتعلقة بتحديد سوية أداء الخلطة الإسفلتية في مقاومة التعب يتضمن ظروف معينة وتعد العلاقات المشتقة من هذه البيانات المخبرية مسألة أساسية وهامة لتطوير نموذج خاص للتنبؤ بالسلوك الحقلي لطبقات الرصف في هذا الإطار.

لقد تم تطوير العديد من العلاقات التي تعبر عن أداء الخلطات الإسفاتية في مقاومة التعب إلا أن هذه العلاقات تتأثر بالشروط المحلية المحيطة والمتعلقة بالعديد من العوامل المستنتجة بشكل إحصائي كالبيئة والمناخ والحمولات المرورية ومواد البناء المتاحة ناهيك عن كون هذه العلاقات مشتقة بشكل أساسي من النتائج المخبرية لتقييم التعب والتي قد تختلف من طريقة إلى أخرى من حيث الإجراءات المتبعة في الاختبار والتي تحددها المواصفات القياسية المعتمدة والأجهزة المستخدمة والشروط المحيطية الأمر الذي يقود بمجمله إلى ظهور تباينات إضافية والتي تبدو بشكل واضح فيما لو طبقت هذه العلاقات على شروط أخرى.

1.2 مشكلة البحث:

تعتبر تشققات التعب إحدى العيوب الواسعة الانتشار على شبكة الطرق في سورية، ويعود السبب في ظهور هذه التشققات إلى العديد من العوامل منها عدم ملائمة الخلطة الإسفانية المستخدمة.

إن العلاقة المتبادلة بين خواص مواد الخلطة الإسفائية وسلوكيتها اللاحقة واضحة بشكل جلي، وقد قاد تطور المعرفة لهذه الخواص إلى الوصول لأدوات أفضل في التحليل والتصميم وصولاً إلى خلطات ذات مواصفات أمثل في مقاومتها لظروف الاستثمار. حيث تقوم الفرضية الأساسية في هذه الدراسة على أن العلاقة المباشرة بين ظهور تشققات التعب من جهة والتشوهات الأفقية من جهة أخرى، يوفر أداة مفيدة لاستنتاج خلطة إسفلتية ذات ديمومة أكبر من حيث مقاومة التعب.

1.3 الغاية من البحث:

تعد خواص المواد الحصوية ومنها التدرج الحبي من العوامل المؤثرة على ديمومة الخلطة الإسفاتية ومقاومتها لظهور التشققات المتعلقة بتعب الخلطة الإسفاتية.

إن الغاية الأساسية لهذا البحث هي:

- ا. تحليل تأثير التدرج الحبي للحصويات على مقاومة الخلطات الإسفلتية لتشققات التعب وذلك من خلال مقارنة منحنيات التدرج الحبي القياسية المقترحة من قبل بعض المؤسسات المختصة واختيار التدرج الحبي القياسي من حيث معيار التعب .[26].
- تحليل دور أقطار الحصويات في التدرج الحبي على مقاومة الخلطة الإسفاتية لتشققات التعب من خلال تقسيم التدرج الحبي إلى مجالات ودراسة تأثير كل مجال على معامل المرونة الديناميكي. ومن ثم:
- ٣. اقتراح تدرج حبي معدل لتصميم الخلطة الإسفاتية لمنحها مقاومة عالية للتعب باستخدام تقنية التحليل الإنشائي بطريقة العناصر المحدودة وإجراء بعض التجارب المخبرية لتقييم نتائج التحليل الإنشائي بطريقة العناصر المحدودة وذلك ضمن ظروف الاستثمار المحلية، مما يساهم في زيادة العمر التصميمي لطبقات الرصف وفق معيار التعب [26].

1.4 أهمية البحث:

تعاني أغلب الطرق المحلية من ظهور تشققات التعب بعد فترة وجيزة من وضعها بالخدمة أو صيانتها الأمر الذي يشير إلى ارتباط هذا العيب بعدم تصميم الخلطة الإسفانية وفق أسس صحيحة.

إن مواجهة المشاكل المتعلقة بظهور هذا النوع من التشققات هو من المسائل التي تحمل المؤسسات المعنية بالطرق أعباء مالية كبيرة ، ناجمة عن ارتفاع تكاليف الصيانة أو خروج الطريق عن الخدمة قبل نهاية العمر التصميمي المفترض له.

تبرز أهمية هذا البحث في تحسين مواصفات الخلطة الإسفانية للحصول على ديمومة بأفضل مستوى وأقل كلفة ممكنة وتخفيض متطلبات الصيانة وخصوصاً في ظل القصور الناجم عن عدم استخدام الأساليب العلمية في تصميم الخلطة الإسفانية.

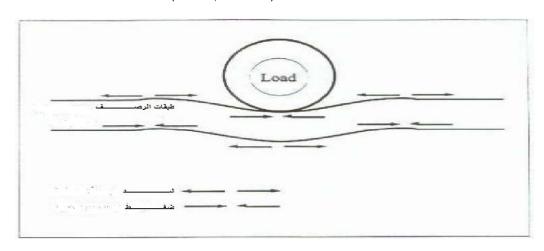
2 .الفصل الثاني :دراسة في مفهوم التعب وتشكل التشققات

2.1 مفهوم التعب:

يعتبر التعب أحد معايير الانهيار، وهو نموذج رئيس للعيوب حيث تعتبر شقوق التعب أكثر الأنواع تمثيلاً للأداء من حيث التقادم والتشغيل التي تتعرض لها طبقات الرصف، والتي تحدث على مرحلتين:

- المرحلة الاولى:

يتعرض السطح السفلي لطبقة الرصف الإسفلتية لإجهادات شد ناجمة عن عزم انعطاف (bending moment). بسبب تركز أحمال المرور على السطح العلوي بحيث يبدأ بالظهور وتسمى مرحلة البدء بظهور التشققات (الشكل رقم 2-1).



الشكل رقم 1-2: مرحلة البدء بظهور التشققات.

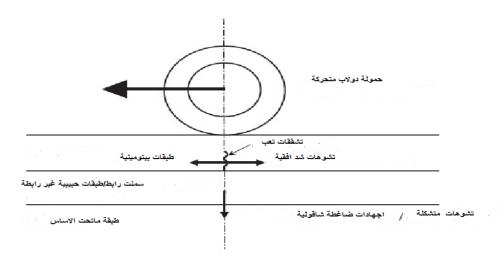
- المرجلة الثانية:

هي مرحلة نمو التشققات حيث يأخذ التشقق بالانتشار والتوسع (الشكل رقم 2-2). وعلى هذا الأساس فإن شقوق التعب بشكل عام تبدأ من الأسفل إلى الأعلى [13].



الشكل رقم 2-2: مرحلة نمو التشققات.

كما يمكن تعريف شقوق التعب على أنها شقوق متوالية حدثت نتيجة التعب للخلطة الإسفلتية تحت تأثير الأحمال المتكررة. تبدأ هذه الشقوق تحت سطح الإسفلت، نتيجة إجهادات الشد الأفقي تحت إطار العربة ثم تتتشر إلى السطح في شكل شقوق طولية متوازية. ونتيجة تأثير تكرار أحمال الحركة تبدأ هذه التشققات في التواصل بالاتجاه العرضي مشكلة شبكة من التشققات حيث تحدث هذه الشقوق دائماً في المواقع التي تكون فيها أحمال الحركة متكررة وخاصة في مسارات الإطارات (الشكل رقم 3-2).



الشكل رقم3-2: موقع إجهادات الشد كمعيار للتعب.

تبدأ تشققات التعب عندما تتجاوز الإجهادات المطبقة قدرة تحمل طبقة الإسفلت وتبدأ بتشققات شعرية طولية. وفي مراحل متقدمة، تتطور هذه التشققات وتتصل عرضياً مشكلة تشققات تشبه جلد التمساح.

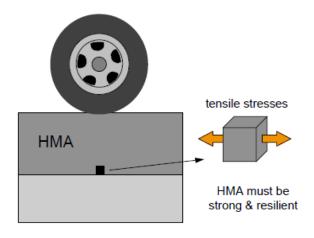
تحدث تشققات التعب نتيجة مجموعة من العوامل المؤثرة بنفس الوقت، أهمها:

- ١. تكرار الحمولات المرورية العالية.
- ٢. سماكة غير كافية لطبقة الإسفلت مما يتسبب بتشوهات انحناء كبيرة نسبياً تحت تأثير حمولة دولاب العربات الثقيلة، وبالتالي تتشأ إجهادات وتشوهات أفقية عالية عند السطح السفلى لطبقة الإسفلت.
 - ٣. التصريف السيئ، التنفيذ السيئ، أو خطأ في تصميم طبقات الرصف ككل.

ولمقاومة إجهادات التعب تتصح الـ [36] FHA تحقيق النقاط التالية عند التصميم:

- ١. التقدير الجيد لغزارة الحركة المرورية الثقيلة.
- ٢. المحافظة على نظام تصريف ملائم لطبقات الرصف خلال فترة الخدمة.
 - ٣. استخدام طبقات رصف إسفاتية سميكة نسبياً.
- ٤. استخدام خلطات إسفاتية ذات معامل مرونة كاف لتحمل التشوهات الشاقولية.
- و. يجب أن تمتلك الخلطة الإسفاتية مقاومة كافية لتحمل إجهادات الشد التي تنشأ عند السطح السفلي لطبقة الإسفات عند تطبيق الحمولة. ويجب أن تمتلك هذه الخلطة مرونة كافية لتحمل تكرار الحمولة دون أن تتشقق. أي يجب تصميم الخلطة الإسفلتية كمادة مرنة عند تعرضها لإجهادات شد

ويبين الشكل 4-2 موقع إجهادات الشد كمعيار للتعب.



الشكل رقم4-2: موقع إجهادات الشد كمعيار للتعب.

أوضحت طريقتي شل ومعهد الإسفلت [4] العلاقة بين تكرار الحمولات وتشوهات الشد الأفقي أسفل طبقة القميص الإسفاتي بدلالة معامل مرونة المجبول الإسفاتي E كما هو موضح بالمعادلة رقم E :

$$N_f = 0.0685(\varepsilon_t)^{-5.671}(E^*)^{-2.363}$$
 2 – 1

العدد المسموح لتكرار الحمولات المحورية النظامية N_f التشوه لافقى النسبى أسفل طبقة القميص الاسفلتى (%) : ε_f

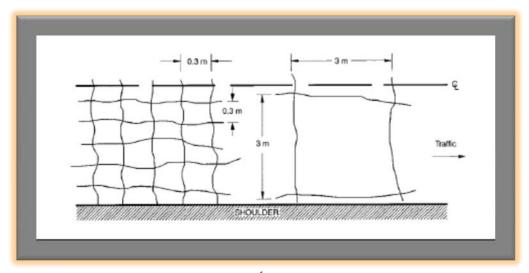
2.2عيوب ناتجة عن تشقق الرصف الإسفلت [16]:

2.2.1. الشقوق التمساحية: وهي عبارة عن تشققات في الطبقة الإسفاتية السطحية على هيئة تقسيمات على شكل جلد التمساح تبدأ هذه الشقوق من أسفل الطبقة الإسفاتية السطحية حتى الوصول إلى سطح الرصف وتكون تقسيمات الشقوق بحدود 60*60سم أو اقل وتنتج هذه الشقوق من إجهاد التعب Fatigue للطبقة السطحية الإسفاتية نظراً لعدم كفاية سماكة الرصف وزيادة الأحمال المرورية عن الأحمال التصميمية أو إنشاء طبقات إسفاتية فوق طبقات رصف غير ثابتة ويبين الشكل 5-2 مثال على الشقوق التمساحية.



الشكل رقم 5-2 مثال على الشقوق التمساحية

2.2.2 الشقوق البلوكية Block Cracking : هي شقوق على شكل مستطيلات أو مربعات بأبعاد تتراوح مابين 0.30*0.30 م و 3*3 م ويحدث نتيجة للتغير الحجمي لطبقات الرصف نتيجة دورة درجة الحرارة اليومية أو السنوية ويساعد ظهورها تقادم الرصف وزيادة تصلاه مع الزمن ،وتظهر عادة في المناطق ذات الكثافة المرورية القليلة ويبين الشكل 6-2 أبعاد الشقوق البلوكية بينما يبين الشكل 7-2 مثال على الشقوق البلوكية.



الشكل رقم 6-2 يوضح أبعاد الشقوق البلوكية



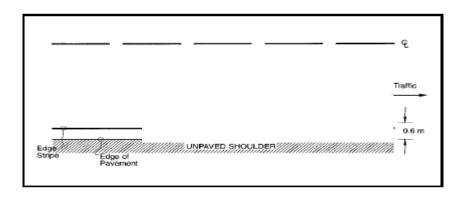
الشكل رقم 7-2 مثال على الشقوق البلوكية

2.2.3 شقوق حواف الرصف:

هي شقوق طولية موازية لحافة الرصف بمسافة تتراوح من 30سم إلى 60 سم وتزيد هذه الشقوق مع الأحمال المرورية وهو ناتج من ضعف دحي ورص طبقة الأساس أو ماتحت الأساس أو طبقة التأسيس أو كليهما معا تحت طبقات الرصف بالقرب من حواف الرصف أو استخدام مواد غير مناسبة أو غير مطابقة للمواصفات أسفل طبقة الرصف السطحية بالقرب من حواف الرصف ويحدث هذا النوع كثيرا عند مناطق التوسيع بدون عمل لحام جيد متدرج بين الرصف القديم والجديد وهذا مانشاهده كثيرا على الطرق في القطر السوري وتبين الأشكال 9-2.8-2 مثال توضيحي لحالة واقعية لشقوق حواف الرصف وأبعادها.



الشكل رقم 8-2 مثال على شقوق حواف الرصف



الشكل رقم 9-2 يوضح أبعاد شقوق حواف الرصف

2.2.4 الشقوق الطولية والعرضية:

الشقوق الطولية: هي عبارة عن شقوق طولية موازية لمحور الرصف

الشقوق العرضية :هي شقوق عرضية عمودية على الاتجاه الطولى للطريق

(حركة المرور)،وتحدث الشقوق نتيجة ضعف تماسك مواد الرصف نتيجة فروق درجات الحرارة أو لتقادم طبقات الرصف مع الزمن أو انعكاس الشقوق بطبقة الرصف القديمة على طبقة الرصف الجديدة (وهذا مايسمى بالشقوق الانعكاسية) ويمثل الشكل 10-2 مثال للشقوق الطولية والعرضية لطبقة الإسفات.



الشكل رقم 2-10 مثال عن الشقوق الطولية والعرضية

2.2.5 الشقوق الانزلاقية:

هي عبارة عن شقوق وتكوم في سطح الرصف على هيئة هلال أو نصف قمر ، وتحدث نتيجة انزلاق طبقات الرصف تحت دولاب السيارات على سطح الرصف مما يؤدي إلى تكوم الإسفات وانزلاقه مكونا شكل هلال وذلك نتيجة ضعف مكونات الخلطة الإسفاتية ودرجة ثباتها وضعف التماسك المطلوب بين طبقات الرصف الإسفاتية نتيجة لنقص طبقة اللصق ووجود أتربة أو زيوت أو مياه بين الطبقات ويمثل الشكل 2-11 مثال للشقوق الانزلاقية لطبقة الاسفات.



الشكل رقم 11-2 مثال عن الشقوق الانزلاقية

2.3 الدراسات والأبحاث السابقة:

أجرى عدد من الباحثين دراسات تتعلق بتأثير التدرج الحبي على الخلائط الإسفلتية حيث قدم [14] Elliot تقييماً تحرى من خلاله تأثير اختلاف التدرج الحبي للحصويات على خصائص الخلطات الإسفلتية حيث تم اختيار ثلاثة أصناف من التدرجات الحبيبية وهي تدرج خشن، تدرج ناعم، تدرج متوسط إضافة إلى منحنيين آخرين سيئي التدرج. وقد توصل من هذه الدراسات إلى النتائج التالية:

- نتأثر خواص الخلطة الإسفاتية بشكل كبير بتغير شكل منحني التدرج الحبي.
- يعطي التدرج الحبي الناعم قيم أعلى لثبات مارشال. بينما أعطى التدرج الحبي الخشن قيم ثبات مارشال هي الأخفض. (خصوصاً عندما يكون لمنحني التدرج الحبي تحدب عند أقطار المناخل التي تميز الرمل).

درس [33] Sousa تأثير التدرج الحبي للحصويات على خصائص التعب للخلطات الإسفلتية مستخدماً طريقة مارشال، وطريقة الإسفلت عالي الأداء لتصميم الخلطات. وعرّف الباحث عمر التعب بأنه عدد تكرار الحمولة التي تؤدي لانخفاض معامل الصلابة البدائي بمقدار 50% في

تجربة الانعطاف. وقد استنتج أن استخدام تدرج حبي ناعم في الخلطات الإسفلتية يعطي قيم أفضل لعمر التعب من استخدام تدرج حبى خشن.

وقد تم التأكد من هذه النتائج من خلال العديد من الأبحاث، حيث وجد كل من [19] Roque وقد تم التأكد من هذه النتائج من خلال العديد من الأبحاث، حيث وجد كل من «Mitchell في Roque وآخرون أن استخدام تدرج حبي ناعم في الخلطات الإسفلتية يرفع من أداء هذه الخلطات في مقاومتها للتشوهات والتشققات.

2.4 المواد الحصوية:

تعرّف المواد الحصوية بأنها مواد حبيبية ناتجة عن التقتت الطبيعي للصخور أو من تكسيرها أو طحنها، وقد تكون من مخلفات المعادن وافران الصهر وغيرها.

تشكل الحصويات مايقارب %95 من وزن طبقات الرصف وتشكل %85 من حجم تلك الطبقات وهذا يبين دور الحصويات الكبير في أداء طبقات الرصف. تلعب خواص المواد الحصوية، دور رئيس في مقاومة طبقات الرصف للإجهادات الميكانيكية الناتجة عن حركة المرور ومقاومة الإجهادات الحرارية الناتجة عن التغيرات الجوية، ويتم تحديد مواصفات المواد الحصوية من خلال تحديد المواصفات الفيزيائية والكيميائية لها، كما يجب أن يكون البحص خشناً ومتماسكاً لتوفير قدرة احتكاك عالية بين حبات البحص ومقاومة الأحمال المرورية. [32].

تصنف الحصويات من حيث أبعاد الحبيبات إلى:

- الحصويات الخشنة (البحص): وهي حصويات تحتوي على حبيبات يحجز معظمها على المنخل ذي الفتحة (4.75 mm).
- ۲. الحصويات الناعمة (الرمل): وهي الحصويات المارة من المنخل ذي (الفتحة (πm) ويحجز معظمها على المنخل ذي الفتحة [27] (ππ).

وتعطي الشروط والمواصفات العامة السورية [35] الخواص التفصيلية التي يجب أن تحققها الحصويات الداخلة في تصميم الخلطة الإسفلتية.

2.5 مواصفات الحصويات:

لا بد من توافر بعض الاشتراطات العامة في الحصويات الصالحة للرصف بحيث يتفق مع المواصفات المتعلقة برصف الطرق البيتومينية. إذ يجب أن تكون الحصويات منتظمة ومكسرة بالحجم المطلوب ولها متانة ومقاومة للعوامل الجوية عاليتان ومكونة من الحصى أو أجزاء الصخور أو الخبث مع أو بدون الرمل أو أي مادة مالئة أخرى.

كما يجب ان تخلو من الطين والمواد النباتية والشوائب الأخرى ومن الحبيبات المنبسطة والمستطيلة والخبث والذي يكون ناتج عن خبث الأفران العالية كما يجب التخلص من المواد الناعمة الزائدة قبل التكسير.

فإذا كان لدينا رمل ينبغي أن يكون الرمل صلباً ونظيفاً وغير قابلاً للتفتت ولا يحتوي على أي جزيئات حصوية أو غضارية وأن لا يكون ملوثاً بأي مواد عضوية.

بالنسبة للبودرة فيجب أن تكون من النعومة بحيث يمر ما لا يقل عن 95% منها من المنخل بفتحة 75% ميكرون وأن لا يقل سطحها النوعي عن 100% كالكل كيلوغرام واحد ويمكن استعمال الإسمنت البورتلاندي كبودرة في البيتون البيتوميني عندما لا تكون البودرة الكلسية متوفرة.

وغالباً ما يفضل إضافة بعض البودرة للخلطات ذات التدرج الكثيف بغرض إنقاص محتوى الفراغات وتقليل المسامية ورفع قيمة مقاومة الخلطة للشد ومن المواد المستخدمة لهذا الغرض: مسحوق الحجر الجيري والخبث والجير المطفأ والرماد والإسمنت البورتلاندي السابق ذكره . [38]

فيما يلي بعض الخواص للمواد الحصوية التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند اختيار المواد الحصوية والمستعملة في إنشاء الطرق [12]:

1. المقاومة:

إن الحصويات المستعملة في إنشاء الطرق يجب أن تكون ذات مقاومة كافية كي تصمد تحت الإجهادات الناتجة عن حمولة العربات المستخدمة للطريق وبصورة خاصة يجب أن تكون مقاومتها عالية في الطبقات السطحية لأنها في هذه الطبقة تتعرض لإجهادات كبيرة وعليه يجب أن تقاوم الحصويات المستعملة في هذه الطبقة بصورة خاصة وفي الطبقات الأخرى بصورة عامة الاهتراء والتفتت الناتج عن تواتر حركة السير.

