جامعة حلب
كلية الهندسة المدنية
قسم الادارة الهندسية والانشاء

دراسة حول تكنولوجيا البيتون عالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية لتحسين مواصفاته والأثر الاقتصادي الناتج عن استخدامها

A study about high-strength concrete technology Reinforced by steel fibers To improve its properties and the economic effects by using it

بحث علمي أعد لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية
اختصاص الادارة الهندسية والانشاء

إعداد
المهندس محمد أحمد برغود

إشراف

الدكتورة المهندسة لطيفة شكور

2014

بسم الله الرحمن الرحيم

(وعلَّمكَ مَا لم تكُن تعلم وكانَ فضلُ اللهِ عليكَ عظيماً)

صدق الله العظيم
سورة النساء الآية 113

قائمة المحتويات List of contents

الفصل الاول: المراجعة النظرية Literature Review	**1**
1.1 البيتون عالي المقاومة والالياف الفولاذية	**2**
1.1.1 تعريف البيتون عالي المقاومة: High strength concrete	**2**
أ–المواد الاساسية لصنع بيتون عالي المقاومة	**3**
1– البحص	**3**
2 –الرمل	**3**
3 –الأسمنت	**4**
4 –غبار السيليكا Silica fume	**4**
5 –الملدنات Super plasticizers	**6**
ب–إنتاج البيتون عالي المقاومة و صبه في المكان:	**6**
1–تحضيرات ما قبل الجبل	**6**
2–الجبل	**7**
3– مراقبة قابلية تشغيل البيتون عالي المقاومة	**7**
ج– العائد الاقتصادي والفني من استخدام البيتون عالـي المقاومة	**8**
1– العناصر المعرضة لقوى ضغط مثل الأعمدة	**8**
2– العناصر المعرضة لعزوم انعطاف مثل الجوائز	**10**
1.1.2 الألياف الفولاذية	**12**
1– لمحة عن الألياف الفولاذية	**12**

2- خصائص الألياف الفولاذية مقارنة مع ألياف متنوعة	12
3-أشكال الالياف الفولاذية	13
4- عامل الشكل aspect ratio=L/Ø(طول الليف \قطر الليف) للألياف الفولاذية	14
5-تباعد الألياف	15
6- توجيه الألياف	15
7- النسبة الحجمية للألياف الفولاذية	16
8 - معدل حجم الألياف الاصغري في البيتون	17
1.2 الخواص الميكانيكية للبيتون عالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية	18
1.2.1 خواص البيتون عالي المقاومة المسلح بألياف فولاذية تجاه اجهادات الضغط والانعطاف	18
1.2.2 خواص البيتون عالي المقاومة المسلح بألياف فولاذية تجاه اجهادات القص	22
1.2.3 خواص البيتون عالي المقاومة المسلح بألياف فولاذية تجاه اجهادات الصدم	23
1.2.4 تنسيب الخلطة البيتونية عالية المقاومة	24
1.3 استخدامات البيتون عالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية	27
1.3.1 حاويات النفايات النووية والدارات الكهربائية والتي يتم دفنها في باطن الأرض .	27
1.3.2الطرق	27
1.3.3 مهابط الطائرات	28
1.3.4 إصلاح قنوات التصريف	29

1.3.5 الكتل البيتونية المستخدمة ككواسر للأمواج	29
1.3.6 القذف بالبيتون العالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية(Shortcret):	30
1.3.7 الأرضيات الصناعية	31
1.3.8.استخدام البيتون عالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية في مقاطع إنشائية متنوعة	32
1.3.9 تبطين أنفاق السكك الحديدية	33
الفصل الثاني: مواد البحث وطرائقه Materials and Methods	**36**
2.1 المواد المستخدمة في البحث	36
2.2 التجارب التي تم إجراؤها في البحث	39
2.3 الأجهزة والأدوات المستخدمة في البحث	41
الفصل الثالث: الدراسة التجريبية	**45**
3.1 التحليل الحبي للمواد الحصوية والرمل	45
3.2 الوزن النوعي للمواد الحصوية والرمل والاسمنت	45
3.3 المكافئ الرملي	46
3.4 الاهتراء بجهاز لوس انجلوس	46
3.5 نسب الخلطة البيتونية عالية المقاومة	46
3.6 مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة بدون الالياف الفولاذية	48
3.7 مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة	49
3.8 مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة	50
3.9 مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة بدون الالياف الفولاذية	51