2. الصلابة:

بما أن حصويات طبقات الرصف تكون معرضة إلى احتكاك فيما بينها ناتج عن حركة المرور فإن الاحتكاك هذا سوف يؤدي إلى تآكل في الحبيبات وعليه يجب أن تكون الحصويات صلبة بشكل كافٍ كي تقاوم هذا الفعل.

3 . المتانة:

إن المواد الحصوية المستخدمة في الطرق وخاصة في الطرق الزراعية تكون معرضة لفعل الصدم (impact) نتيجة الحركة عليها وتزداد قيمة الصدم بفعل خشونة وتحدبا تسطح الطريق وزيادة سرعة العربات وعليه فإن المتانة هي خاصية أخرى يجب إضافتها عند اختيار المواد الحصوية.

4. الأصالة:

إن المواد الحصوية المستعملة في طبقات الطرق يجب أن تكون ذات مقاومة كافية للعوامل الجوية المتمثلة بالتغيرات الحرارية وتغيرات الرطوبة. إن الخاصية التي تجعل المواد الحصوية تجابه فعل العوامل الجوية تدعى بالأصالة (Soundness) حيث تكون هذه الحصويات عرضة للعوامل الفيزيائية والكيميائية الناتجة عن مياه الأمطار أو المياه الجوفية، كما أنها عرضة لفعل الصقيع والذوبان وعليه فإن المواد المستعملة في الطرق يجب أن تكون ذات أصالة جيدة كي بكون هناك ديمومة أكثر لطبقات الرصف.

5 . شكل الحبات:

قد تكون الحبيبات الحصوية من حيث شكلها إما كروية (round) أو مكعبية (Cubical) أو رقيقة (Flaky) أو متطاولة (Elongated) ويمكن أن تكون مستديرة أو زاوية (Angular). يفضل عند إنشاء الطرق وفي مختلف طبقات الرصف استبعاد الحبيبات الرقيقة والمتطاولة لضعف مقاومتها وتختلف النسبة المقبولة من هذه الحبيبات وفقاً لكون الطبقة سطحية أو أساس.. إلخ.

6. الكثافة والاحتكاك:

إن قوى الاحتكاك للمواد الحصوية وبصورة خاصة غير المعالج منها (أي دون إضافات كالإسمنت والبيتومين) يعتمد بشكل أساسي على التركيب الحبي والكثافة النسبية وشكل الحبات، ولكي نحصل على احتكاك أعظمي للمواد الحصوية غير المعالجة تستطيع مقاومة التشوهات الناتجة عن الحمولات يجب تأمين احتكاك داخلي عالي وتماسك للحبات، أي بعبارة أخرى تأمين مقاومة جيدة للقص والمقاومة الجيدة ضد القص تتعلق بالتركيب الحبي والكثافة إضافة إلى شكل الحبات.

إن زيادة قيمة الكثافة. أي تقليص نسبة الفراغات. بالنسبة لتركيب حبي معين يتم بواسطة زيادة قدرة الرص، وبالتالي تزداد قيمة قوى الاحتكاك، أما بالنسبة للتركيب الحبي فإن نسبة العناصر الناعمة إلى الخشنة تلعب دوراً أساسياً في زيادة ونقص هذه القوى.

2.6. مواصفات المواد الحصوية المحلية:

يؤثر قطر وشكل حبيبات المواد الحصوية بشكل كبير على خصائصها وسلوكيتها، حيث يزداد معامل المرونة بزيادة الخشونة والزوايا الحادة للحصويات [5]. تم إجراء دراسة كاملة للحصويات المتوفرة في أغلب المقالع الموجودة في سورية، ويبين الجدول رقم 1-2 بعض نتائج هذه الدراسة والتي أجريت لصالح المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية [39].

قم 1-2 التدرج الحبي لحصويات بعض المقالع في سوريا [39].	الجدول رو
--	-----------

فتحة المنخل							لوس				
No 200	No 16	No 8	No 4	3/8ీ	1/2ౕ	3/4 _o	1 ố	1.5ౕ	2 ố	أنجلوس	موقع المقلع
0.24	0.42	0.44	0.64	10.1	23.3	58.6	7.38	98.68	100	20.84	حفير
0.7	1.72	2.98	8.32	39.76	61.4	85.2	96.28	98.04	100	18.56	حفير شرقي

1.38	7.36	12.72	24.98	52.82	67.02	84.08	92.74	100	100	19.4	حفير شرقي
1.96	8.16	13.52	31.22	50.68	58.04	72.8	86.1	100	100		المراح
2.98	11.06	15.52	25.66	44.62	57.9	82.46	95.2	100	100	27.24	القسطل
0.18	0.18	0.18	0.18	13.33	37.23	71.05	84.0	100	100	17.86	حسية
0.15	0.15	0.15	0.15	0.48	15.78	87.7	100	100	100	14.3	حسية
0.38	0.38	0.38	0.38	6.2	25.73	67.1	90.71	100	100	30.5	حماة
1.13	1.13	1.13	1.13	16.83	39.11	83.48	97.4	100	100	29.8	حماة
2.86	6.6	8.7	13.06	26.82	37.22	58.82	71.82	86.80	95.8		حماة
0.22	0.22	0.22	0.22	5.02	13.02	42.96	65.66	96.2	100	20.8	جباتا الخشب
3.26	14.16	18.92	26.24	43.36	49.8	66.28	78.6	91.38	100		النبك
0.54	2.84	4.36	9.66	31.18	45.74	77.1	93.36	100	100	29.48	المشرفة
16.37	16.37	16.37	16.37	73.57	96.94	100	100	100	100	16.7	القصير
0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.53	4.08	68.75	100		اللاذقية

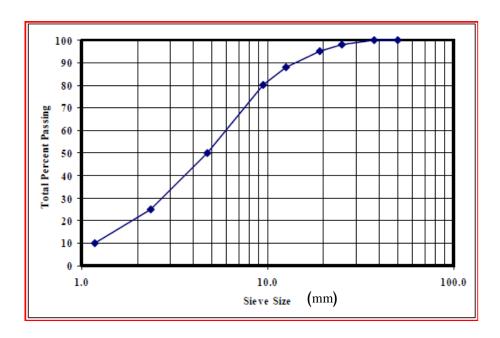
<u>2.7</u>التدرج الحبى:

تشكل الحصويات الهيكل الحامل للخلطة الإسفلتية، وتمتص الجزء الأكبر من الإجهادات الناجمة عن الحمولات المرورية المطبقة من خلال الاحتكاك بين الحبيبات الحصوية.

ويقصد بالتدرج الحبي: الاحتواء الكمي في خليط من الحصويات للجزيئات الصلبة من مختلف الأبعاد مأخوذاً كنسبة مئوية من الوزن الكلى للعينة بعد التجفيف [37].

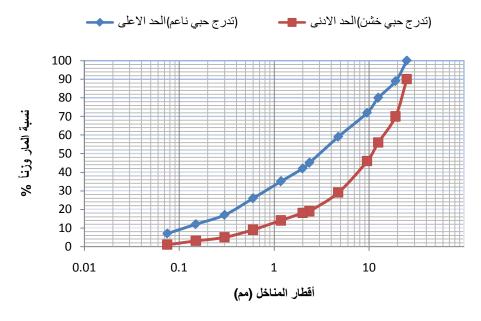
تعتمد طريقة تعيين التدرج الحبي على مبدأ فصل عينة الحصويات إلى مجموعات حبية مختلفة الأقطار، وأقطار حبيبات كل مجموعة محصورة بين بعدين. يتم فصل حبيبات التربة إلى مجموعات بتمرير عينة الحصويات (بعد تجفيفها ووزنها) على مجموعة مناخل يتناقص قطر فتحة الثقوب فيها من الأعلى إلى الأسفل، ثم يوزن المحجوز على كل منخل وتحسب النسب المئوية لكل مجموعة حبية في العينة [21].

يمثل التدرج الحبي بيانياً بمنحني التدرج الحبي حيث يمثل المحور الأفقي لوغاريتم قطر الحبيبات بينما يمثل المحور العمودي النسبة المئوية المارة من كل منخل [28] كما هوموضح في الشكل 12-12.



الشكل رقم 12-2: مثال لمنحني تدرج حبي [17]

وتعطي مواصفات تصميم الخلطات الإسفاتية منحني التدرج الحبي على شكل حزمة تبين الحد الأعلى (منحني تدرج ناعم) والحد الأدنى (منحني تدرج خشن)كما في الشكل 13-2:



الشكل رقم13-2: مثال لحزمة تدرج حبي (1) ASTM

يعتبر منحني التدرج الحبي للحصويات من أهم العوامل المؤثرة على خصائص الخلطة الإسفلتية. حيث بين كل من [28] Roberts أن مقاومة الخلطات الإسفلتية للتشوهات تزداد إذا كانت نسب الحبيبات في التدرج الحبي متوازنة وتعطي منحني تدرج حبى مستمراً مهما كانت مصادر ونوعية الحصويات.

تصمم الخلطات الإسفانية تقليدياً باستخدام طريقة الخطأ والصواب لاختيار التدرجات الحبية المناسبة. وقد اعتمد المنخل بفتحة 4.75 مم كحد فاصل بين الحصويات الخشنة والحصويات الناعمة.

تعتبر الحصويات الناعمة من المواد التي لها قدرة على خفض الفراغات بين الحبيبات الخشنة والتقليل من محتوى الرابط الإسفاتي إلى الكمية المرغوب بها.

كما و تعتمد الطرق التقليدية في تصميم الخلطات الإسفلتية على مفهوم الكثافة ألأعظمي والمقترح من قبل (Fuller and Thompson) للخلطات البيتومينية [6] في المعادلة رقم 2-2 التالية:

$$P = 100 \times \left(\frac{d}{D}\right)^n \qquad 2 - 2$$

حيث:

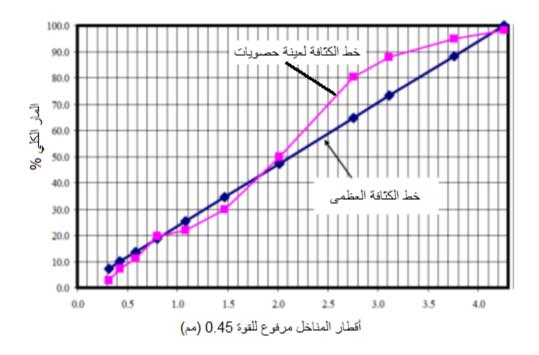
e : هي النسبة الإجمالية للمار أو الأنعم من المنخل d (%).

d : قطر فتحة المنخل (مم).

D :القطر الأعظمي للحبيبات (مم).

n : ثابت يساوي [6]0.5، أو [6]0.45.

ويبين الشكل رقم 2-1 خط الكثافة العظمى للتدرج الحبي المقترح بالمعادلة رقم n=0.45



الشكل رقم 14-2: منحني التدرج العملي بالكثافة الخطية العظمى [6]. حيث يمثل الخط المستقيم الكثافة الخطية العظمى النظرية ويمثل المنحنى خط الكثافة العظمى لتدرج حبى ما.

يفضل الانحراف عن خط الكثافة العظمى عند تصميم الخلطات الإسفاتية، فتدرجات الكثافة العظمى قد لاتوفر حيزا كافيا من الفراغات للرابط البيتوميني المطلوب من أجل ديمومة الخليط الإسفاتي[6] موضح في الشكل 14-2.حيث يلعب التدرج الحبي وطبيعة المواد دوراً هاماً في أداء الخلطات البيتومينية وله نوعان [18]:

2.7.1 التدرج الحبي الكثيف:

يعطي التدرج الكثيف درجة ثبات وديمومة للخلطة أفضل من التركيب المفتوح ويعود السبب في ذلك إلى طبيعة الاحتكاك ما بين المواد الحصوية حيث إن عامل المرونة وقوة الشد التوترية تخفض إلى النصف في التراكيب الحبيبية المفتوحة عنها في الكثيفة بسبب الحساسية الزائدة لدرجات الحرارة العالية. لكن في المقابل تعطي التراكيب المفتوحة مقاومة أفضل للانزلاق وذلك بسبب قلة المواد الناعمة.

2.7.2 التدرج الحبى المفتوح:

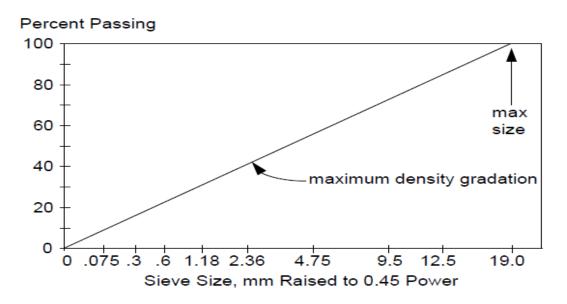
يمنح التدرج المفتوح نفوذية عالية، مما يؤدي إلى اختراق الماء للخلطة وبالتالي قد يضعف الارتباط ما بين المواد الحصوية وخاصة عند تكرار حادثة التجمد والذوبان ولكنه يسمح بالتصريف العمودي والأفقي للماء، مما يساعد على تصريف الماء بشكل أسرع من التدرج الكثيف الأمر الذي يعطى أماناً أكبر للسائقين في الظروف الجوية الماطرة.

عملياً ينصح باستخدام التدرجات الحبية الكثيفة، ويفضل استخدام التدرجات الحبية المفتوحة في الطرق الجبلية لزيادة الاحتكاك ما بين الدواليب وسطح الطريق.

• يمثل مخطط الكثافة العظمى (الشكل 15-2) تدرج حبي كثيف تتخفض فيه نسبة الفراغات بشكل كبير وتملئ فيه حبيبات التربة الفراغات بشكل شبه كامل مما يمنع تغليفها بشكل ملائم بالرابط الإسفلتي وبالتالي يؤثر بشكل سلبي على ديمومة الخلطة الإسفلتية.

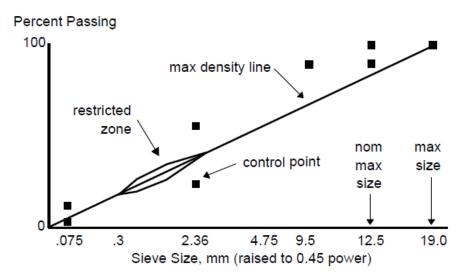
وبخطوة متقدمة تم تطوير مخطط الكثافة العظمى باقتراح الابتعاد جزئياً عن خط الكثافة العظمى للحصول على تدرج حبي مقترح أقل كثافة يؤمن الفراغات المطلوبة بحدها الأدنى وذلك بإضافة نقاط ضبط ومنطقة حظر.

تبين المخططات 16-2 و 71-2 نقاط الضبط ومنطقة الحظر لعدد من مخططات التدرج الحبي المستخدمة في طريقة للخلطات عالية الأداء.



الشكل رقم 2-15: خط الكثافة العظمي لتدرج حبى بقطر أعظمي 19.0 مم.

تمثل نقاط الضبط الحدود العظمى للابتعاد عن خط الكثافة العظمى لمخطط التدرج الحبي وتقع عند القطر ألأعظمي الاسمي، نقاط وسطية (المنخل 2.36 مم) والبودرة (المنخل 0.075 مم). يبين المخطط15-2 التدرج الحبى المقترح لخلطة بطريق السوبربيف بقطر اسمى 12.5 مم:

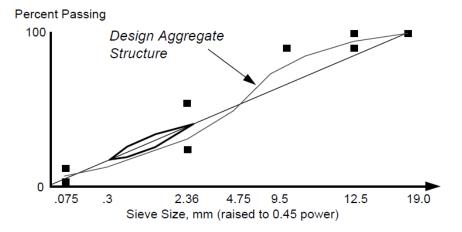


الشكل رقم 16-2: مخطط التدرج الحبي المقترح لخلطة السوبربيف لتدرج حبي 19.0 مم

تقع منطقة الحظر على خط الكثافة العظمى بين فتحة المنخل 4.75 مم و 0.3 مم و تقع منطقة يجب أن لايمر منحني التدرج الحبي من خلالها يبين الجدول رقم 2-2 تصنيف التدرج الحبي وفق طريقة السوبربيف، حيث يصنف التدرج الحبي في خمسة مجموعات وفقاً للقطر ألأعظمي والقطر ألأعظمي الاسمي للتدرج الحبي .

Superpave Mixtures							
Superpave	Nominal	Maximum					
Mixture	Maximum	Size, mm					
Designation	Size, mm						
37.5 mm	37.5	50					
25 mm	25	37.5					
19 mm	19	25					
12.5 mm	12.5	19					
9.5 mm	9.5	12.5					

جدول رقم 2-2 تصنيف التدرج الحبي وفق طريقة السوبربيف.



الشكل رقم 17-2 :مثال للتدرج الحبي 19 مم وفق طريقة السوبربيف

Gradation Criteria for 19.0 mm Nominal Mixture			
Gradation Control	Sieve Size,	Minimum,	Maximum,
Item	mm	%	%
	25.0	100.0	
Control Points	19.0	90.0	100.0
	12.5		90.0
	2.36	23.0	49.0
	0.075	2.0	8.0
	2.36	34.6	34.6
Restricted Zone	1.18	22.3	28.3
	0.600	16.7	20.7
	0.300	13.7	13.7

الجدول رقم 3-2: نقاط الضبط لتدرج حبي اسمي 19.0 مم

ويبين الملحق 3 نقاط الضبط لمجموعات التدرج الحبي الخمس وفق FHA

2.8 معامل المرونة الديناميكى:

يعبر عن معامل المرونة الديناميكي للإسفلت بمعادلة رياضية معقدة تربط بين الإجهادات والتشوهات لمادة مرنة الزجة. يمثل الجزء الحقيقي في هذه المعادلة معامل المرونة بينما يمثل الجزء التخيلي منها خاصية التخامد للمادة [9, 1].

أشارت العديد من الأبحاث إلى أن معامل المرونة الديناميكي للإسفلت تابع لمجموعة عوامل كدرجة الحرارة، الحمولة، عمر المادة إضافة لخواص المواد الداخلة في تركيب الخلطة الإسفاتية كالتركيب الحبي للحصويات، نسبة البيتومين في الخلطة ونسبة الفراغات فيها [23].

2.8.1 تجربة معامل المرونة الديناميكى:

تعتبر هذه التجربة واحدة من أقدم وأفضل تجارب الضغط احادي المحور الموثقة [6] ، وقد اعتمد عدد من الباحثين على النتائج المتراكمة عن هذه التجربة كقاعدة معلومات في بناء نماذج رياضية لحساب معامل المرونة الديناميكي وقداعتمدت تجربة الضغط احادي المحور عام 1979 تحت رقم ASTM D3497 باسم " الطريقة القياسية لتحديد معامل المرونة الديناميكي للخلطات الإسفلتية" [9].

تنفذ التجربة بتطبيق حمولة ضغط محورية جيبية على عينة إسفاتية اسطوانية الشكل ثم يرسم منحني العلاقة بين الإجهادات والتشوهات. ويعطى معامل المرونة الديناميكي للمواد اللزجة—المرنة الخطية بمعادلة رياضية معقدة رقم 2-2من الشكل رقم 2-18:

$$E^* = |E^*|\cos\phi + i|E^*|\sin\phi \qquad 2-3$$

حيث:

.Complex Module عامل المرونة العقدي ${f E}^*$

 $|E^*|$ وهو القيمة المطلقة من: $|E^*|$

i: الرقم التخيلي.

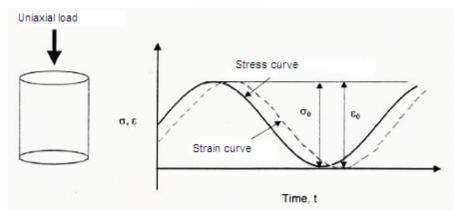
 Φ :زاوية الطور وتمثل الخواص اللزجة للمادة حيث تأخذ القيمة 0 للمواد المرنة الصافية، و 0 كالمواد اللزجة الصافية. تحسب زاوية الطور من العلاقة رقم 0:

$$\emptyset = \frac{T_i}{T_P} \times 360^{\circ} \qquad 2 - 4$$

Ti: التأخر الزمني بين الإجهادات والتشوهات.

Tp: مدة تطبيق الإجهادات.

يبين الشكل 18-2 شكل عينة الاختبار والمنحني البياني للإجهادات المطبقة والتشوهات المقاسة بدلالة الزمن.



الشكل رقم 18-2: المنحنى الناتج عن تجربة معامل المرونة الديناميكى [19]

اعتمدت الآشتو [3] القيمة المطلقة للمعامل *E كمعامل المرونة الديناميكي ويؤخذ من العلاقة رقم 5-2:

$$E^* = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \qquad \qquad 2 - 5$$

حبث:

 $\sigma = f(Time)$ قيمة الإجهادات عند الذروة العظمى لمنحنى : σ_0

 $\varepsilon = f(Time$ قيمة التشوهات عند الذروة العظمى للمنحنى ε_0

- درس بيلنين ووتزاك [25] سلوك 205 خلطة إسفلتية و 23 رابط بيتوميني بدرجات حرارة ضمن مجال °54-°50 وبحمولات متكررة مجال ترددها متغير وقد توصلا إلى نموذج للتنبؤ بمعامل المرونة الديناميكي ويعطى هذا النموذج وفقاً للمعادلة التالية رقم 6-2:

$$\begin{split} \log |E^*| &= -1.249937 + 0.029233 P_{200} - 0.00176 (P_{200})^2 + 0.00284 P_4 - \\ & 0.05809 V_a - 0.802208 \frac{V_{beff}}{(V_{beff} + V_a)} + \\ & \frac{3.871977 - 0.0021 P_4 + 0.003958 P_{38} - 0.000017 (P_{38})^2 + 0.00547 P_{34}}{1 + e^{[-0.603313 - 0.313351 \times log (f) - 0.393532 \times log (\eta)]} \end{split}$$

2-6

حيث:

.[10^5 psi] : المعامل الديناميكي للخلطة الإسفاتية، $|E^*|$

. [sec] نواتر الحمولة [Hz]. حيث: f=1/t عيث: الحمولة [sec].