51	3.10 مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة
52	3.11 نتائج مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة
53	3.12 دليل المتانة
56	3.13 الدراسة الاقتصادية للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية
58	الفصل الرابع: المناقشة مع المقترحات والتوصياتSuggestions and Recommendation
61	4.1.1مناقشة نتائج الضغط للعينات المكعبية
61	4.1.2 مناقشة نتائج مقاومة الانعطاف
62	4.1.3مناقشة دليل المتانة
62	4.1.4مناقشة الأثر الاقتصادي من إضافة الالياف الفولاذية إلى البيتون عالي المقاومة
66	المراجع References

الجداول

الرقم	المحتوى	رقم الصفحة
1	يمثل تصنيف نوع البيتون تبعا للمقاومة	3
2	خصائص أنواع مختلفة من الألياف مقارنة مع الألياف الفولاذية	12
3	تأثير توجيه الألياف الفولاذية في البيتون	16
4	التحسن في مقاومات الضغط والشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة بوجود الالياف الفولاذية	18
5	مقاومة الضغط والشد بالانعطاف لبيتون عالي المقاومة مسلح بألياف فولاذية مستقيمة وأخرى معكوفة	19
6	التحسن في دليل المتانة للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية	20
7	دليل المتانة للألياف الفولاذية المستقيمة والمعكوفة	20
8	غبار السيليكا في الخلطة البيتونية تبعا لمقاومة الضغط للبيتون	24
9	مواصفات الاسمنت المستخدم	24
10	مواصفات الألياف الفولاذية المكسحة المستخدمة	24
11	التحليل الحبي للمواد الحصوية الحسوانية	36
12	التحليل الحبي للرمل الفراتي	37
13	الوزن النوعي للمواد الحصوية الحسوانية والرمل الفراتي والاسمنت	45
14	المكافئ الرملي للرمل الفراتي	45
15	الاهتراء بجهاز لوس انجلوس للمواد الحصوية الحسوانية	45
16	نسب الخلطة البيتونية عالية المقاومة	46
17	مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة بدون الالياف الفولاذية	46
18	مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة	48
19	مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة	48
20	مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة	49
21	مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة	50
22	مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة	51
23	دليل المتانة للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية المكسحة	52
24	دليل المتانة للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية المجعدة	55
25	سماكة بلاطة الرصف الصلب تبعا لتزايد حجم الالياف الفولاذية	58
26	كلفةم3 من البيتون عالي المقاومة بدون ألياف الفولاذية بالليرة السورية	59
27	كلفةم3 من البيتون عالي المقاومة مع ألياف الفولاذية بالليرة السورية	59
28	كلفة 1م2 من بلاطة الرصف الصلب لمشروع الطريق	59