 V_a : النسبة المئوية لحجم الفراغات الهوائية في الخلطة [%].

: نسبة حجم البيتومين الفعال [%]

P₃₄: نسبة المارمن المنخل "1 والمحجوز على المنخل 3/4 من الوزن الكلى للحصويات.

سبة المار من المنخل"3/4 والمحجوز على المنخل"3/8 والمحجوز على المنخل"2/4

نسبة المار من المنخل "3/8 والمحجوز على المنخل no.4 نسبة المار من المنخل "3/8

. نسبة المار من المنخل 200 من الوزن الكلى للحصويات P_{200}

 η : لزوجة البيتومين، [10^6 poise]. يمكن حساب η بالعلاقة مع درجة الغرز وفق المعادلة τ 2-2:

 $\log \eta = 10.5012 - 2.2601 \log (Pen) + 0.00389 \log (Pen)$ 2-7

حيث: η: اللزوجة [Poise] : درجة الغرز.

 $\log \log (\eta_{t=0}) = 0.054405 + 0.972035 \log \log (\eta)$

اللزوجة عند فرش الخلطة الإسفاتية ضمن طبقة القميص في الموقع مقدرة بالسنتي بواز $\eta_{t=0}$.

اللزوجة عند عمر معين فتعطى بالعلاقة 8-2:

$$\eta_{\text{aged ,z}} = \frac{\eta_{\text{aged }} (4+\alpha) - \alpha (\eta_{t=0})(1-4z)}{4 (1+\alpha z)}$$
 2-8

. [MPoise] اللزوجة عند عمر معين وعمق z [in] مقدرة بـ ميغا بواز $\eta_{aged.z}$

. [MPoise] اللزوجة عند عمر معين وعمق $0.25~{
m in}$ مقدرة بـ ميغا بواز $\eta_{
m aged}$

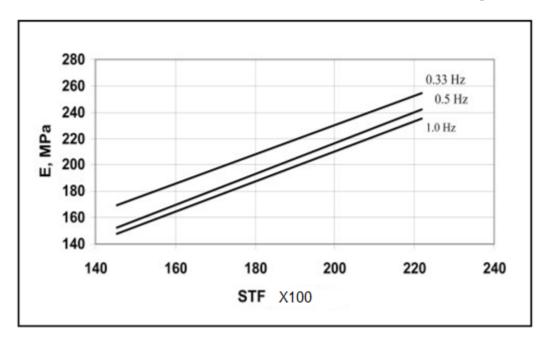
$$\alpha = 23.83 e^{(-0.0308 \text{ Maat})}$$

Maat: المتوسط السنوي لدرجة حرارة الهواء (فهرنهايت).

♣ قام الباحث الجسار [3] بمحاولة الربط بين المعامل الديناميكي من جهة ومخرجات تجربة مارشال وذلك بإجراء تجارب تحميل ديناميكي مخبرية بتواتر 5.5Hz ، 1.0Hz . وقد استنتج الباحث وجود علاقة خطية بين المعامل الديناميكي علاسفلت ونسبة الثبات إلى السيلان (STF: Stability to Flow) في تجربة مارشال وذلك عند درجة الحرارة 60°C مهما كان توتر الحمولة.

E=f(STF)

من هذه العلاقة يمكن تقدير قيمة معامل المرونة من خلال تجربة مخبريه لخلطة إسفاتية ومن ثم إدراجه في الحسابات الإنشائية لطبقة الرصف الإسفاتية دون الحاجة لإجراء تجربة ديناميكية معقدة. ويبين الشكل e^{-2} العلاقة بين المعامل الديناميكي e^{-2} ونسبة الثبات إلى السيلان في التجارب التي أجراها الباحث e^{-2} .



الشكل رقم 19-2: المعامل الديناميكي E بدلالة نسبة الثبات إلى السيلان STF من تجربة مارشال بدرجة حرارة 60° C.

3. الفصل الثالث: التدرج الحبى وتأثيره على التعب والتشوه

3.1 اختيار التدرج الحبي الأمثل وفق معيار التعب:

تتعلق الدراسة في هذا البحث بالتدرج الحبي ودوره في الحصول على خلطة إسفلتية مقاومة للتعب من خلال تقييم معامل المرونة الديناميكي للخلطات الإسفلتية وفق نموذج بيلنين ووتزاك [25]، لذا تم تثبيت جميع العوامل الداخلة في تصميم الخلطة باستثناء التدرج الحبي. وتم استخدام قيم عوامل سبق استخدامها من باحثين آخرين [4] استخدمت فيها عوامل محلية تتعلق بخواص المواد والشروط المحيطية والاستثمارية.

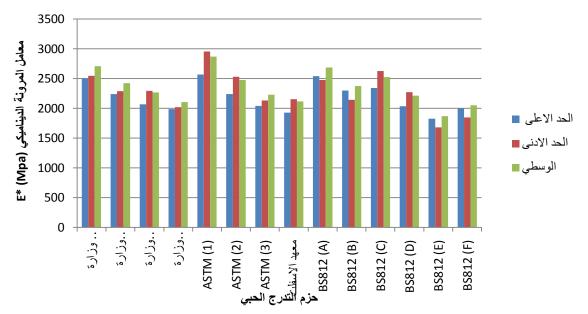
للحصول على التدرج الحبي الأفضل لخلطة إسفلتية مقاومة للتعب قمنا بدراسة 14 حزمة تدرج حبي تعود لعدد من المواصفات الدولية ذات الصلة (الملحق 1). ويبين الجدول التالي التدرجات الحبية المستخدمة بعد تجزئتها إلى أربعة مجالات وفقاً لفتحة المنخل لاستخدامها في معادلة بيلنين ووتزاك[25].

الجدول رقم 1-3: حزم التدرج الحبي المستخدمة في البحث.

رقم		قطر الأعظمي دود قيم		المحجوز %			المار %
العينة		حزم التدرج الحبي	الاسمي (إنش)	3/4"	3/8"	no. 4	no. 200
1	حزمة وزارة الدفاع(1)	الحد الأعلى	3/4	10	25.00	38.00	8.00
2	[34]	الحد الأدنى	1	30	45.00	55.00	0.00
3		الوسطي		20	35.00	47.00	4.00
4	(O) c1:.11: 1: 1: 1:	الحد الأعلى	3/8	0	20.00	35.00	8.00
5	حزمة وزارة الدفاع (2) [34, 35]	الحد الأدنى	1/2	20	40.00	52.00	0.00
6	[54, 55]	الوسطي		10	30.00	43.50	4.00
7	(2) (1:11:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1	الحد الأعلى	3/8	0	10.00	30.00	10.00
8	حزمة وزارة الدفاع (3) [34, 35]	الحد الأدنى	1/2	0	30.00	50.00	4.00
9	[54, 55]	الوسطي		0	20.00	40.00	7.00
10	(4) (1:11:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1	الحد الأعلى	3/8	0	9.00	20.00	10.00
11	حزمة وزارة الدفاع (4) [34]	الحد الأدنى	1/2	0	22.00	35.00	3.00
12	[3 -]	الوسطي		0	15.50	27.50	6.50
13	(1) 10-11	الحد الأعلى	3/4	11	28.00	41.00	7.00
14	حزمة ASTM (1) [10]	الحد الأدنى	1	30	54.00	71.00	1.00
15	[10]	الوسطي		20.5	41.00	56.00	4.00
16	حزمة ASTM (2)	الحد الأعلى	1/2	0	20.00	35.00	8.00
17		الحد الأدنى	3/4	10	44.00	65.00	2.00
18	[10, 35]	الوسطي		5	32.00	50.00	5.00

19		الحد الأعلى	3/8	0	10.00	26.00	10.00
20	حزمة ASTM (3) [10, 35]	الحد الأدنى	1/2	0	28.00	56.00	2.00
21	[10, 55]	الوسطي		0	19.00	41.00	6.00
22	e knoto knoto si o	الحد الأعلى	No 4	0	0.00	25.00	10.00
23	حزمة معهد الإسفلتالأمريكي [34, 35]	الحد الأدنى	3/8	0	20.00	45.00	4.00
24	71[34, 33]	الوسطي		0	10.00	35.00	7.00
25	11 . 11 . 61	الحد الأعلى	3/4	10	25.00	42.00	8.00
26	حزمة الكود البريطاني BS812(أ)[11]	الحد الأدنى	1	22	46.00	64.00	0.00
27	[11]()55012	الوسطي		16	35.50	53.00	4.00
28	11 . 11 . 61	الحد الأعلى	1/2	0	22.00	40.00	8.00
29	حزمة الكود البريطاني BS812(ب)[11]	الحد الأدنى	3/4	5	44.00	62.00	0.00
30	[11](./83012	الوسطي		2.5	33.00	51.00	4.00
31	at the chira	الحد الأعلى	1/2	0	26.00	40.00	8.00
32	حزمة الكود البريطاني BS812(ج)[35, 11]	الحد الأدنى	3/4	5	44.00	62.00	4.00
33	[11, 33](6)83012	الوسطي		2.5	35.00	51.00	6.00
34	11 11 - 61 5 +	الحد الأعلى	3/8	0	5.00	30.00	9.00
35	حزمة الكود البريطاني BS812(د)[35,11]	الحد الأدنى	1/2	0	26.00	52.00	4.00
36	[11, 33](-)63012	الوسطي		0	15.50	41.00	6.50
37	11 . 11 . 61	الحد الأعلى	No 4	0	0.00	10.00	10.00
38	حزمة الكود البريطاني BS812(هـ)[11]	الحد الأدنى	3/8	0	5.00	20.00	2.00
39	[++]()D3012	الوسطي		0	2.50	15.00	6.00
40	ن تا ای دال د ال	الحد الأعلى	No 4	0	0.00	35.00	10.00
41	حزمة الكود البريطاني BS812(و)[11]	الحد الأدنى	3/8	0	0.00	55.00	2.00
42	[11](5)55012	الوسطي		0	0.00	45.00	6.00

ويبين المخطط البياني رقم 1-3 معامل المرونة الديناميكي للخلطة الإسفاتية وفقاً لنموذج بيلنين ووتزاك[25]، وذلك من أجل الحد الأعلى والحد الأدنى لحزم التدرج الحبي المبينة في الجدول أعلاه، إضافة لمنحني التدرج الوسطي لهذه الحزم.

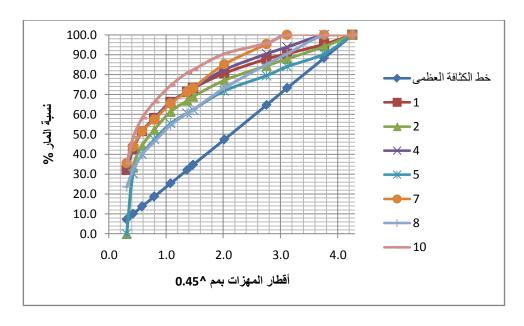


المخطط البياني رقم 1-3: معامل المرونة الديناميكي لحزم التدرج الحبى

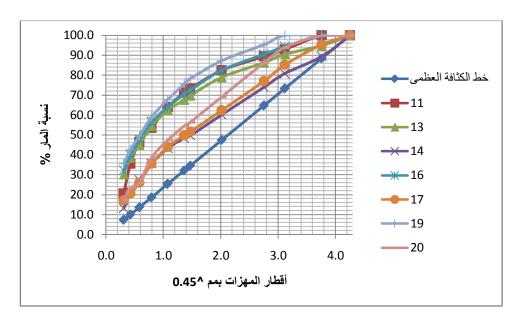
يوضح المنخطط البياني 1-3النقاط التالية:

- التدرج الحبي الخشن لحزمة (1) ASTM (الحد الأدنى للحزمة) يعطي أعلى قيمة لمعامل المرونة الديناميكي، في حين أن التدرج الحبي الخشن لحزمة (الحد الأدنى للحزمة) يعطى أخفض قيمة لمعامل المرونة الديناميكي.
- التدرج الحبي الناعم لحزمة (1) ASTM (الحد الأعلى للحزمة) يعطي أعلى قيمة لمعامل المرونة الديناميكي، في حين أن التدرج الحبي الناعم لحزمة (BS812(E) (الحد الأعلى للحزمة) يعطي أخفض قيمة لمعامل المرونة الديناميكي.
- منحني التدرج الحبي الوسطي لحزمة (1) ASTM يعطي أعلى قيمة لمعامل المرونة الديناميكي، في حين أن التدرج الحبي الوسطي لحزمة (BS812(E) يعطي أخفض قيمة لمعامل المرونة الديناميكي.
 - بشكل عام، التدرج الحبي الخشن (الحد الأدنى للحزمة) يعطي أعلى قيمة لمعامل المرونة الديناميكي باستثناء حزم المواصفة البريطانية ,BS812(E), BS812(B).

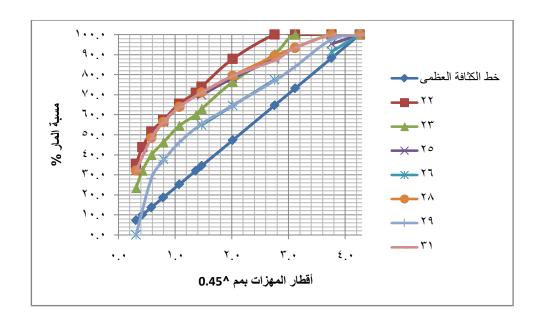
وتبين المنحنيات البيانية 5-3,3-4,3-3,3-2 انتائج إسقاط التدرجات الحبية وفق المواصفات المبينة في الجدول رقم 1-3 على مخطط الكثافة الخطية العظمى المقترح من قبل Fuller and) للخلطات البيتومينية [6].



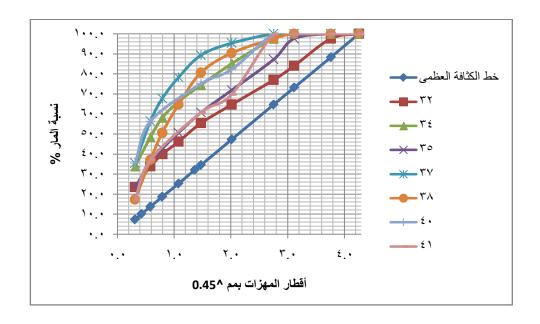
المنحني البياني رقم2-3: خط الكثافة العظمى لمنحنيات التدرج الحبي المدروسة.



المنحني البياني رقم3-3: تابع لخط الكثافة العظمى لمنحنيات التدرج الحبي المدروسة.



المنحني البياني رقم4-3: تابع لخط الكثافة العظمى لمنحنيات التدرج الحبي المدروسة.



المنحني البياني رقم 5-3: تابع لخط الكثافة العظمى لمنحنيات التدرج الحبي المدروسة.

من تحليل المنحنيات المبينة أعلاه يمكننا استنتاج مايلي:

- 1. خط الكثافة العظمى للتدرج الحبي لجميع المواصفات المدروسة كان أعلى من خط الكثافة العظمى المقترح من قبل [6]Fuller and Thompson، ويأخذ شكل قطع مكافئ ذروته قريبة من المنخل 4.75 مم، وبالتالي فإن خفض نسبة المار من هذا المنخل سيؤدى لاقتراب منحنى التدرج الحبى من خط الكثافة العظمى المقترح.
- إن المنحنيات 14 و 17 العائدة للتدرج الحبي 1 ASTM و ASTM بحدها الخشن كانت الأقرب لخط الكثافة العظمى المقترح وهو مايفسر حصولنا على أعلى قيمة لمعامل المرونة الديناميكي في نموذج بيلنين ووتزاك [24]، يليها بذلك المنحنيات 26 و BS 812 A بحدها الخشن.

لدراسة تأثير التدرج الحبي على مقاومة التعب للخلطات الإسفلتية يمكن إتباع إحدى الطريقتين التاليتين:

 ا. طرق تجريبية مخبرية: تعتمد على إعداد خلطات إسفاتية بتدرجات حبية مختلفة واختبارها تحت تأثير حمولة ديناميكية حتى الانهيار بسبب التعب، والذي يعبر عنه بتشوهات أفقية حدية

إلا أن لهذه الطرق مساوئها. فهي مكلفة وتحتاج لفترة زمنية طويلة نسبياً إذ تحتاج لتجهيزات مخبرية خاصة يندر توفرها، وخبرة عالية للمخبريين الذين يقومون بالعمل إضافة لصعوبة السيطرة على الشروط البيئية المطلوبة للتجربة.

٢. طرق النمذجة العددية: وهي طرق أبسط من سابقتها إلا أنها تحتاج لمعرفة جيدة لخواص المواد المستخدمة وآلية عمل المنشأة الهندسية المدروسة تحت تأثير العوامل المختلفة الفاعلة.

3.1.1 النمذجة بطريقة العناصر المحدودة:

في بحثنا هذا اعتمدنا النمذجة العددية بطريقة العناصر المحدودة، نظراً لسهولتها وتوفر المادة العلمية لإنجاز هذه الدراسة. مستفيدين من نتائج الأبحاث السابقة [4].

تختصر هذه الفقرة تفاصيل التحليل النظري المستخدمة في النمذجة بالعناصر المحدودة باستخدام برنامج [2] ABAQUS/Standard والذي برهن على أنه مناسب في تحليل المسائل المعقدة [22]. حيث يتمتع بالميزات التالية:

- هو برنامج متطور ويستخدم بشكل واسع في الأبحاث على مستوى العالم كله.
- يوفر بيئة عمل ممتازة للمستخدم لخلق وتحليل ومراقبة وتقييم نتائج من خلال النمذجة بالعناصر المحددة.
- قادر على إنجاز تحليل يراعى خصوصية المواد المستخدمة في أعمال الرصف للطرق.
 - يمكّن من خلق نماذج مناسبة لدراسة سلوك المواد الحبيبية.

3.1.1.1 خصائص النموذج المدروسModel Properties

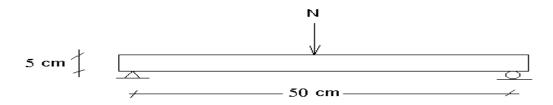
-الخصائص الهندسية للنموذج:

تحدد مقاومة الإسفات على التعب مخبرياً من خلال تجربة انعطاف لجائز مستطيل المقطع مستند استناداً بسيطاً عند طرفيه ومعرض لحمولة مركزة.

في عملنا تم الاعتماد على نموذج بيلنين ووتزاك لحساب معامل المرونة الديناميكي ومن ثم إدراجه في نموذج العناصر المحددة لحساب التشوهات الافقية ومقارنة النتائج لعدد من التدرجات الحبية،حيث تم اجراء اختبار الانعطاف ودراسته رياضيا فقط من خلال استخدام برنامج Abaqus. برهنت الكثير من الأبحاث إلى أن استخدام التحليل بالعناصر المحددة FEA مناسب للتطبيق في المسائل المعقدة المتعلقة بطبقات الرصف. وعلى الرغم من أنه يمكن باستخدام نماذج عناصر محددة ثلاثية البعد 3D فيحل كل المسائل التي يمكن حلها باستخدام نماذج عناصر محددة ثنائية البعد 2Dبدقة أكبر، إلا أنه من المكلف جداً استخدام نماذج اطولي إطار إعداد البيانات المطلوبة والزمن اللازم للحساب. وبما أن لبنية طبقات الرصف بعد طولي كبير لذا فمن المناسب استخدام نموذج 2D ذو تشوه مستوي [17]Plane Strain

3.1.1.2 نوع العناصر وحجم الشبكة Element Types and Mesh Size

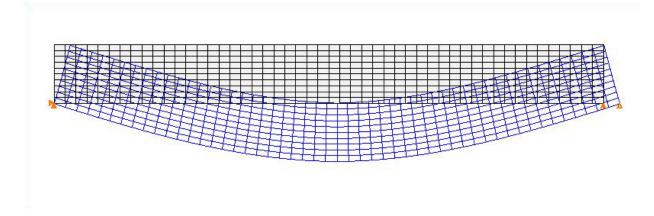
تم اختيارعناصر ذات تشوه مستوي Shell لتمثيل جائز بطول 50 سم وارتفاع 5 سم، يستند استناد بسيط بمسند متدحرج ومسند ثابت ويتعرض لحمولة ثابتة مقدارها 3500 كغ مركزة في منتصفه.



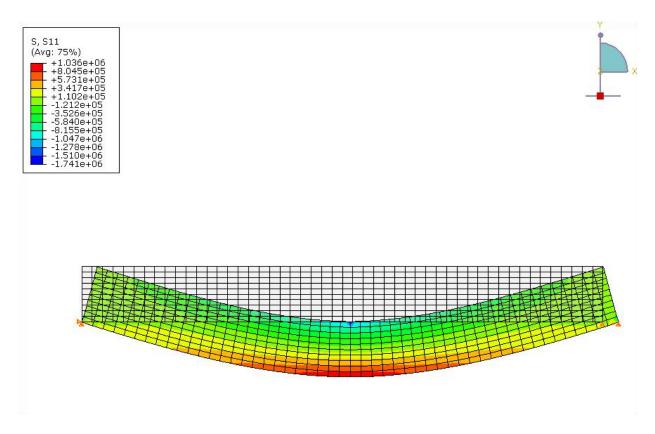
الشكل رقم 6-3: النموذج المستخدم.

تم نمذجة الإسفلت كمادة مرنة ذات معامل مرونة E وفقاً للقيم المستنتجة من معادلة بيلنين ووتزاك[25]، ومعامل بواسون $\mu=0.4$.

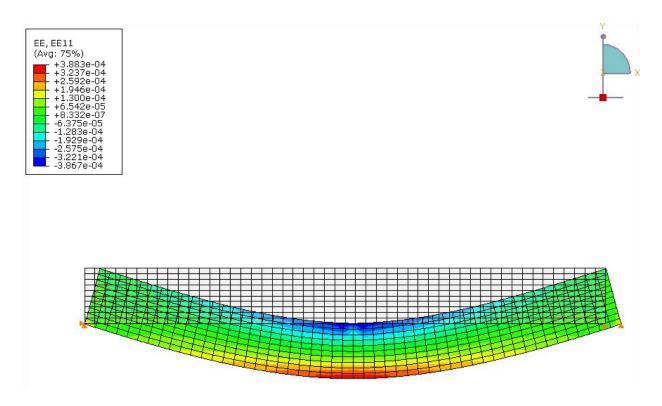
تم اختيار أبعاد النموذج والحمولة بما يسمح بالحصول على تشوهات نسبية أسفل ومنتصف الجائز تتراوح بين $200 \mu \ strain = 400 \ \mu \ strain$



الشكل رقم 7-3: شبكة العناصر المحددة للنموذج قبل وبعد التشوه.



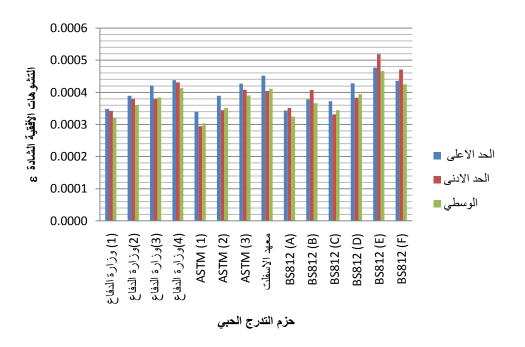
الشكل رقم 8-3: حقل الإجهادات الأفقية للنموذج المستخدم.



الشكل رقم 9-3: حقل التشوهات الأفقية للنموذج المستخدم.

3.1.1.3 أثر حزم التدرج الحبي على تشوهات الشد أسفل النموذج

تم حساب تشوهات الشد الأفقية أسفل طبقة الإسفات للنموذج الرياضي المبين في الفقرة السابقة وذلك باستخدام حزم التدرج الحبي المبينة في الجدول رقم (1-3) وتم عرض نتائج الحسابات على المنحني البياني رقم10-3



المخطط البياني رقم 10-3: التشوهات الأفقية أسفل طبقة الإسفلت

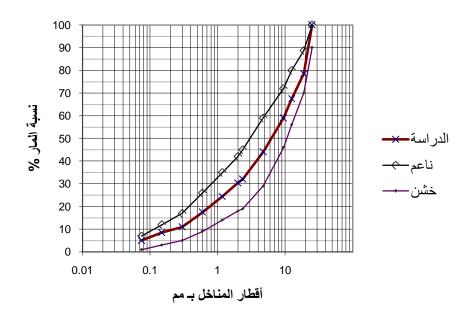
يوضح المخطط البياني رقم 10-3 النقاط التالية:

- التدرج الحبي الخشن لحزمة (1) ASTM (الحد الأدنى للحزمة) يعطي أخفض قيمة للتشوهات الأفقية، في حين أن التدرج الحبي الخشن لحزمة (BS812(E) (الحد الأدنى للحزمة) يعطى أعلى قيمة للتشوهات الأفقية.
- بالنسبة للحدود العليا للحزم، فإن التدرج الحبي الناعم لحزمة (1) ASTM (الحد الأعلى للحزمة) يعطي أدنى قيمة للتشوهات الأفقية، في حين أن التدرج الحبي الناعم لحزمة (BS812(E) (الحد الأعلى للحزمة) يعطي أعلى قيمة للتشوهات الأفقية.
- التدرج الحبي الوسطي لحزمة (1) ASTM يعطي أخفض قيمة للتشوهات الأفقية، في حين أن التدرج الحبي الوسطي لحزمة (BS812(E يعطي أعلى قيمة للتشوهات الأفقية.
 - بشكل عام التدرج الحبي الخشن (الحد الأدنى للحزمة) يعطي افضل قيمة للتشوهات الأفقية باستثناء حزم المواصفة البريطانية ,BS812(B),BS812(E) مقارنة بالحزمة نفسها .

نستنتج من المخطط البياني السابق أن حزمة التدرج الحبي وفق مواصفة (ASTM(1)-بحديها الأعلى والأدنى- هي الأفضل لمقاومة التشوهات الأفقية الشادة في الخلطات الإسفاتية. كما أن استخدام منحني تدرج حبي وسطي لهذه الحزمة يحسن من أداء هذه الخلطة.

3.2 أثر تعديل التدرج الحبي على تشوهات الشد أسفل النموذج:

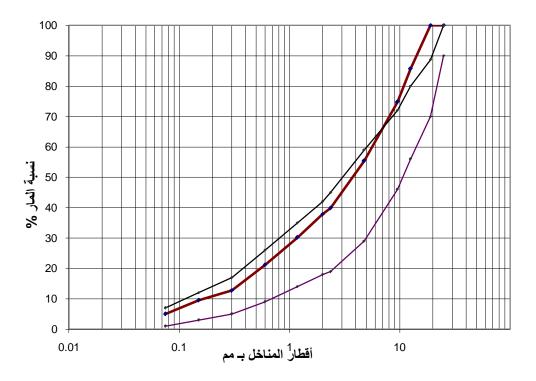
في هذه المرحلة تم تحليل التشوهات باستخدام تدرج حبي وسطي وفق المواصفة (1) ASTM والمبين على المخطط البياني رقم 11-3:



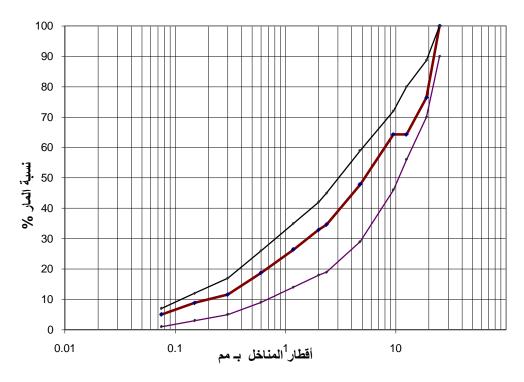
المخطط البياني رقم 11-3: القدرج الحبي وفق المواصفة (1) ASTM

وقد قمنا بتجزئة هذا المنحني إلى أربعة مجالات وفقاً لنموذج بيلنين ووتزاك [25]، وأعدنا تشكيل منحنيات تدرج حبي جديدة بحذف مجال من نموذج بيلنين ووتزاك وإعادة توزيع وزن هذا المجال على المجالات الأخرى وفقاً لنسبها، ومن ثم إعادة حساب التشوهات الأفقية أسفل طبقة الإسفات.

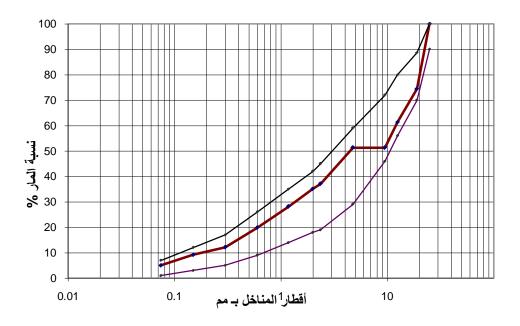
تبين المخططات البيانية من 12-3 الى 15-3 التدرج الحبي المعدل والمستخدم لاحقاً في النموذج الرياضي بينما يبين المخطط 16-3 مخططات الكثافة لهذه التدرجات.



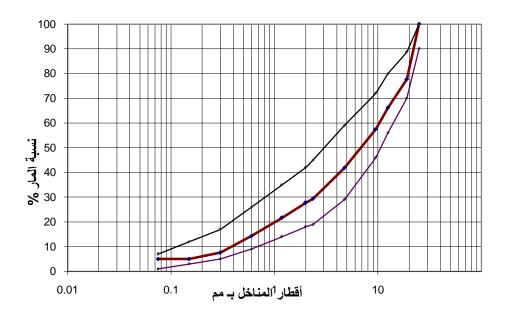
3/4" الندرج الحبي بحذف المجال بين 12-3: الندرج الحبي بحذف



المخطط البياني 13-3: التدرج الحبي بحذف المجال بين "1/2و"

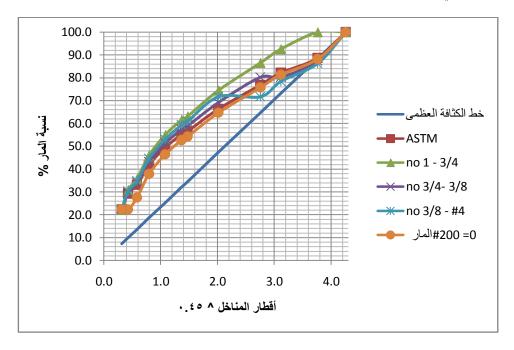


المخطط البياني 14-3: التدرج الحبي بحذف المجالبين "3/8 و 3/8



المخطط البياني 15-3 التدرج الحبي بحذف المارمن المنخل200#

وبإسقاط التدرج الحبي المعدل على مخطط خط الكثافة العظمى نحصل على المخطط البياني رقم 16-3 التالي:



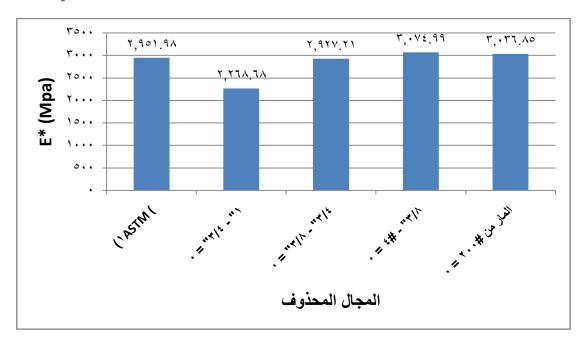
المخطط البياني6-3: خط الكثافة العظمى للتدرج الحبي المعدل. يقصد بالمجال i-j المار من المنخل i والمحجوز على المنخل .

نستتج من المخطط رقم 16-3 النقاط التالية:

- ا. إن حذف المجال 3/4 "1" يؤدي للابتعاد عن خط الكثافة العظمى النظري وبالتالي قد يسئ ذلك إلى مقاومة الخلطة الإسفانية للتعب.
 - ٢. إن حذف المجال "3/8" "3/4" لايؤثر بشكل كبير على شكل منحني التدرج الحبي للشكل أعلاه وبالتالي يمكن اعتبار هذا المجال حيادي في تأثيره على كثافة التدرج الحبي.
 - ٣. إن حذف المجال 4# "3/8يعطي أكبر تأثير على خط الكثافة العظمى من خلال الاقتراب من خط الكثافة العظمى النظري، والتغير الملحوظ بشكل المنحني البياني وبالتالي قد يؤدي ذلك لأكبر تأثير على مقاومة الخلطة الإسفاتية للتعب.
- إن حذف المار من المهزة 200# يؤدي لاقتراب طفيف من خط الكثافة العظمى النظري مع بقاء شكل المنحني البياني مماثل للتدرج الحبي النظامي وفق التدرج وبالتالي قد يؤدي ذلك لتحسن طفيف على مقاومة الخلطة الإسفلتية للتعب.

3.3 مقارنة بين نتائج عينة التدرج الحبي النظامي ونتائج العينة المقترحة:

تم حساب معامل المرونة الديناميكي للخلطة الإسفلتية لعينات التدرج الحبي المبينة في الم خطط البياني رقم 1-3، كما تم حساب التشوهات الأفقية أسفل طبقة الإسفلت باستخدام النمذجة بطريقة العناصر المحددة، وعرضت النتيجة على المخططات البيانية رقم 18-17,3-2على التوالي.

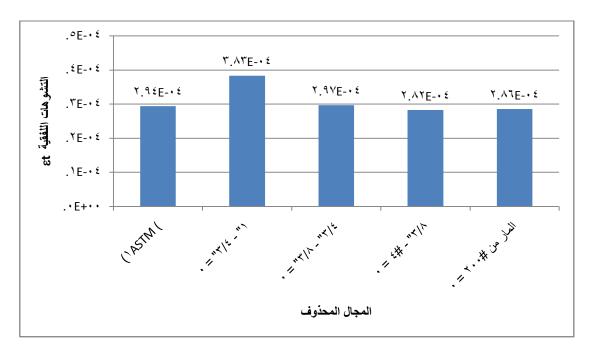


المخطط البياني رقم 17-3: معامل المرونة الديناميكي للخلطة الإسفلتية بعينات التدرج الحبي المعدل

يبين المخطط البياني رقم 17-3 دور كل مجال من مجالات حبيبات التدرج الحبي على معامل المرونة الديناميكي للخلطة الإسفاتية. ونلخص هذا الدور بالنقاط التالية:

- الخلطة الإسفاتية حساسية كبيرة للحبيبات الخشنة، فحذف الحبيبات الخشنة في المجال
 "1-"3/4 يؤدي لانخفاض كبير في قيمة معامل المرونة الديناميكي.
- 7. يمكن اعتبار المجال 3/8 3/4 حيادي، فحذف ذرات التدرج الحبي أدى لانخفاض طفيف لمعامل المرونة الديناميكي للخلطة الإسفلتية.

7. تلعب حصويات المجالين 4# – # 8/8 والمار من المنخل 200# في التدرج الحبي دوراً هاماً. فحذف ذرات التدرج الحبي لأحد هذين المجالين يؤدي لارتفاع قيمة معامل المرونة الديناميكي بشكل ملحوظ مع أرجحية للمجال 4# – # 8/8.



المخطط البياني رقم 18-3: التشوهات الأفقية أسفل طبقة الإسفات بعينات الدرج الحبي المعدل يظهر المخطط البياني 18-3 تأثير كل مجال من مجالات حبيبات التدرج الحبي على تشوهات التعب (التشوهات الأفقية أسفل طبقة الإسفات).حيث يمكننا استنتاج النقاط التالية:

- ا. تلعب الحبيبات الخشنة للتدرج الحبي دوراً هاماً وإيجابياً في مقاومة تشوهات التعب، فحذف المجال "1 -"3/4 أدى لارتفاع كبير في تشوهات الشد الأفقية أسفل طبقة الإسفات.
- 7. يمكن اعتبار المجال 3/8 3/4 حيادي، فحذف ذرات التدرج الحبي في هذا المجال أدى لزيادة طفيفة في تشوهات التعب لطبقة الإسفات.
- ٣. تلعب حصويات المجالين 4# "3/8 والمار من المنخل 200# في التدرج الحبي دوراً سلبياً. فحذف ذرات التدرج الحبي في أحد هذين المجالين أدى لانخفاض ملموس في قيمة تشوهات التعب لطبقة الإسفلت.

3.4 تحقق مخبري:

تعتبر تجربة مارشال الأكثر استعمالا وانتشارا في العالم ،وقد طورت خلال الحرب العالمية الثانية واعتمدت من قبل المؤسسات الامريكية التي تعمل في هذا الحقل مثل (AASHTO) .كما وان هذه التجربة تعتمد على العمل المخبري في تحضير العينات وقياس الثبات والانسياب. إن الهدف من إجراء تجربة مارشال في هذا البحث هو التحقق من نتائج الدراسة النظرية التي حصلنا عليها. وقد تم اختيار هذه التجربة لبساطتها وسعة انتشارها آخذين بعين الاعتبار النقاط التالية:

- 1. استخدام تدرج حبى وفق المواصفة ASTM 1.
- ٢. استخدام حصويات من نفس المصدر لحالتي التدرج الحبي النظامي والتدرج الحبي المعدل بحذف المجال بين "3/8 و no.4.
 - ٣. استخدام نسبة بيتومين 5.75%.
 - ٤. اجريت التجارب في نفس المخبر بهدف التقليل من خطأ التجهيزات المخبرية.
 - أجريت التجارب من قبل فنى مخبرى واحد بهدف التقليل من الخطأ الشخصى.
 - آجریت التجارب بنفس الوقت تقریباً لخفض الخطأ الناجم عن الشروط المحیطیة والتقادم.

حيث تم تحضير العينات المخبرية لتجربة مارشال وفق المراحل التالية:

١. تم تحضير عينات الاختبار في قالب مارشال وهو اسطواني الشكل قطره 4 in وارتفاع 3 المحتبر عينات الاختبار في قالب مارشال وهق المحتبر 5 عينات بتدرج عينات بتدرج حبي نظامي وفق المحتبر 5 عينات بتدرج حبي معدل (حذف المجال 3/8 – #4) وذلك بنسبة بيتومين 5.75% لجميع العينات.



الشكل رقم 19-3 يبين شكل قالب مارشال لتحضير عينات الاختبار

2.رصت العينات ضمن القالب بسقوط مطرقة وزنها 4.5 كغ تسقط سقوطا حرا من ارتفاع 45 سم.



الشكل رقم 20-3 يبين شكل المطرقة

3. رصت العينة على الوجهين باستعمال 75 طرقة على كل وجه.

4. غمرت العينات في حمام حراري بدرجة حرارة $^{\circ}$ 60C ولمدة 30 دقيقة ومن ثم تم نقلها إلى جهازمارشال.



الشكل رقم 21-3 شكل جهاز الحمام المائي



الشكل رقم 22-3 يوضح غمر العينات بالحمام المائي 5. طبقت الحمولة على جهاز مارشال بسرعة 2in/min.



الشكل رقم 23-3 يبين جهاز مارشال

6. تصحح قيمة الثبات التي حصلنا عليه وفقاً لعامل يتعلق بارتفاع وحجم العينة حيث يبين الجدول رقم 2-3 قيمة معامل التصحيح المستخدم.

الجدول رقم 2-3 يبين قيم عوامل التصحيح لثبات مارشال وعلاقتها بحجم وارتفاع العينة.

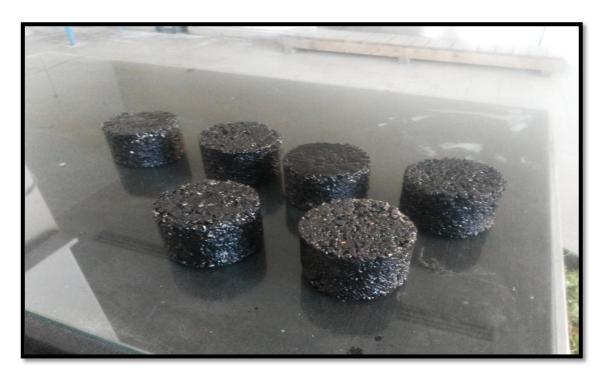
ett til	العينة	ارتفاع	حجم العينة
عامل التصحيح	in	mm	mm3
1.47	3	50.8	408 to 420
1.39	2 1/16	52.8	421 to 431
1.32	2 1/8	54	432 to 443
1.25	2 3/16	55.6	444 to 456
1.19	2 1/4	57.2	457 to 470
1.14	2 1/2	58.7	471 to 482
1.09	2 3/8	60.3	483 to 495
1.04	2 7/16	61.9	496 to 508
1	2 1/2	63.5	509 to 522
0.96	2 9/16	64	523 to 535
0.93	2 5/8	65.1	536 to 546
89	2 11/16	66.7	547 to 559
0.86	2 3/4	68.3	560 to 573
0.83	2 13/16	71.4	574 to 585
0.81	2 7/3	73	586 to 598
0.78	2 5/6	74.6	599 to 610
0.76	3	76.2	611 to 625

3.4.1 نتائج التحقق المخبري:

الجدول رقم 3-3: نتائج تجربة مارشال باستخدام تدرج حبي نظامي ونسبة بيتومين %5.75.

	رقم العينة						
وسطي	5	4	3	2	1	الواحدة	
51.8	52.3	51.0	51.3	51.7	52.5	mm	الارتفاع
1,006.7	1,011.0	1,010.5	1,003.5	999.0	1,009.5	غ	وزن العينة في الهواء
596.5	597.0	599.5	598.5	589.0	598.5	غ	وزن العينة في الماء
410.8	414.0	411.0	408.0	410.0	411.0	cm ³	الحجم
2.45	2.44	2.45	2.46	2.44	2.46		الكثافة
9.01	9.56	9.35	8.56	7.03	9.11	kN	الثبات
3.70	4.31	4.27	3.17	3.02	3.65	mm	السيلان
3.71	4.365	3.971	3.577	4.365	3.577	%	الفر اغات الهوائية

تم حساب وسطي الثبات والسيلان والفراغات الهوائية بعد حذف أعلى قيمة وأخفض قيمة.



الشكل رقم 24-3 يبين شكل العينات النظامية

الجدول رقم 4-3: نتائج تجربة مارشال باستخدام تدرج حبي معدل ونسبة بيتومين %5.75.

	رقم العينة						
وسطي	5	4	3	2	1	الواحدة	
48.3	50.3	40.9	50.2	49.8	50.2	mm	الارتفاع
1,000.3	1,003.5	992.5	1,002.5	996.5	1,006.5	غ	وزن العينة في الهواء
597.1	599.0	591.5	599.5	594.5	601.0	غ	وزن العينة في الماء
403.2	404.0	401.0	403.0	402.5	405.5	cm ³	الحجم
2.48	2.48	2.48	2.49	2.48	2.48		الكثافة
12.32	13.2	10.42	13.34	11.78	13.81	kN	الثبات
3.74	4.41	3.61	3.21	3.26	3.51	mm	السيلان
2.77	2.897	2.897	2.503	2.897	2.897	%	الفراغات الهوائية

تم حساب وسطي الثبات والسيلان والفراغات الهوائية بعد حذف أعلى قيمة وأخفض قيمة.