المخططات

الرقم	المحتوى	رقم الصفحة
1	**انخفاض تكاليف البيتون عالي المقاومة مع ازدياد المقاومة**	8
2	**انخفاض أبعاد المقطع البيتوني في أعمدة البيتون العالي المقاومة مع ازدياد المقاومة**	9
3	**تأثير البيتون عالي المقاومة على نسبة التسليح الرئيسي في الجوائز**	10
4	**انخفاض الارتفاع الفعال للبيتون عالي المقاومة في الجوائز بازدياد المقاومة**	10
5	**تأثير البيتون عالي المقاومة على السعة التحميلية للجوائز**	11
6	**تأثير للبيتون عالي المقاومة على كلٍ من عرض وعمق القطاع في الجوائز بان واحد**	11
7	**تأثير عامل الشكل على قابلية التشغيل مقاسه بعامل الرص للبيتون**	14
8	**عامل الشكل على منحني الإجهاد –الانفعال**	14
9	**تأثير حجم الألياف الفولاذية على مخطط الإجهاد الانفعال**	16
10	**التحسن في مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع السيليكا و الالياف الفولاذية**	18
11	**التحسن في مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع السيليكا و الالياف الفولاذية**	19
12	**متحولات دليل المتانة حسب النظام ASTM C1018**	20
13	**الطاقة الممتصة من قبل العنصر البيتوني بوجود الألياف الفولاذية ممثلة بالمساحة(ii)**	21
14	**منحني فولبير–تومسون**	47
15	**مقاومات الضغطللبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة**	49
16	**مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة**	50
17	**مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة والمجعدة**	50
18	**مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة**	52
19	**مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة**	53
20	**مقاومة الشـد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية المكسحة والمجعدة**	53
21	**الاجهاد الانفعال للبيتون عالي المقاومة بدون ألياف فولاذية**	54
22	**الاجهاد الانفعال للبيتون عالي المقاومة مع ألياف فولاذية مكسحة**	54
23	**الاجهاد الانفعال للبيتون عالي المقاومة مع ألياف فولاذية مجعدة**	54
24	**دليل المتانة للبيتون عالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية المكسحة والمجعدة .**	55

الصور

الرقم	المحتوى	رقم الصفحة
1	دور غبار السيليكا في تحسين كتامة البيتون	5
2	Water Tower Place برج شيكاغو	9
3	أشكالا مختلفة للألياف الفولاذية	13
4	حاويات النفايات النووية والدارات الكهربائية	27
5	استخدام البيتون الليفي في الطرق	28
6	استخدام البيتون الليفي في الرصف الصلب لمهابط الطائرات	28
7	استخدام البيتون الليفي في عمليات اصلاح قنوات الصرف	29
8	استخدام البيتون الليفي في الكتل البيتونية	30
9	استخدام البيتون الليفي في Shortcrete	31
10	استخدام البيتون الليفي في الأرضيات	32
11	استخدام البيتون الليفي في مقاطع إنشائية متنوعة	33
12	استخدام البيتون الليفي في تبطين أنفاق السكك الحديدية باستخدام آلية ال (ECL) في الحفر والتبطين	36
13	نوع المواد الحصوية والرمل المستخدم في البحث	37
14	غبار السيليكا المستخدم	37
15	نوع الملدن المستخدم	38
16	شكل الألياف الفولاذية المكسحة المستخدمة	38
17	شكل الألياف الفولاذية المجعدة المستخدمة	41
18	جهاز الشد للألياف الفولاذية المجعدة المستخدمة	42
19	القوالب المعدنية والخشبية وجهاز الرج المستخدم	42
20	استعمال جهاز الضغط مع مسند خاص لحساب مقاومة الانعطاف	43

تصريح

لا يوجد أي جزء من هذه الأطروحة تم أخذه بالكامل من عمل أخر أو أنجز للحصول على شهادة أخرى في هذه الجامعة أو أي جامعة أخرى أو أي معهد تعليمي.

المهندس محمد أحمد برغود

الإهداء

إلى من بإرشاده قومني وأنا غصن رطيب.. وبقلبه الرحيم كان البلسم والطبيب.

أبي

إلى من يعتصر القلب عند وداعها.. وينفطر شوقاً عند لقائها.

أمي

إلى قطرات الندى اللاتي يمسحن بأناملهن تعبي.. ويتحملنني برقتهن وقت غضبي.

أخواتي

إلى عوني على مصاعب الحياة ومحنها.. وملاذي الآمن حينما تشتد قسوتها.