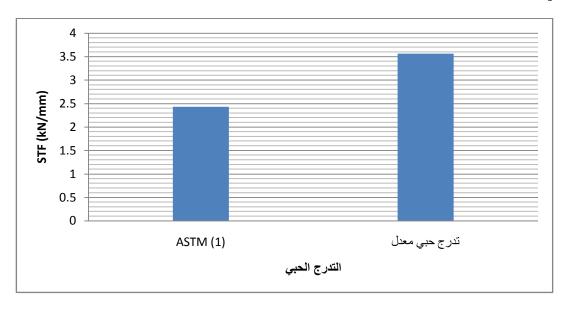


الشكل رقم 25-3 يبين العينات المعدلة

تبين نتائج التجارب المخبرية المبينة في الجدول 3-3 و 4-3 مايلي:

- ارتفاع ثبات مارشال للخلطة الإسفلتية باستخدام التدرج الحبي المعدل من 9.01 إلى 12.32 بزيادة بنسبة بلغت 37%.
- انخفضت قيمة السيلان للخلطة الإسفاتية باستخدام التدرج الحبي المعدل من 3.70 إلى
 بنسبة ضئيلة بلغت 6.9%.
- تنخفاض نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة الاسفلتية المعدلة بنسبة 27% ووصلت إلى مادون الحد الأدنى المسموح به مما يتطلب التحقق من معيار التخدد.

يبين المخطط رقم 3-2 نسبة الثبات إلى السيلان لعينة اسفلتية بتدرج حبي نظامي وفق ASTM1 وعينة اسفلتية بتدرج حبي معدل بحذف المجال 3/8-4 حيث نلاحظ تحسن واضح في نسبة الثبات إلى السيلان.

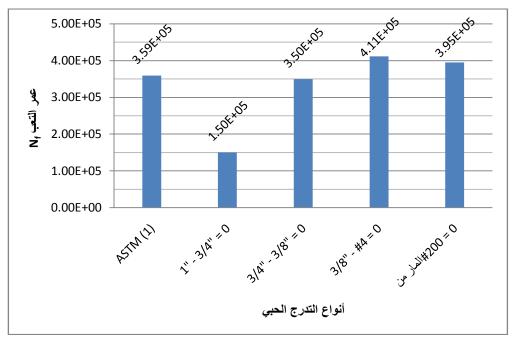


المخطط رقم 26-3: تغير نسبة الثبات إلى السيلان.



الشكل رقم 27-3 المنخل المستخدم حسب مواصفة ASTM

يبين المخطط رقم 28-3 تأثير التدرج الحبي المعدل على العمر التصميمي لطبقة الإسفلت وفق معيار التعب باستخدام نموذج شل (المعادلة 1-2). حيث ازداد العمر التصميمي لطبقة الإسفات عند حذف المجال 24 – 38 في التدرج الحبي بنسبة 14.5%.



المخطط رقم 28-3 اثر أنواع التدرج الحبي المعدل على العمر التصميمي وفق معيار التعب

4. الفصل الرابع: النتائج والتوصيات

4.1 النتائج:

- ١. منحني التدرج الحبي وفق المواصفة القياسية 1 ASTM هو أفضل تدرج حبي لتصميم خلطات إسفلتية مقاومة للتعب.
- ٢. من المفضل الاستعانة بنموذج بيلنين ووتزاك [25] للحصول على أفضل تدرج حبي عند تصميم الخلطات الإسفاتية المقاومة للتعب، بالتوازي مع التجارب المخبرية لاختيار نسبة البيتومين الأمثلية.
- ٣. تتوافق النتائج التي حصلنا عليها مع نتائج أبحاث كل من [14] Elliot[14] وضمن حدود ضيقة تتعلق بعينة التدرج الحبي للباحث ولا يمكن تعميمها .فعند حذف المار من المنخل "3/8 والمحجوز على المنخل "0.4 مم ضمن حزمة ASTM 1 يصبح التدرج الحبي أكثر نعومة و أدى لارتفاع قيمة معامل المرونة الديناميكي للخلطة الإسفلتية وفق نموذج بيلنين ووتزاك [25]، وانعكس ذلك إيجابا على انخفاض قيمة تشوهات التعب المستتج وفق نموذج التحليل بطريقة العناصر المحددة، وقد أكدت تجربة مارشال هذه النتيجة مخبرياً حيث ازدادت قيمة ثبات مارشال. ولكن استخدام حزمة التدرج النظامية عند حدها الأعلى أعطى معامل مرونة اخفض فالأمر يتعلق بنسب التركيب الحبي .
- 3. شكل منحني التدرج الحبي يؤثر بشكل كبير على خواص الخلطة الإسفاتية فعند حذف المار من المنخل رقم "8/8 والمحجوز على المنخل no. 4 ارتفع معامل المرونة الديناميكي وانخفضت تشوهات الشد الأفقية أسفل طبقة الإسفلت تزداد مقاومة الإسفلت لتشققات التعب ولكن يفضل إعادة توزيع نسبة المحذوف على حبيبات التدرج الحبي لإبقاء منحني التدرج الحبي ضمن حدود المواصفة المدروسة.
- إن حذف المار من المنخل رقم" 1 والمحجوز على المنخل رقم "3/4 يؤدي الى الابتعاد عن خط الكثافة العظمى ويخفض من قيمة معامل المرونة الديناميكي وبالتالي يسيء الى مقاومة الخلطة الإسفلتية وفق معيار التعب.
- 7. إن حذف المار من المنخل رقم 200 في مواصفة 1 ASTM يؤدي الى اقتراب طفيف من خط الكثافة العظمى مع ارتفاع في معامل المرونة الديناميكي وبالتالي يؤدي الى تحسن طفيف على مقاومة الخلطة الإسفلتية للتعب مما يؤكد أن الخلطات الإسفلتية باستخدام تدرج حبى خشن كانت أفضل من حيث معيار التعب.

٧. على الرغم من أن نموذج Fuller and Thompson [6] قد وضع من أجل تصميم الخلطات البيتومينية الأداء إلا أنه يصلح للاستخدام في تصميم الخلطات البيتومينية بالطرق التقليدية لاختيار وتقييم التدرج الحبي المستخدم.

4.2 التوصيات:

- 1. التوصية باعتماد منحني التدرج الحبي وفق المواصفة القياسية ASTM 1 عند تصميم خلطات إسفاتية مقاومة للتعب (بحيث تعطي أعلى قيمة لمعامل المرونة الديناميكي واخفض قيمة للتشوهات الأفقية).
 - ٢. يشكل المنخل 4.75 مم حساسية خاصة لمنحني التدرج الحبي، وخفض نسبة المحجوز
 على هذا المنخل يساعد في تحسين مقاومة التعب للخلطات الإسفائية.
 - ٣. ضرورة تصميم خلطة إسفاتية خاصة بكل مشروع طرقي وعدم اعتماد خلطة موحدة لجميع مشاريع الطرق.
 - على أفضل تدرج حبي لتصميم خلطات إسفاتية بحالتي التعب
 و التخدد بآن واحد.

المراجع

- **1.AASHTO** TP 62-03 "Standard Test Method for Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures".
- **2.Abaqus**, 6.9. *Abaqus Theory Manual*. USA: Dassault Systèmes Simulia Corp., Providence, RI, 2009.
- 3.Al-Jassar& al "Using Marshall test to assess asphalt-concrete modulus for mixes used in Kuwait", Kuwait J.SciEng.30(2) aa. 169-182, 2003.
- (الخطيب، ل. تصميم طبقة تقوية طبقات الرصف الإسفانية مثال على , علم طبقة تقوية طبقات الرصف الإسفانية مثال على . (2011 ظروف سورية ،اطروحة دكتوراه ،جامعة دمشق 2011).
- 5.**Allen, John J.***The Effect of Nonconstant Lateral Pressures on the Resilient Response of Granular Materials.* USA, Illinios: Highway Research Laboratory, University of Illinios, 1973.
- 6.Alshamsi, K. S. "DEVELOPMENT OF A MIX DESIGN METHODOLOGY FOR ASPHALT MIXTURES WITH ANALYTICALLY FORMULATED AGGREGATE STRUCTURES", A Dissertation submitted to the graduate faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, 2006.
- 7. Anderson, D. A. Guidelines on the Use of Baghouse Fines. Information Series 101. National Asphalt Pavement Association, Lanham, MD, 1987.
- 8. Arnold, Gregory Kenneth. Rutting of Granular Pavements. UK: Ph.D. Dissertation, University of Nottingham, November 2004.
- 9. **ASTM D3497**, "Standard Test Method for Dynamic Modulus of AsphaltConcrete Mixtures".
- **10. ASTM D3515** "Standard Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures", ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- 11. **BS410:1986**, specification of test seives. status: Revised; withdra wn Published: March 1986 Replaced By: Bs 410-2:2000-ISO3310-2:1999, Bs410-1:20003310-1:2000.
- 12. **Dr.Eng.Marwan Assi**,Pavement Engineering Road(2),Aleppo University Puplications faculty of Civil Engineering,2003.

- تصميم الخلطات الاسفلتية للطرق سوبربيف، المملكة العربية ,د.صالح السويلمي .13. السعودية 2002).
- 14. **Elliot, R. P**, & all. Effect of Aggregate Gradation Variation on Asphalt Concrete Mix Properties. In *Transportation Research Record 1317*, TRR, National Research Council, Washington, DC, 1991.
- 15.**Ervin L. Dukatz, JR**. "Aggregate properties related to pavement performance". The Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol 58, 1989.
- 16.Evaluation of Pavement Performance and the Maintance Manner of Asphalt Methods (تقييم اداء الرصف واساليب الصيانة للطرق وزارة المواصلات ، 2003).
- 17. **Fang, Hongbing, et al.**On the characterization of &exible pavement rutting using creep model-based !nite element.
- السفلتية (عماد علي شلعوط."ديمومة الخلطات الاسفلتية الكلسية"،رسالة دكتوراه ،جامعة دمشق، الكلسية"،رسالة دكتوراه ،جامعة دمشق، (2007–2006).
- 19.**Krutz, N. C., & all**. "The Effects of Aggregate Gradation on Permanent Deformation of Asphalt Concrete". In *Proceedings*, Vol. 62, Association of Asphalt Paving Technologists, 1993.
- 20. **Mitchell, T. M. WesTrack**: "The road to Solution". Public Roads, Vol. 60, No. 2, Autumn 1996. (NCHRP).
- 21. National Stone Association, "The Aggregate Handbook", 3rd Edition, Washington DC, 1996.
- 22.NCHRP.Contributions of Pavement Structural Layers to Rutting of Hot Mix Asphalt Pavements. Washington, D.C.: National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board (TRB), National Research Council, 2002. Report 468.

- 23. **NCHRP** "Guide for mechanistic empirical design of new and rehabilitated pavement structure" ARA, Inc, ERES Consultants Division, Illinois 2004.
- 24.NCHRP.Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Illinois, Urbana: National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board (TRB), National Research Council, February 2004. Final Document Appendix RR: "Finite Element Procedures For Flexible Pavement Analysis".
- 25.Pellinen, T. K. and Witczak, M. W. Stress Dependent Master Curve Construction for Dynamic (Complex) Modulus. Colorado, USA: Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 2002. Volume 71, PP. 281-309.
- 26.**Pud, B.***Asphalt fatigue life prediction modelesa literature review. Research Report ARR 335*, NIS, Australia.48p, 1999.

27.R. DUVAL. R, "LA DURABILITE DES BETONS"

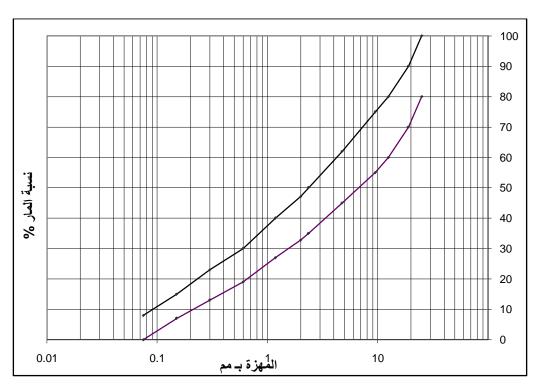
- 28.**Roberts Freddy L**.; Mohammad Louay N.; Wang L. B. "History of Hot Mix Asphalt Mixture Design in the United States". 150th Anniversary Paper, American Society of Civil Engineers, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 14, No. 4 August 2002.
- 29. **Roque, R., S. C.** Huang, and B. Ruth. *Maximizing Shear Resistance of Asphalt Mixtures by Proper Selection of Aggregate Gradation*. Proceedings of the 8th International Conference on Asphalt Pavements, University of Washington, Seattle, Washington, August 1997, Vol I, pp. 249-268.
- 30.**Ruth B. E., Roque R., Nukunya B.** "Aggregate Gradation Characterization Factors and Their Relationships to Fracture Energy and Failure Strain of Asphalt Mixtures". Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 71, 2002.
- 31.**Sanjeev**, A. and all. Michigan Technological University. "Fatigue Evaluation of Asphalt Pavement using Beam Fatigue Apparatus", the Technology Interface Journal/Spring 2010, Volume 10 No. 3, **ISSN# 1523-9926**

- (شحود، ن. "دراسة متطلبات طبقات الرصف السطحية عند عند التقاطعات والمنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة (مقاومةالتموج)"، اطروحة ماجستير، جامعة دمشق، سوري 2011).
- 33.**Sousa, J. B.**; & al." Effect of Aggregate Gradation on Fatigue Life of Asphalt Concrete Mixtures", A paper presentation at the 77th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D. C., 1998.
- 34. Specification of Military Department for Buildings and Highways, (دفتر الشروط الفنية العامة لانشاءات وزارة الدفاع (ابنية وطرق)، 1970.) جمهورية العربية السورية ، وزارة الدفاع، هيئة الامداد والتمويل، 1970.)
- 35. Specification and General Requairment for High way, الشروط والمواصفات الفنية العامة لأعمال الطرق والجسور. وزارة المواصلات، سوريا 2007).
- 36.U.S. Department of Transportation. FHA, "Superpave Fundamentals Reference Manual" NHI Course #131053, NATIONAL HIGHWAY INSTITUTE, 2004.
- يني. ح" ميكانيك تربة منشورات جامعة دمشق سوريا (1982). 37. Yanni Hanna
- 38. YehiaFaris, الخلطة الاسفلتية باستخدام الاضافات مواصفات الخلطة الاسفلتية باستخدام الاضافات الحلطة الاسفلتية باستخدام الاضافات الحلطة الاسفلتية باستخدام الاضافات الحلطة الاسفلتية باستخدام الاضافات الحلطة الاسفلتية باستخدام الاسفلتية باستخدام الاسفلتية باستخدام الاسفلتية باستخدام الاستخدام الا
- (أندرواس سعود.التقرير النهائي الخاص بتنفيذ اختبارات وتقديم دراسات في مجال تقييم ودراسة الحصويات المنتجة في مقالع القطر الى المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية جامعة دمشق 2005).

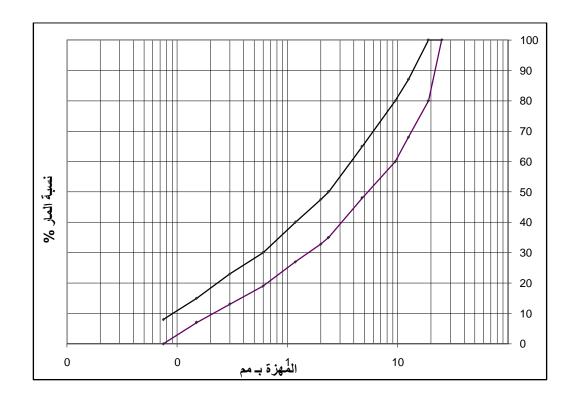
حزم التدرج الحبي المستخدمة في البحث

الملحق رقم 1

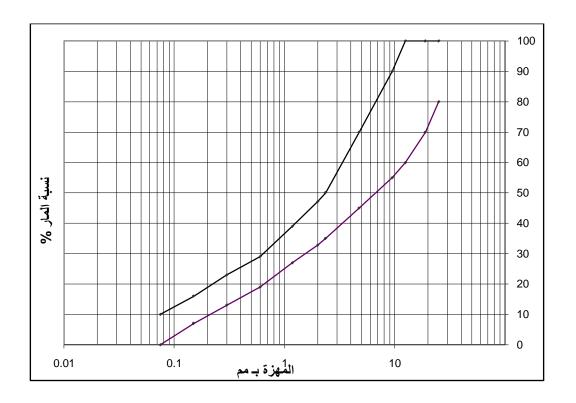
حزمة وزارة الدفاع (1)				
هزة	الم	وزنا" %	نسبة المار	
ب مم	التسمية	الحد الاعلى	الحد الادنى	
25	1"	100	80	
19	3/4"	90	70	
12.5	1/2"	80	60	
9.5	3/8"	75	55	
4.75	رقم 4	62	45	
2.36	رقم 8	50	35	
2	رقم10	47	33	
1.18	رقم 16	40	27	
0.6	رقم 30	30	19	
0.3	رقم 50	23	13	
0.15	رقم 100	15	7	
0.075	رقم 200	8	0	



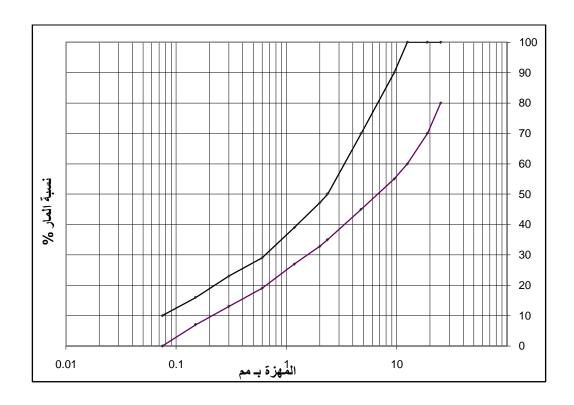
حزمة وزارة الدفاع (2)				
ېزة	المؤ	وزنا" %	نسبة المار	
ب مم	التسمية	الحد الاعلى	الحد الادنى	
25	1"	100	100	
19	3/4"	100	80	
12.5	1/2"	87	68	
9.5	3/8"	80	60	
4.75	رقم 4	65	48	
2.36	رقم 8	50	35	
2.0	رقم10	48	32.8	
1.18	رقم 16	40	27	
0.60	رقم 30	30	19	
0.30	رقم 50	23	13	
0.15	رقم 100	15	7	
0.075	رقم 200	8	0	



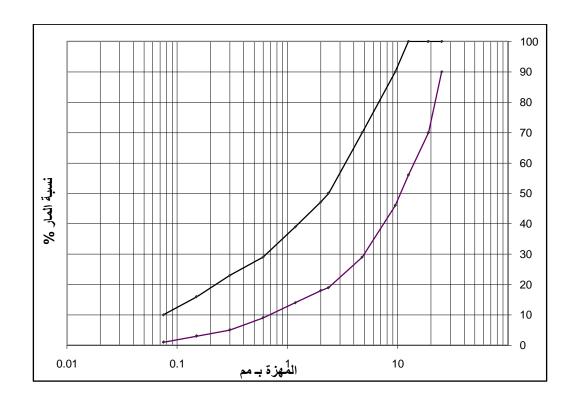
حزمة وزارة الدفاع (3)					
حزمة معهد الاسفلت الامريكي B					
رة	المهز	وزنا" %	نسبة المار		
ب مم	التسمية	الحد الاعلى	الحد الادنى		
25	1"	100	100		
19	3/4"	100	100		
12.5	1/2"	100	80		
9.5	3/8"	90	70		
4.75	رقم 4	70	50		
2.36	رقم 8	50	35		
2	رقم10	47	32.8		
1.18	رقم 16	39	26		
0.6	رقم 30	29	18		
0.3	رقم 50	23	13		
0.15	رقم 100	16	8		
0.075	رقم 200	10	4		



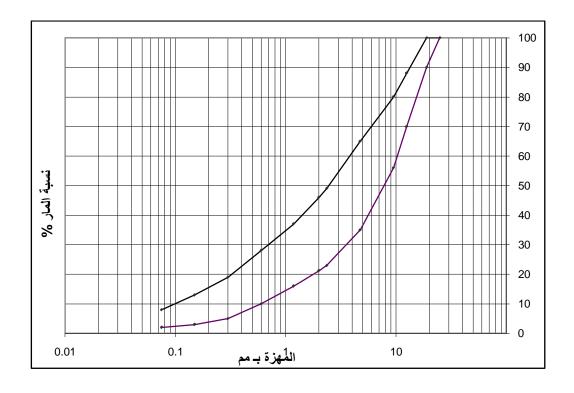
حزمة وزارة الدفاع (4)					
المهزة		وزنا" %	نسبة المار		
ب مم	التسمية	الحد الاعلى	الحد الادنى		
25	1"	100	100		
19	3/4"	100	100		
12.5	1/2"	100	85		
9.5	3/8"	91	78		
4.75	رقم 4	80	65		
2.36	رقم 8	65	50		
2	رقم10	63	47		
1.18	رقم 16	52	37		
0.6	رقم 30	40	25		
0.3	رقم 50	30	18		
0.15	رقم 100	20	10		
0.075	رقم 200	10	3		



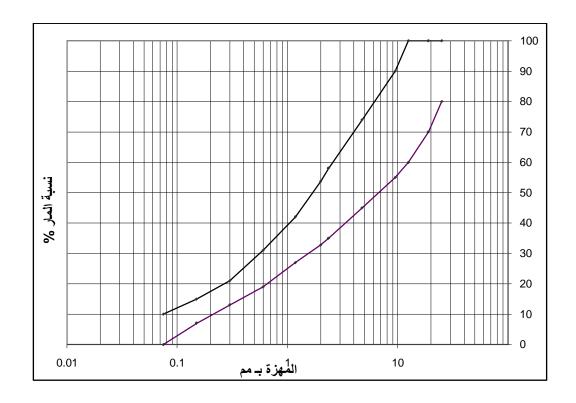
حزمة D3515-D3ASTM (1)					
؞۪ة	المهز	وزنا" %	نسبة المار		
ب مم	التسمية	الحد الاعلى	الحد الادنى		
25	1"	100	90		
19	3/4"	89	70		
12.5	1/2"	80	56		
9.5	3/8"	72	46		
4.75	رقم 4	59	29		
2.36	رقم 8	45	19		
2	رقم10	42	18		
1.18	رقم 16	35	14		
0.6	رقم 30	26	9		
0.3	رقم 50	17	5		
0.15	رقم 100	12	3		
0.075	رقم 200	7	1		



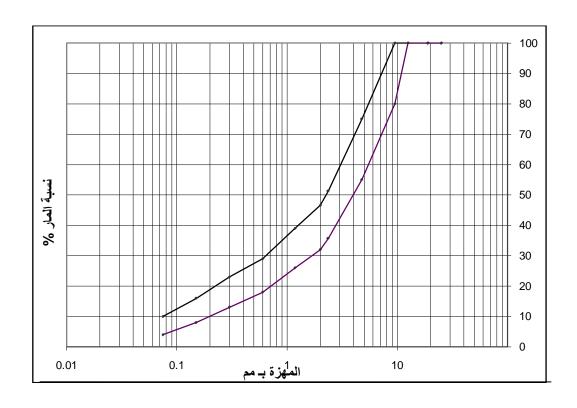
حزمة D3515-D4ASTM (2)			
المهزة		نسبة المار وزنا" %	
ب مم	التسمية	الحد الاعلى	الحد الادنى
25	1"	100	100
19	3/4"	100	90
12.5	1/2"	88	70
9.5	3/8"	80	56
4.75	رقم 4	65	35
2.36	رقم 8	49	23
2	رقم10	46	21.2
1.18	رقم 16	37	16
0.6	رقم 30	28	10
0.3	رقم 50	19	5
0.15	رقم 100	13	3
0.075	رقم 200	8	2



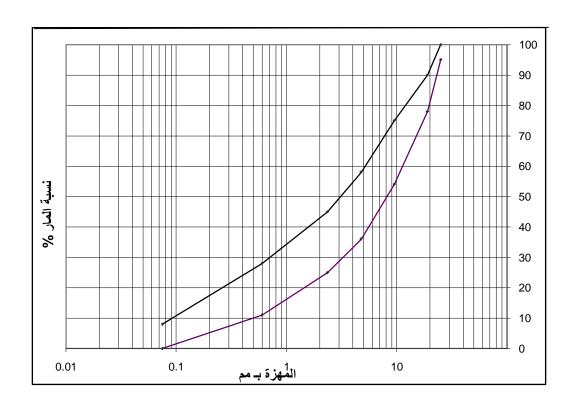
مزمةD3515-D5ASTM (3)			
زة	المهز	وزنا" %	نسبة المار
ب مم	التسمية	الحد الاعلى	الحد الادنى
25	1"	100	
19	3/4"	100	
12.5	1/2"	100	
9.5	3/8"	90	72
4.75	رقم 4	74	44
2.36	رقم 8	58	نسبة المار وزنا" %
2	رقم10	54	الحد الادنى
1.18	رقم 16	42	100
0.6	رقم 30	31	100
0.3	رقم 50	21	87
0.15	رقم 100	15	4
0.075	رقم 200	10	2



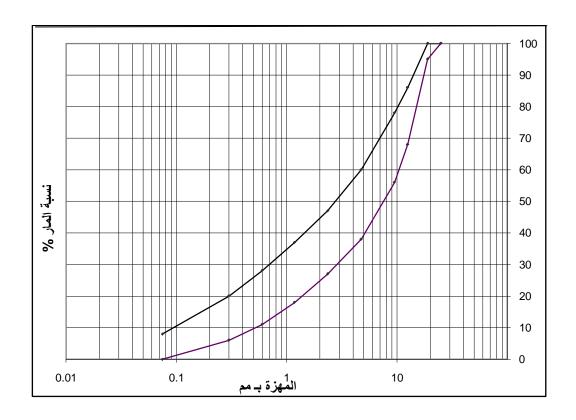
حزمة معهد الإسفلتلامريكي 🗚			
زة	المهز	نسبة المار وزنا" %	
ب مم	التسمية	الحد الاعلى	الحد الادنى
25	1"	100	100
19	3/4"	100	100
12.5	1/2"	100	100
9.5	3/8"	100	80
4.75	رقم 4	75	55
2.36	رقم 8	51	35.7
2	رقم10	47	32
1.18	رقم 16	39	26
0.6	رقم 30	29	18
0.3	رقم 50	23	13
0.15	رقم 100	16	8
0.075	رقم 200	10	4



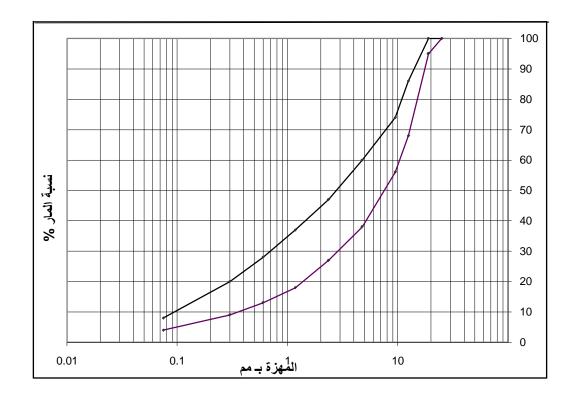
حزمة الكود البريطاني BS 812 (أ)			
زة	المهز	نسبة المار وزنا" %	
ب مم	التسمية	الحد الاعلى	الحد الادنى
25	1"	100	95
19	3/4"	90	78
9.5	3/8"	75	54
4.75	رقم 4	58	36
2.36	رقم 8	45	25
0.6	رقم 30	28	11
0.075	رقم 200	8	0



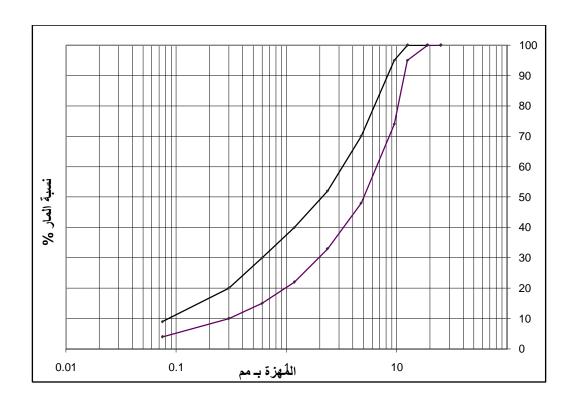
حزمة الكود البريطاني BS 812 (ب)				
المهزة		نسبة المار وزنا" %		
ب مم	التسمية	الحد الاعلى	الحد الادنى	
25	1"	10	00	
19	3/4"	100	95	
12.5	1/2"	86	68	
9.5	3/8"	78	56	
4.75	رقم 4	60	38	
2.36	رقم 8	47	27	
1.18	رقم 16	37	18	
0.6	رقم 30	28	11	
0.3	رقم 50	20	6	
0.075	رقم 200	8	0	



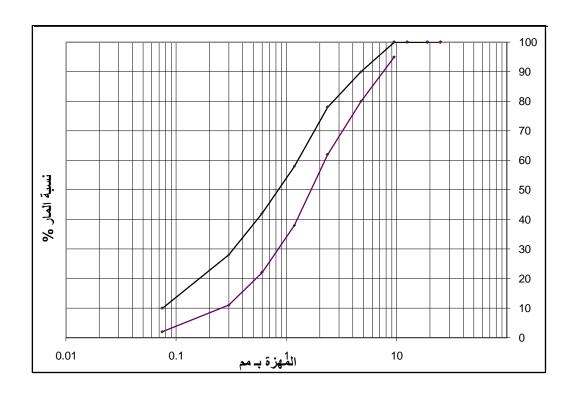
حزمة الكود البريطاني BS 812 (ج)			
المهزة		نسبة المار وزنا" %	
ب مم	التسمية	الحد الاعلى	الحد الادنى
25	1"	10	00
19	3/4"	100	95
12.5	1/2"	86	68
9.5	3/8"	74	56
4.75	رقم 4	60	38
2.36	رقم 8	47	27
1.18	رقم 16	37	18
0.6	رقم 30	28	13
0.3	رقم 50	20	9
0.075	رقم 200	8	4



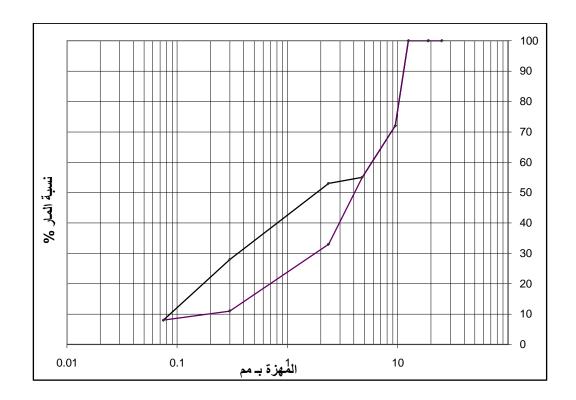
حزمة الكود البريطاني BS 812 (ك)			
المهزة		نسبة المار وزنا" %	
ب مم	التسمية	الحد الاعلى	الحد الادنى
25	1"	10	0
19	3/4"	100	100
12.5	1/2"	100	95
9.5	3/8"	95	74
4.75	رقم 4	70	48
2.36	رقم 8	52	33
1.18	رقم 16	40	22
0.6	رقم 30	30	15
0.3	رقم 50	20	10
0.075	رقم 200	9	4



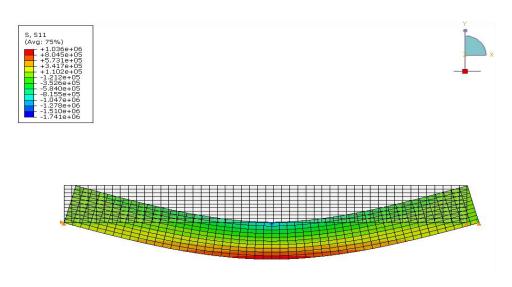
حزمة الكود البريطاني BS 812 (📤)			
المهزة		نسبة المار وزنا" %	
ب مم	التسمية	الحد الاعلى	الحد الادنى
25	1"	10	00
19	3/4"	100	
12.5	1/2"	100	
9.5	3/8"	100	95
4.75	رقم 4	90	80
2.36	رقم 8	78	62
1.18	رقم 16	58	38
0.6	رقم 30	42	22
0.3	رقم 50	28	11
0.075	رقم 200	10	2



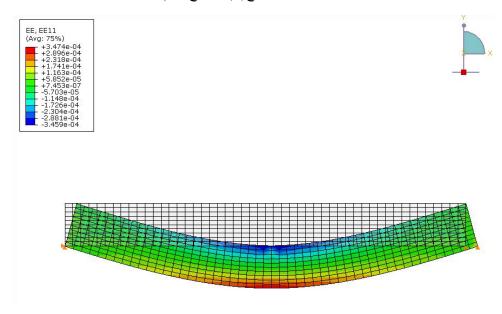
حزمة الكود البريطاني BS 812 (و)				
المهزة		نسبة المار وزنا" %		
ب مم	التسمية	الحد الادنى الحد الاعلى		
25	1"	100		
19	3/4"	100		
12.5	1/2"	100		
9.5	3/8"	100		
4.75	رقم 4	65	45	
2.36	رقم 8	53	33	
0.3	رقم 50	28	11	
0.075	رقم 200	10	2	



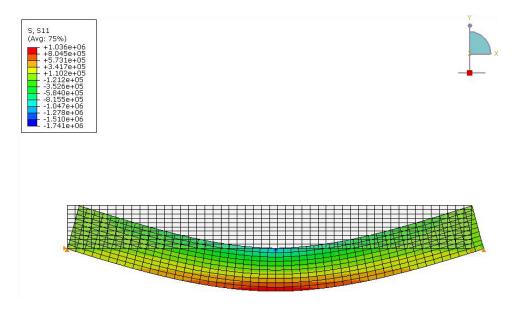
الملحق 2: حقول الإجهادات الأفقية والتشوهات الأفقية



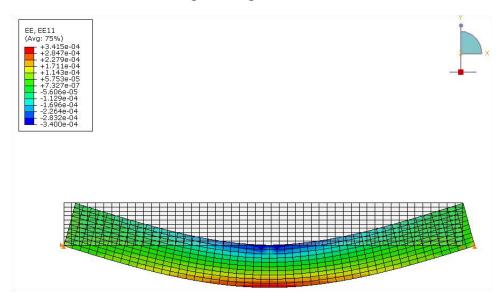
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 1. حزمة وزارة الدفاع(1) – تدرج ناعم



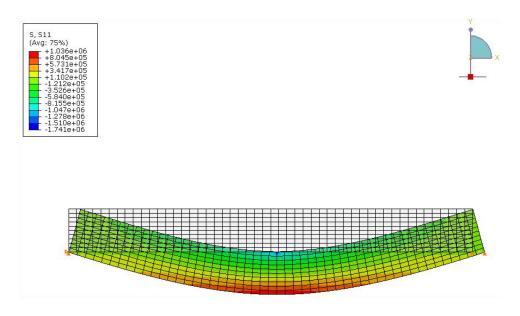
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 1. حزمة وزارة الدفاع(1) ــ تدرج ناعم



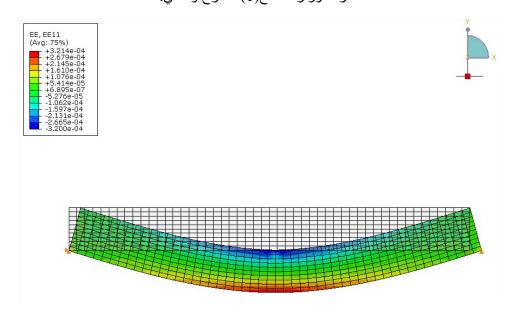
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 2. حزمة وزارة الدفاع(1) – تدرج خشن



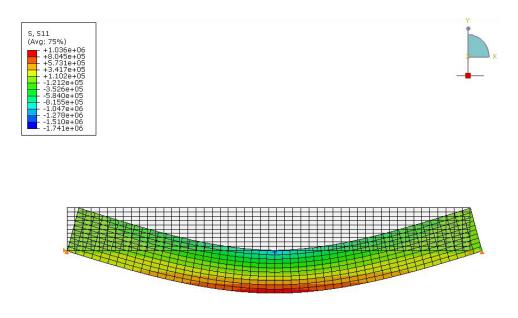
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 2. حزمة وزارة الدفاع(1) – تدرج خشن



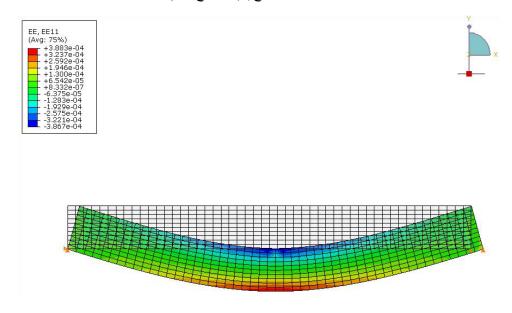
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 3. حزمة وزارة الدفاع(1) - تدرج وسطي.



الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 3. حزمة وزارة الدفاع(1) - تدرج وسطي.

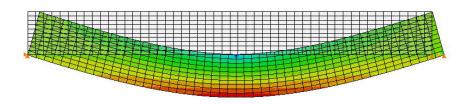


الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 4. حزمة وزارة الدفاع(2) – تدرج ناعم.

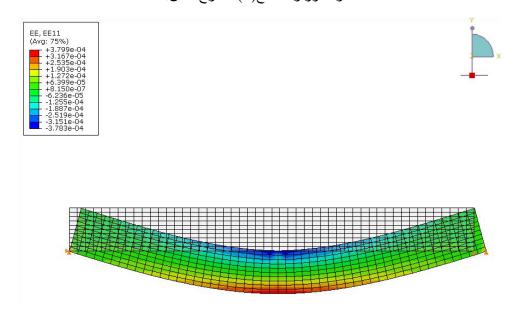


الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 4. حزمة وزارة الدفاع(2) – تدرج ناعم.

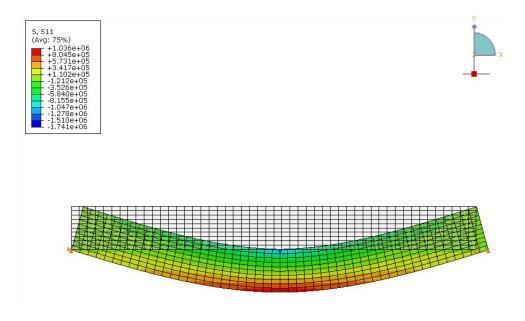




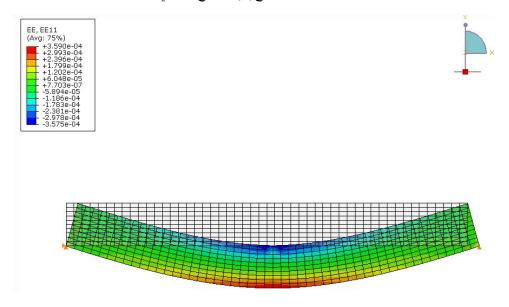
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 5. حزمة وزارة الدفاع(2) – تدرج خشن.



الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 5. حزمة وزارة الدفاع(2) – تدرج خشن.

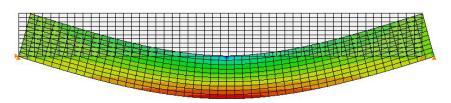


الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 6. حزمة وزارة الدفاع(2) - تدرج وسطي.

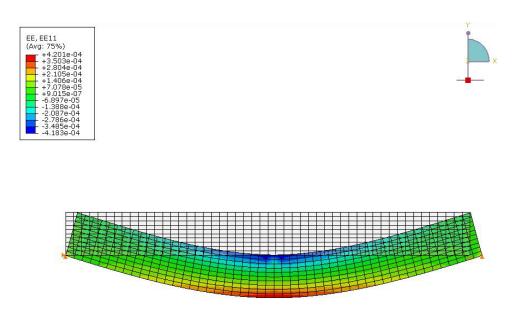


الشكل رقم: حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 6. حزمة وزارة الدفاع(2) – تدرج وسطي.

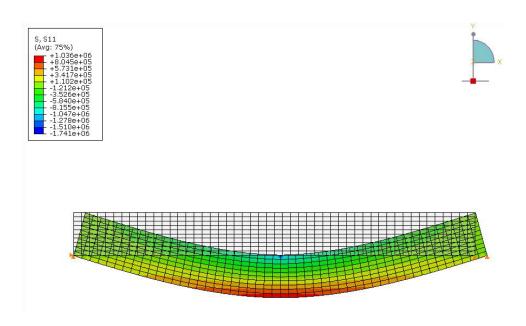




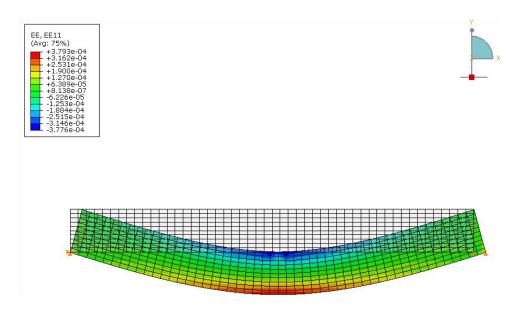
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 7. حزمة وزارة الدفاع(3) – تدرج ناعم.



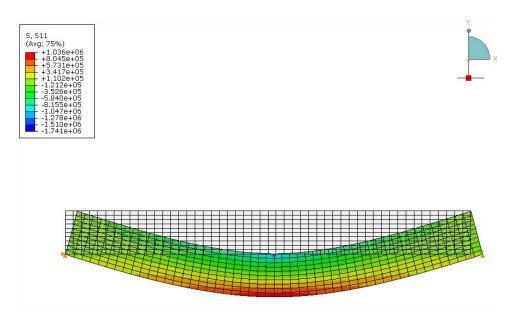
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 7. حزمة وزارة الدفاع(3) – تدرج ناعم.



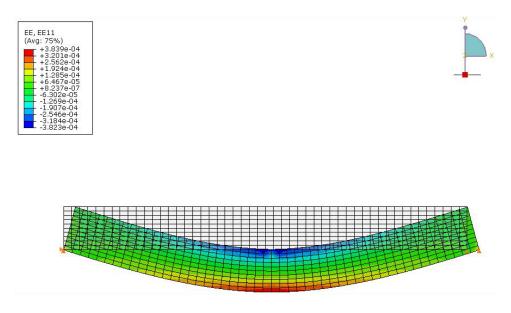
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 8. حزمة وزارة الدفاع(3) – تدرج خشن.