إخوتي

إلى من كانوا في حياتي عناوين الإخلاص والوفاء..

إلى من نثروا فيها نسمات الألق والصفاء.

أصدقائي

كلمة شكر

أتوجه بالشكر الجزيل لأستاذتي المشرفة الدكتورة المهندسة لطيفة شكور في قسم الادارة الهندسية والانشاء جامعة حلب ،و التي وضعت ثقتها فيّ و كانت معي في كل خطوة من خطوات البحث من التخطيط له حتى طباعته و لم تبخل عليّ بأي مشورة في أي وقت وكانت قبل ذلك الدكتورة المحبّة للبحث العلمي والمقدرة للعلم والعلماء فهي اللطيفة في اسمها اللطيفة في معاملتها مع الأخرين .

و الشكر الجزيل للدكتور المهندس عيسى لبابيدي في قسم الهندسة الإنشائية لمساعدتي في تقديم المشورة العلمية خلال مرحلة البحث بالإضافة إلى تأمين المواد والأجهزة اللازمة للبحث.

و الشكر الجزيل للدكتور المهندس توفيق محمود في قسم المواصلات لمساعدتي في تقديم المراجع العلمية المتعلقة بالبحث.

و الشكر الجزيل للدكتور المهندس جميل جبل في قسم الجيوتكنيك لمساعدتي في ترتيب أطروحة البحث.

و الشكر الجزيل لأخي المهندس إبراهيم ولأخي الدكتور سارية لمساعدتي وتشجيعي في مراحل البحث .

والشكر الجزيل لعمادة الكلية والدكاترة في قسم الإدارة الهندسية والإنشاء لتقديمهم كل التسهيلات في سبيل إكمال البحث العلمي

أشكركم جميعاً جزيل الشكر المفعم بشذا المحبة والإجلال لأشخاصكم الكريمة وأنحني تقديراً واحتراماً لهاماتكم الجليلة.

مع خالص امتناني وإكباري

الملخص باللغة العربية

تهدف هذه الدراسة الى تسليط الضوء على تكنولوجيا البيتون عالي المقاومة المسلح بالالياف الفولاذية بغية التعرف على بعض الخواص الميكانيكية لها بهدف استخدامها في الأعمال الإنشائية.

تم تحضير المواد الحصوية الحسواني من خان السبل في حلب والرمل من ضفاف نهر الفرات وتم شراء الاسمنت وغبار السيليكا والملدن الخاص من السوق المحلية

جرى خلط المواد الحصوية وأضيف الرمل وغبار السيليكا ثم تم إضافة الماء مع الملدن واضيفت الألياف الفولاذية تباعا وفق النسب الحجمية %(2- 1.5- 1- 0.5 - 0).

بعد مضي 28 يوم على العينات تم اجراء اختبارات الضغط والشد بالانعطاف على العينات.

وقد تبين لنا ما يلي:

1- الألياف الفولاذية لها تأثير سلبي على قابلية التشغيل والتي تنقص بزيادة مقدار الألياف الفولاذية

2- تحسنت مقاومة الضغط بدرجات قليلة تبعا لإضافة حجم الألياف الفولاذية في الخليط البيتوني

3- تحسنت مقاومة الشد بالانعطاف بشكل كبير تبعا لتزايد حجم الألياف الفولاذية

4- زيادة الالياف الفولاذية في البيتون عالي المقاومة تزيد قدرة امتصاص الطاقة في العناصر الإنشائية أثناء حالات التحميل لمقاومة الانهيار القصيف المفاجئ.

5-هناك تحسن كبير في الجانب الفني لاستخدام البيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية من ناحية تقليل المقاطع وهذا ماتم لحظة في تقليل سماكة بلاطة الرصف الصلب مقارنة مع الزيادة البسيطة في كلفة البيتون نتيجة اضافة الألياف الفولاذية.

summary

This study aims to shed light on the high Strength concrete rienforced with steel fibers in order to identify some of the mechanical properties to be used in construction works.