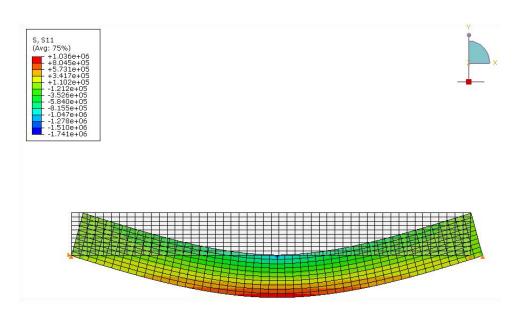
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 8. حزمة وزارة الدفاع(3) – تدرج خشن.



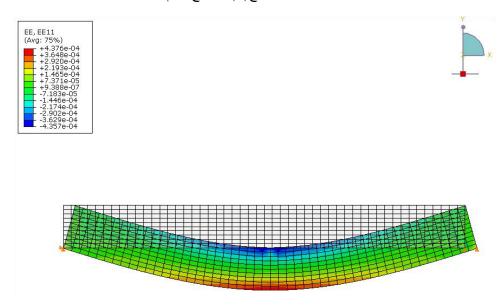
الشكل رقم: حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 9. حزمة وزارة الدفاع(3) – تدرج وسطي.



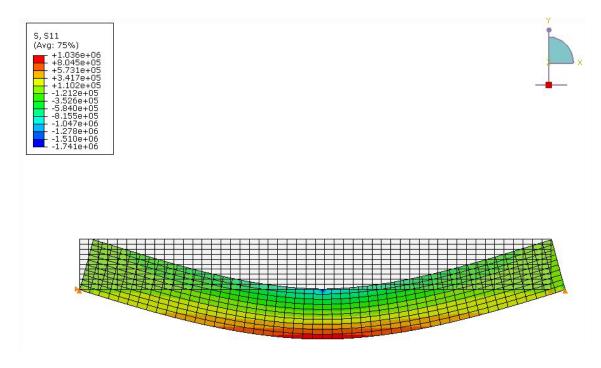
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 9. حزمة وزارة الدفاع(3) - تدرج وسطي.



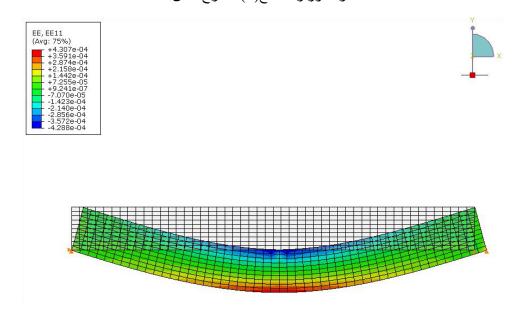
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 10. حزمة وزارة الدفاع(4) – تدرج ناعم.



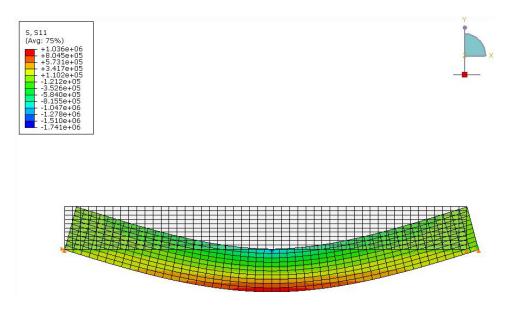
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 10. حزمة وزارة الدفاع(4) – تدرج ناعم.



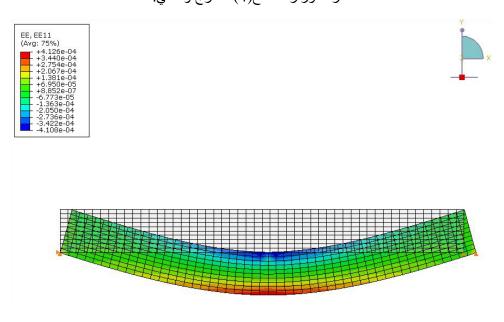
الشكل رقم: حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 11. حزمة وزارة الدفاع(4) – تدرج خشن.



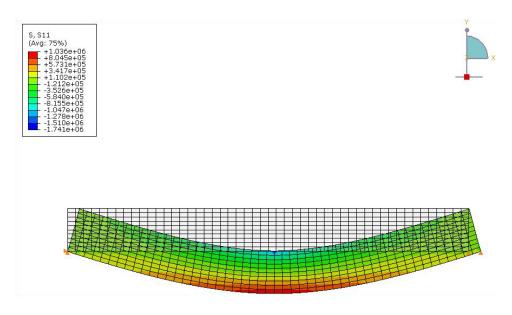
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 11. حزمة وزارة الدفاع(4) – تدرج خشن.



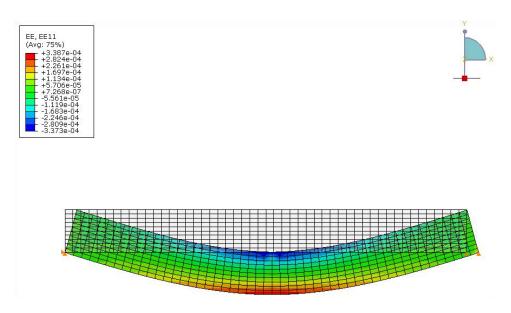
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأققية للعينة رقم 12. حزمة وزارة الدفاع(4) – تدرج وسطي.



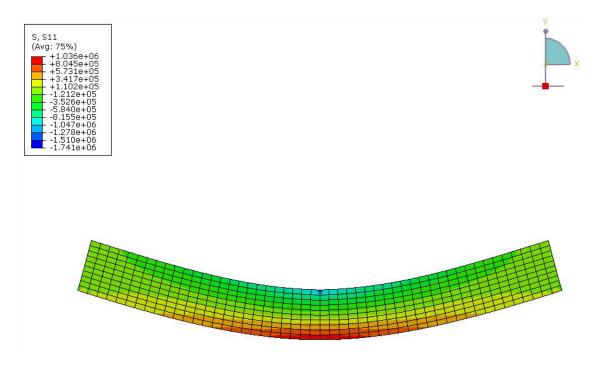
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 12. حزمة وزارة الدفاع(4) – تدرج وسطي.



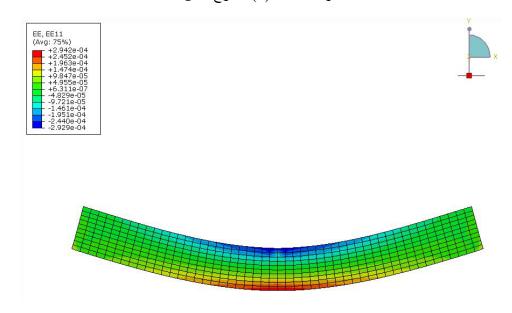
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 13. حرمة ASTM حرمة ASTM) تدرج ناعم.



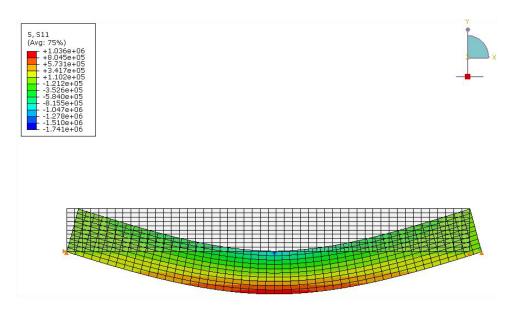
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 13. حزمة ASTM) تدرج ناعم.



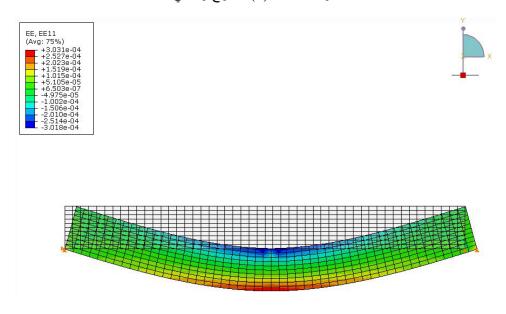
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 14. حزمة ASTM) تدرج خشن.



الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 14. حزمة ASTM) تدرج خشن.

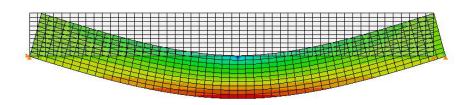


الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 15. حزمة ASTM) تدرج وسطي.

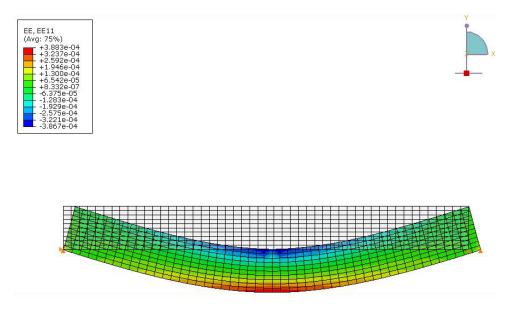


الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 15. حزمة ASTM(1)— تدرج وسطي.

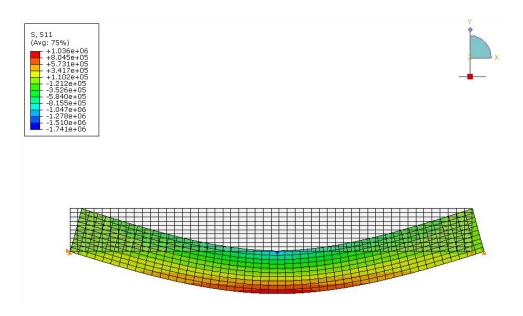




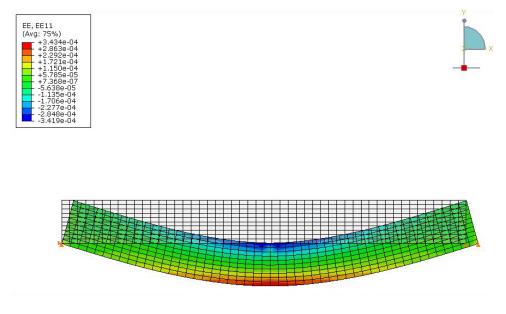
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 16. حزمة ASTM) تدرج ناعم.



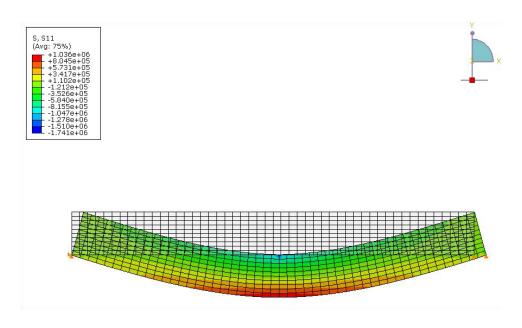
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 16. حزمة ASTM) تدرج ناعم.



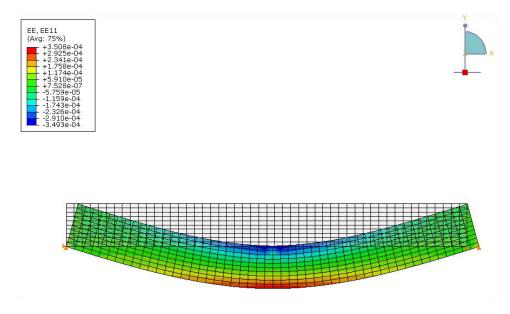
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 17. حزمة ASTM(2)— تدرج خشن.



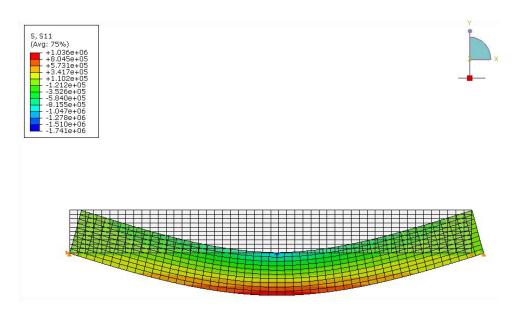
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 17. حزمة ASTM) - تدرج خشن.



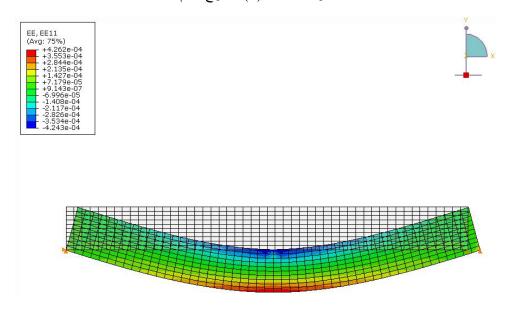
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 18. حزمة ASTM(2)- تدرج وسطي.



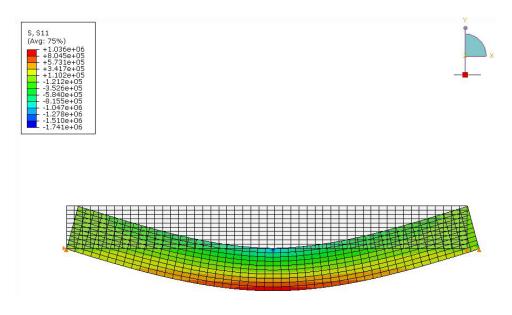
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 18. حزمة ASTM(2)—تدرج وسطي.



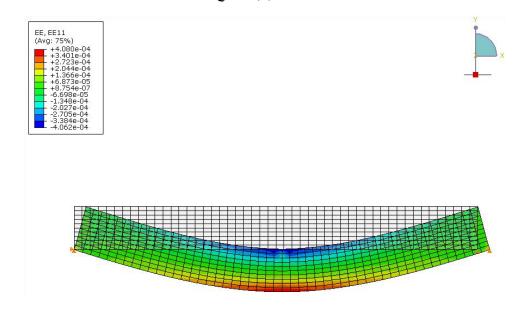
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 19. حزمة ASTM (3)—تدرج ناعم.



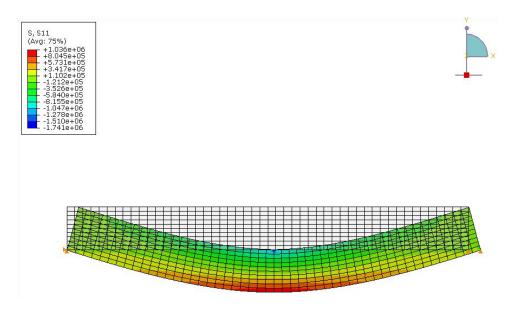
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 19. حزمة ASTM(3)— تدرج ناعم.



الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 20. حزمة ASTM(3)- تدرج خشن.

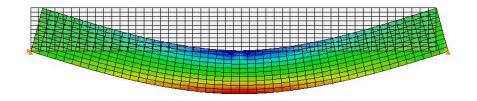


الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 20. حزمة ASTM(3)- تدرج خشن.

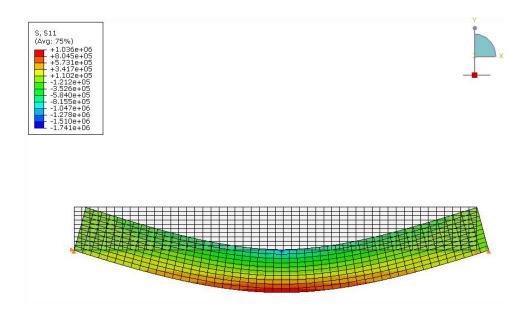


الشكل رقم : حقل الإجهادات الأققية للعينة رقم 21. حزمة ASTM عندرج وسطي.

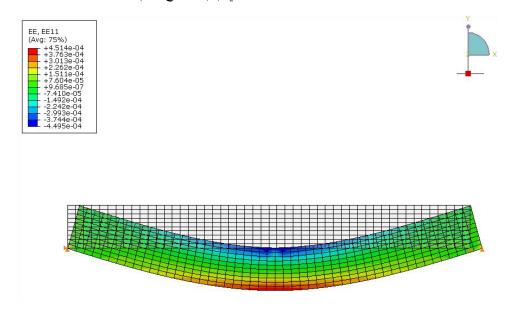




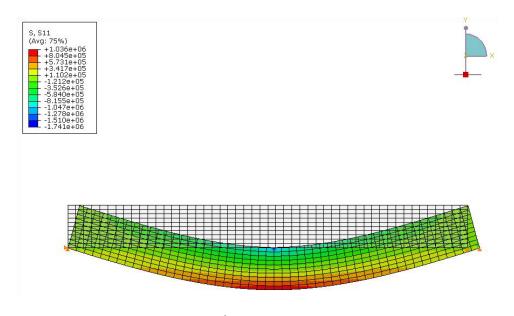
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 21. حزمة ASTM (3) تدرج وسطي.



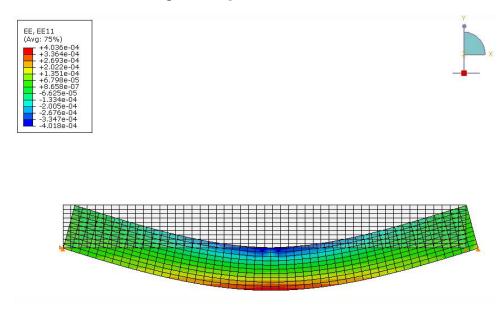
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 22. حزمة معهد الإسفات الأمريكي (A) – تدرج ناعم.



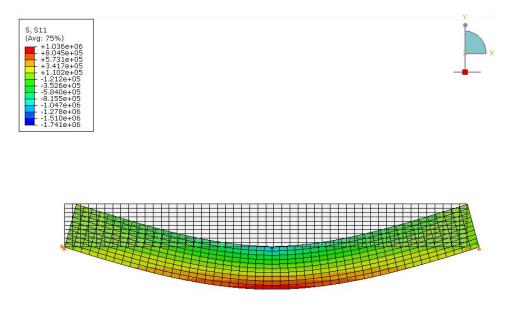
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 22. حزمة معهد الإسفلت الأمريكي (A) – تدرج ناعم.



الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 23. حزمة معهد الإسفات الأمريكي (A) – تدرج خشن.

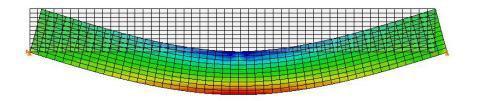


الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 23. حزمة معهد الإسفات الأمريكي (A) – تدرج خشن.

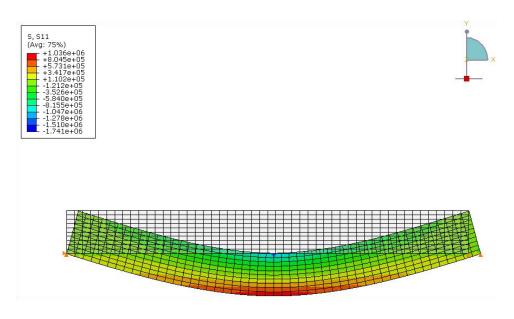


الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 24. حزمة معهد الإسفلت الأمريكي (A) – تدرج وسطي.

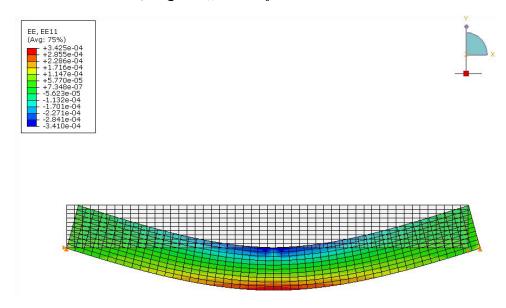




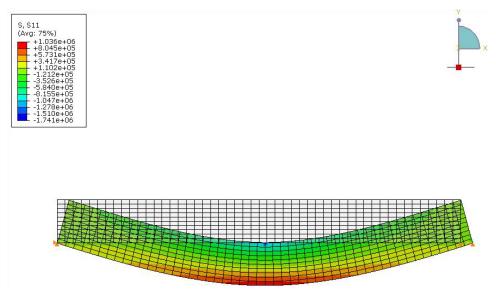
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 24. حزمة معهد الإسفلت الأمريكي (A) تدرج وسطي.



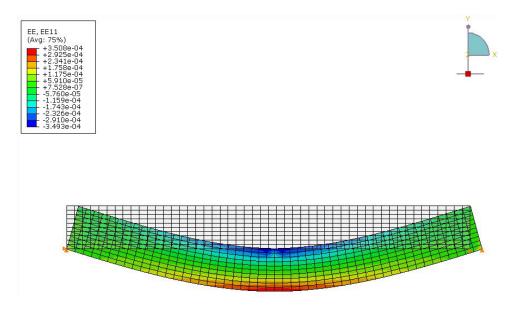
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 25. حزمة الكود البريطاني BS812(أ) – تدرج ناعم.



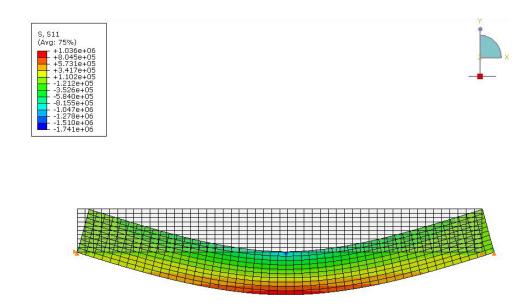
الشكل رقم: حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 25. حزمة الكود البريطاني BS812(أ) – تدرج ناعم.



الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 26. حزمة الكود البريطاني BS812(أ) – تدرج خشن.