MATERIALS AND METHODS:

The preparation of gravel materials ways in Aleppo and sand from the the Euphrates River, also cement and silica dust and private plasticized from the local market

The Work were performed in the laboratory of Graduate Studies at the Faculty of Civil Engineering

at first we mixing gravel materials and add sand and silica dust then the water and finally steel fibers were added successively according to the volumetric ratios 0.0.5.1.1.5.2%

After 28 days the samples were conducted pressure and bending moments tests.

Results :

1. steel fibers have a negative impact on interoperability, which decreases by increasing the amount of steel fiber
2. improved pressure resistance a few degrees depending on the size of the addition of steel fibers in the mixture .
3. tensile bending dramatically improved resistance depending on the size of the growing steel fiber
4. Increase steel fibers in concrete high resistance increases the ability of energy absorption in the structural elements during loading cases of resistance to the sudden collapse.
5. There is a big improvement in the technical aspect of the use of high-strength concrete with steel fibers in terms of reducing the sections and reduce the thickness of the thickness of slab rigid pavment, compared with increase in the cost of the concrete .

الفصل الاول

المراجعة النظرية

Literature Preview

1.1: البيتون عالي المقاومة والألياف الفولاذية High strength concrete and steel fibers

مقدمة:

على اعتبار أن البيتون مادة ذات مقاومة ضعيفة على الشد وكذلك الحركة الناتجة من الانكماش بالجفاف أو من الرطوبة والتي تسبب شروخا بالاضافة الى أن البيتون مادة ليست مصمتة تماماً وإنما تسمح بنفاذ السوائل والغازات بدرجات متفاوتة تعتمد على جودة البيتون ونسبة الفراغات فيه، ونفاذ الرطوبة في البيتون المسلح يعمل على صدأ الحديد وتآكله وأيضا ينتج عنه تبقيع سطح البيتون وتلفها،تم العمل على تقويته وتحسين خواصه الميكانيكية عن طريق إضافة الأ لياف الفولاذية الى الخلطة البيتونية لتعمل على تحسين الخواص الميكانيكية للبيتون مثل مقاومته على الضغط و الشد و الانعطاف .

تبين نتائج الأبحاث العلمية أن الدور الأساسي للألياف الفولاذية يتجلى بالسيطرة على عملية تشقق البيتون عند الاستخدام وتحسين سلوكه وتحويله من سلوك هش الى سلوك لدن يزيد عامل الأمان أثناء الحالات الحدية للتحميل ، وبالحد من سعة التشققات الظاهرة فيه عن طريق تخييط طرفي الشق ،وتختلف طريقة تقوية البيتون بالألياف الفولاذية عن طريقة تقوية البيتون بقضبان التسليح ويكمن الاختلاف في أن قضبان التسليح في البيتون تعمل على تقويته باتجاه وحيد ،أما الألياف الفولاذية فتعتمد على التلاحم بينها وبين المونة الاسمنتية وتدعم المادة في كل الاتجاهات بفضل التوزيع المنتظم لها في الخلطة.

تشهد هذه الأيام تطورات كبيرة في تكنولوجيا البيتون حيث أمكن التغلب على التناقض الناشئ بين المقاومة العالية والقابلية المنخفضة للتشغيل وذلك بإنتاج واستخدام بعض الإضافات المخفضة للماء Superplasticizers والتي تسمح باستخدام نسبة ماء قليلة جداً قد تصل إلى 0.25 من وزن الأسمنت وفى نفس الوقت تعطى قابلية عالية للتشغيل وبالتالى الحصول على بيتون بمقاومة عالية جداً قد تصل الى 140 Mpa وقد تم إنتاج هذا البيتون العالي المقاومة High Strength Concrete بالفعل في مخابر كلية الهندسة بالمنصورة(مصر) حيث تم الوصول إلى بيتون مقاومته للضغط 110 Mpa وذلك باستخدام المواد المحلية المتاحة.

وبالرغم من أن مثل هذا البيتون العالي المقاومة لم يأخذ طريقه إلى الواقع العملي في سوريا حتى الآن إلا أنه أصبح شائع الاستعمال في دول أوربا وأمريكا واليابان وحتى في بعض دول العالم الثالث مثل ماليزيا والتي تم فيها حديثاً إنشاء وتشييد أعلى المباني الإدارية في العالم ويقع في مدينة كوالا لمبور والذي يصل ارتفاعه الى 450 متر وذلك باستخدام بيتون بمقاومة للضغط مقدارها 80 Mpa [1]

1.1.1 البيتون عالي المقاومة: High strength concrete:

يتميز البيتون عالي المقاومة بمقاومة ضغط تزيد عن 50 Mpa وقد تصل الى 140 Mpa و يمتاز بمتانة عالية ومقاومة للاحتكاك ومقاومة للكيماويات مع تقليل النفوذية والفوائد الناتجة عنه (تقليل المقاطع وزيادة المجازات وتقليل الوزن) ويمكن الحصول عليه باستخدام المواد المحلية المتاحة والتي تستخدم في صناعة البيتون العادي إلا أن البيتون عالي المقاومة يحتوى على مادة إضافية أخرى وهى الملدنات Superplasticizers وذلك حتى يمكننا تقليل ماء الخلط إلى أقصى درجة مع الحصول على نفس القابلية للتشغيل وبالتالي الحصول على المقاومة العالية بالإضافة الى احتوائه على الهواد البوزلانية مثل مادة غبار السيليكا Silica fume ، وإن أهم شيء يجب أخذه في الاعتبار عند إنتاج بيتون عالي المقاومة هو اختيار مجموعة المواد التي تتجانس مع بعضها لتعطى بيتون جيد له المقاومة و المتانة وكذلك القابلية للتشغيل المطلوبة [1]

هناك تصنيفات خاصة للبيتون وفق تعريف العالمان Mehta and Aitcin المبين بالجدول (1)التالي:

الجدول (1) يمثل تصنيف نوع البيتون تبعا للمقاومة[8]

Normal strength	20-50 Mpa
High strength	50-100 Mpa
Ultra high strength	100-150 Mpa
Special	>150 Mpa

أ- المواد الاساسية لصنع بيتون عالي المقاومة:

1- البحص :

يجب أن يكون قوى ومتين لأنه يحدد مقاومة البيتون القصوى حيث أن الشروخ في حالة البيتون عالي المقاومة تمر خلال حبيبات البحص الكبيرة وليس حولها كما في حالة البيتون العادي.

2 -الرمل :

يجب أن يكون نظيف وخالي من الشوائب حيث معامل النعومة يقع ضمن المجال من 2.8 إلى3 .

الاشتراطات الخاصة بالبحص:

أ- يجب أن تكون حبيبات البحص شبه كروية أو عديدة الأوجه.

ب-يجب ألا يقل الوزن النوعي الظاهري عن 2.35.

ج- يجب ألا تزيد نسبة الفاقد في وزن البحص عند اختبار (لوس انجلوس) عن10 -12 % من الوزن.

د-يجب ان يكون البحص المستخدم في الخلطات البيتونية ضمن حدود منحنيات التدرج النظامية.

هـ- يجب أن يخضع البحص للغسيل قبل استخدامه وذلك لضمان خلو من المواد العضوية والأملاح .

3 -الأسمنت:

يجب أن يكون عالي الجودة ذو مقاومة $42.5kg/cm^2$ أو أكثر حسب توفره في السوق وأن يكون متوافق مع أي إضافات مستخدمة، ولقد وجد أن النسبة المثلى التي تعطى أكبر مقاومة للبيتون تقع بين $450\ kg/cm^2$ إلى $500\ kg/cm^2$ ويعتمد ذلك على خصائص وكميات ونسب باقي المكونات وعما إذا كانت الخلطة تحتوى على مادة غبار السيليكا أم لا.