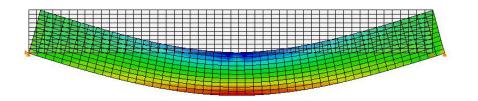


الشكل رقم: حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 26. حزمة الكود البريطاني BS812(أ) – تدرج خشن.

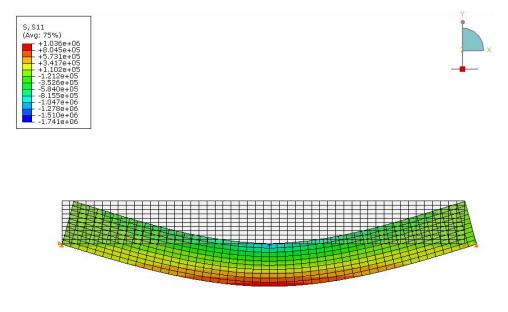


الشكل رقم: حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 27. حزمة الكود البريطاني BS812(أ) – تدرج وسطي.

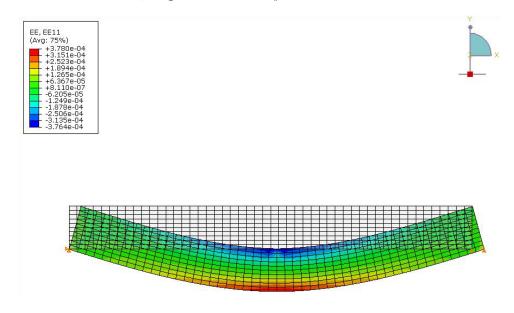




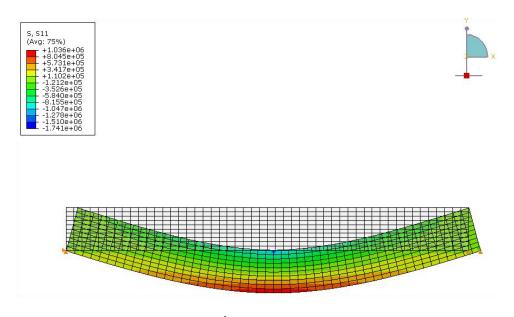
الشكل رقم: حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 27. حزمة الكود البريطاني BS812(أ) – تدرج وسطي.



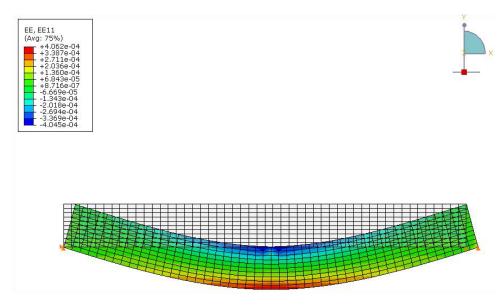
الشكل رقم: حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 28. حزمة الكود البريطاني BS812(ب) – تدرج ناعم.



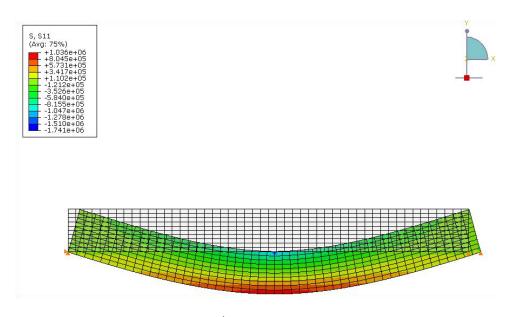
الشكل رقم: حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 28. حزمة الكود البريطاني BS812(ب) – تدرج ناعم.



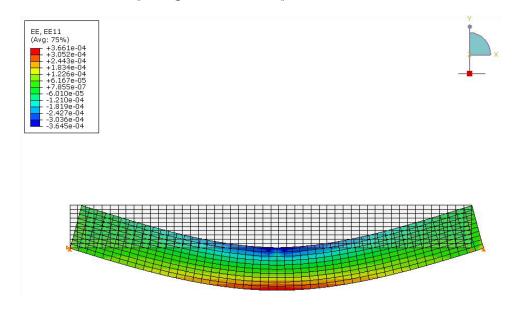
الشكل رقم: حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 29. حزمة الكود البريطاني BS812(ب) – تدرج خشن.



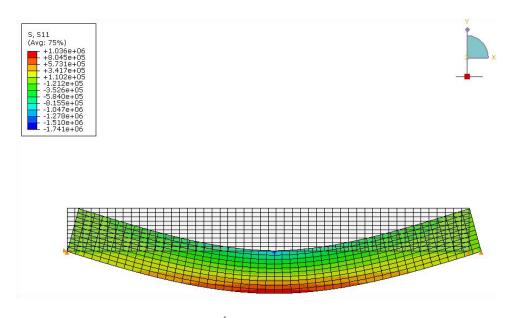
الشكل رقم: حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 29. حزمة الكود البريطاني BS812(ب) – تدرج خشن.



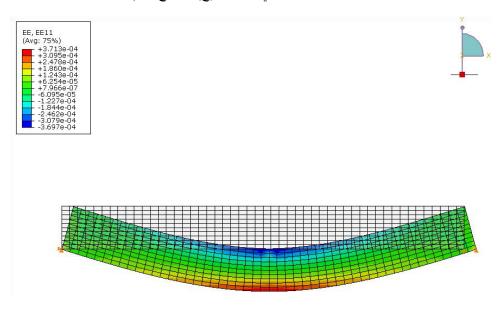
الشكل رقم: حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 30. حزمة الكود البريطاني BS812(ب) ـ تدرج وسطي.



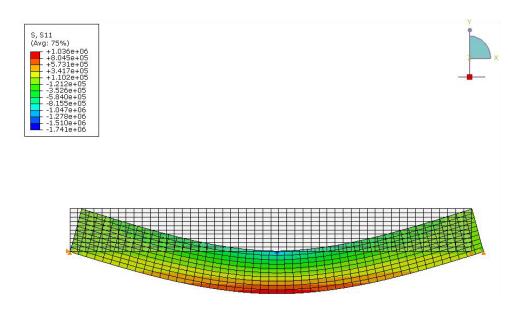
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 30. حزمة الكود البريطاني BS812(ب) ـ تدرج وسطي.



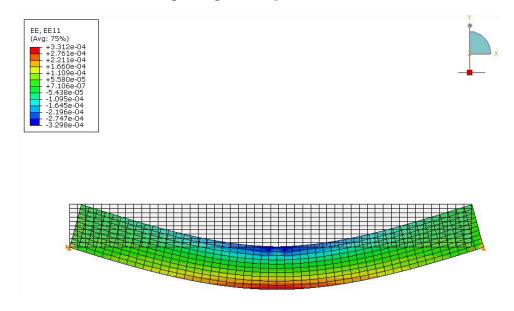
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 31. حزمة الكود البريطاني BS812(ج) – تدرج ناعم.



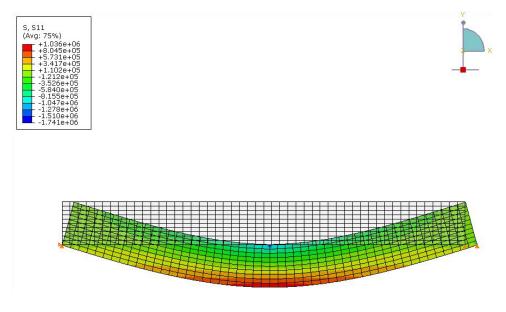
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 31. حزمة الكود البريطاني BS812(ج) – تدرج ناعم.



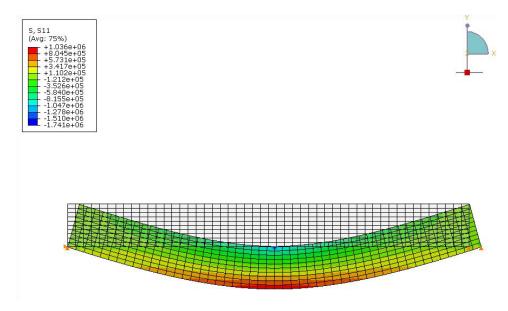
الشكل رقم: حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 32. حزمة الكود البريطاني BS812(ج) – تدرج خشن.



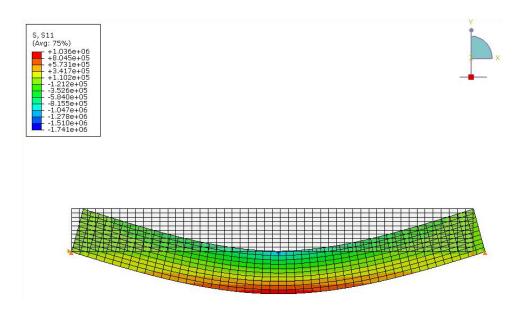
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 32. حزمة الكود البريطاني BS812(ج) – تدرج خشن.



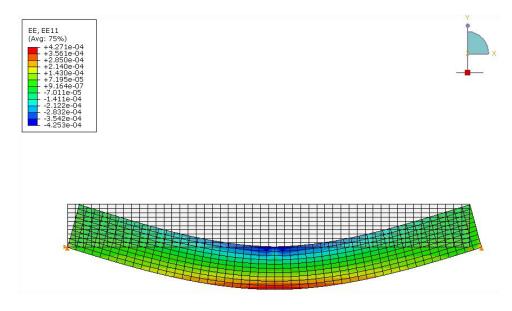
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 33. حزمة الكود البريطاني BS812(ج) – تدرج وسطي.



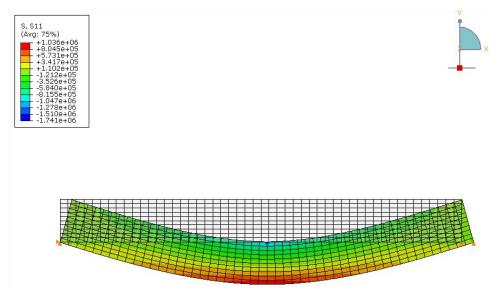
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 33. حزمة الكود البريطاني BS812(ج) – تدرج وسطي.



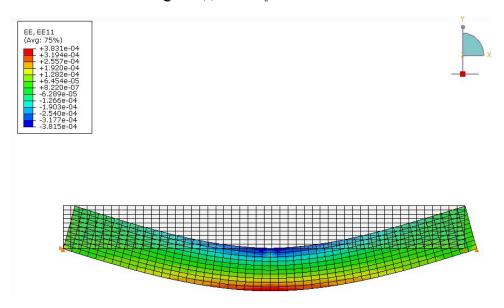
الشكل رقم: حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 34. حزمة الكود البريطاني BS812(د) – تدرج ناعم.



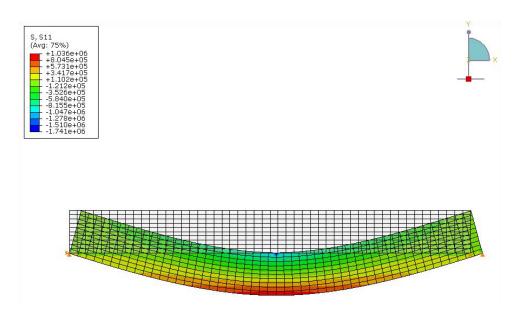
الشكل رقم: حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 34. حزمة الكود البريطاني BS812(د) – تدرج ناعم.



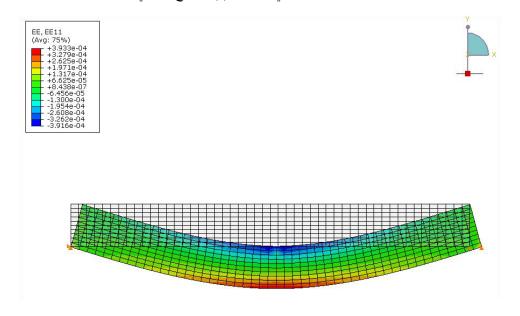
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 35. حزمة الكود البريطاني BS812(د) – تدرج خشن.



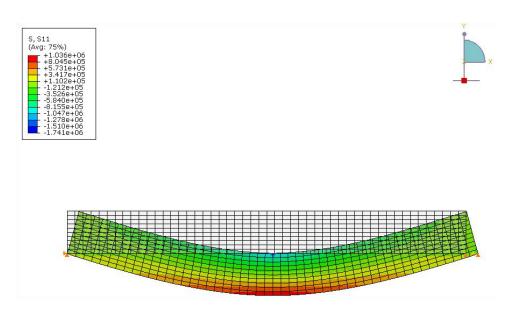
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 35. حزمة الكود البريطاني BS812(د) – تدرج خشن.



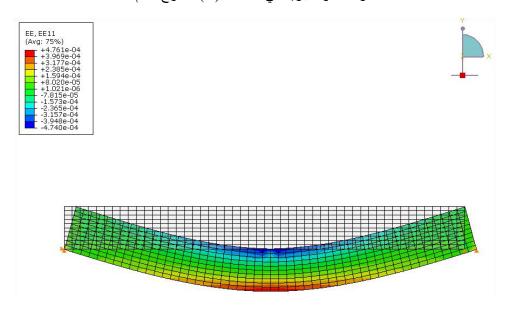
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 36. حزمة الكود البريطاني BS812(د) – تدرج وسطي.



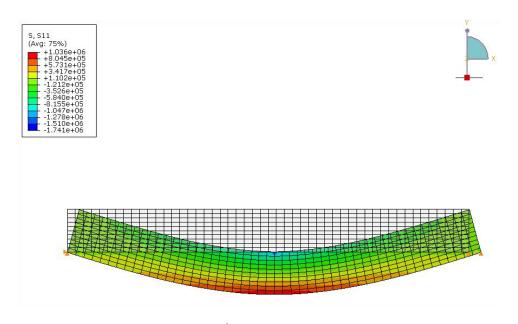
الشكل رقم: حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 36. حزمة الكود البريطاني BS812(د) – تدرج وسطي.



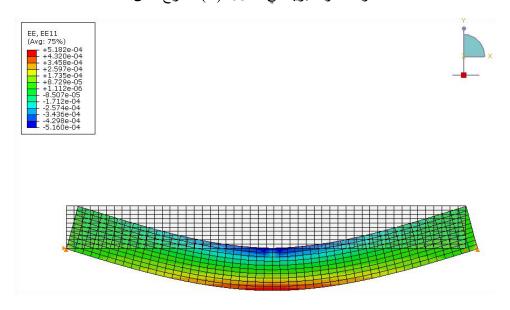
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 37. حزمة الكود البريطاني BS812(هـ) – تدرج ناعم.



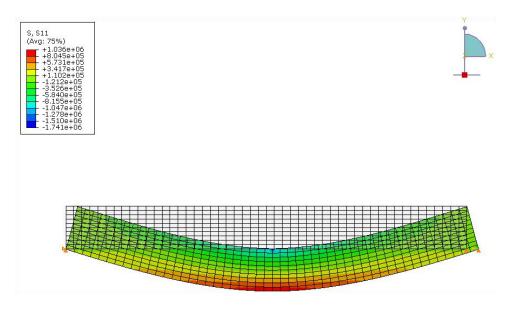
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 37. حزمة الكود البريطاني BS812(هـ) – تدرج ناعم.



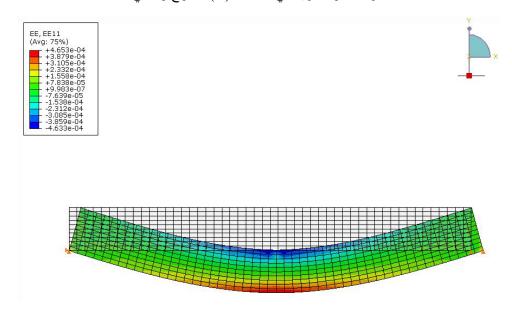
الشكل رقم: حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 38. حزمة الكود البريطاني BS812(هـ) ــ تدرج خشن.



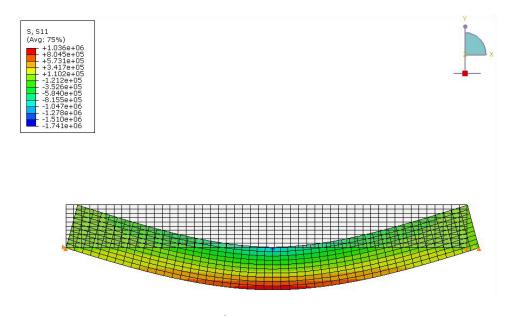
الشكل رقم: حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 38. حزمة الكود البريطاني BS812(هـ) – تدرج خشن.



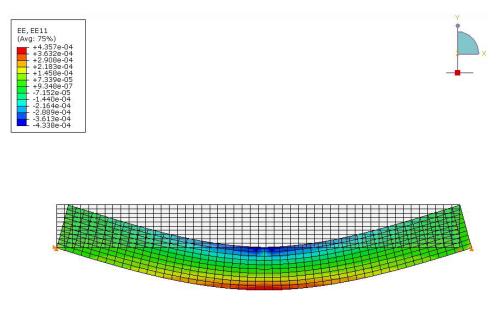
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 39. حزمة الكود البريطاني BS812(هـ) – تدرج وسطي.



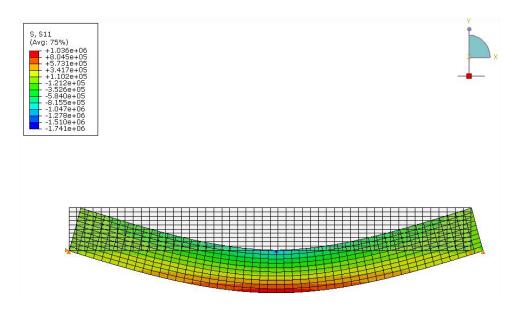
الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 39. حزمة الكود البريطاني BS812(هـ) – تدرج وسطي.



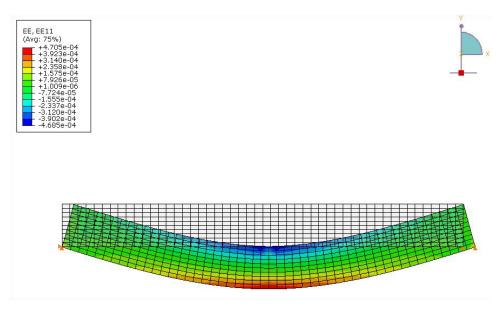
الشكل رقم : حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 40. حزمة الكود البريطاني BS812(و) – تدرج ناعم.



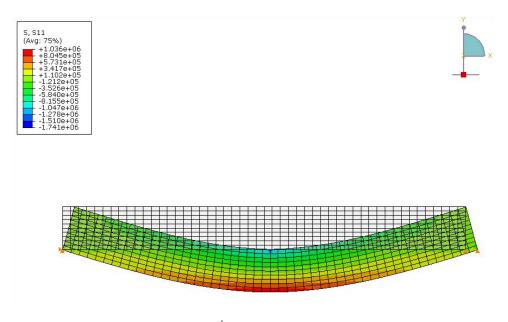
الشكل رقم: حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 40. حزمة الكود البريطاني BS812(و) – تدرج ناعم.



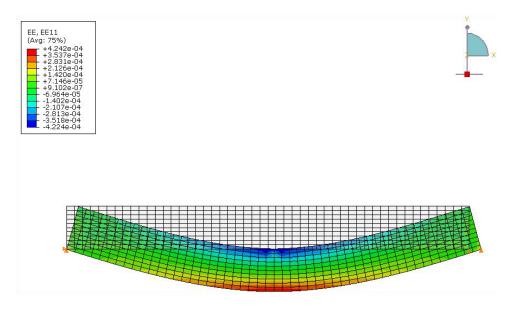
الشكل رقم: حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 41. حزمة الكود البريطاني BS812(و) – تدرج خشن.



الشكل رقم: حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 41. حزمة الكود البريطاني BS812(و) – تدرج خشن.



الشكل رقم: حقل الإجهادات الأفقية للعينة رقم 42. حزمة الكود البريطاني BS812(و) – تدرج وسطي.



الشكل رقم : حقل التشوهات الأفقية للعينة رقم 42. حزمة الكود البريطاني BS812(و) – تدرج وسطي.

الملحق 3 :نقاط الضبط للتدرج الحبي وفق FHA

Table A-1. 37.5 mm Nominal Maximum Size

	Control Point (Percent Passing)	
Sieve Size	Minimum	Maximum
75 μm	0	6
2.36 mm	15	41
25.0 mm	-	90
Nominal maximum (37.5 mm)	90	100
Maximum (50.0 mm)	100	

Table A-2. 25.0 mm Nominal Maximum Size

	Control Point (Percent Passing)	
Sieve Size	Minimum	Maximum
75 μm	1	7
2,36 mm	19	45
19.0 mm		90
Nominal maximum (25.0 mm)	90	100
Maximum (37.5 mm)	100	-

Table A-3. 19.0 mm Nominal Maximum Size

1	Control Point (Percent Passing)	
Sieve Size	Minimum	Maximum
75 μm	2	8
2.36 mm	23	49
12.5 mm	-	90
Nominal maximum (19.0 mm)	90	100
Maximum (25.0 mm)	100	-

Table A-4. 12.5 mm Nominal Maximum Size

Sieve Size	Control Point (Percent Passing)	
	Minimum	Maximum
75 μm	2	10
2.36 mm	28	58
9.5 mm		90
Nominal maximum (12.5 mm)	90	100
Maximum (19.0 mm)	100	-

Table A-5. 9.5 mm Nominal Maximum Size

Sieve Size	Control Point (Percent Passing)	
	Minimum	Maximum
75 μm	2	10
2.36 mm	32	67
4.75 mm	-	90
Nominal maximum (9.5 mm)	90	100
Maximum (12.5 mm)	100	-