الأسمنت هو المكون الرئيسي الفعال الذي تتوقف عليه مقاومة البيتون وأهم العوامل المؤثرة في الأسمنت هي كميته ونعومته وتركيبه الكيميائي، بالنسبة لتأثير التركيب الكيميائي للإسمنت فيعتمد ذلك بصورة كبيرة على نسب المكونات الرئيسية الأربعة للإسمنت وهى سيليكات ثنائي الكالسيومC2S وسيليكات ثلاثي الكالسيوم C3S وثالث ألومينات الكالسيوم C3A ورابع ألومينات حديد الكالسيومC4AF .

العنصرين الأولين C3S و C2S هما الذين يتحكمان في المقاومة وتتواوح نسبتيهما الى 75 %.

وعموماً فإن الأسمنت الذي يحتوى على نسبة عالية منC3S يكتسب مقاومة أسرع من الأسمنت المحتوى على نسبة عالية منC2S حيث أن C3S هو المركب المسؤول عن المقاومة المبكرة للإسمنت .أما العنصر الثالث في الأسمنت فهو المسؤول عن انبعاث حرارة عالية أثناء الخلط وهو المتسبب في وجود الخواص غير المرغوبة في الأسمنت مثل حدوث التغيرات الحجمية و التشققات و التخريب عند التعرض للكبريتات .إلا أن هذا العنصر موجود في الأسمنت بحكم تواجده في المواد الخام .أما العنصر الرابع فهو عنصر خامل تقريباً ويحل محل العناصر النشطة في الأسمنت وبالتالي فلا يرغب في تواجده بنسبة عالية .وبالتحكم في نسبة المكونات الرئيسية للإسمنت وكذلك نعومته يمكننا صناعة الأنواع المختلفة من الإسمنت مثل الإسمنت سريع التصلد والإسمنت البورتلاندي العادي والإسمنت فائق النعومة والإسمنت المقاوم للكبريتات ..... الخ[1]

4 -غبار السيليكا Silica fume :

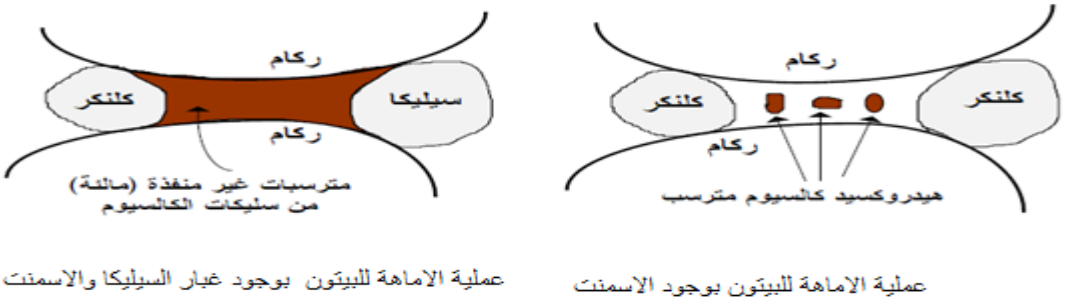
وهى مادة تتكون من حبيبات دقيقة جداً مساحتها السطحية حوالي أربعة إلى خمسة أمثال المساحة السطحية للأسمنت وهى ناتج عن عملية احتراق الكوارتز والفحم في أفران القوس الكهربائية المستخ دمة لإنتاج السيليكون وسبائك الألمنيوم .

وهي عبارة نسب عالية من جزيئات ثاني أكسيد السيليكا الناعمة غير المتبلورة Sio2 والتي تشكل أكثر من 85%من مركبات هذه المادة وهي عبارة عن ذرات صغيرة كتلية كروية تظهر في أجهزة دقيقة جدا مقاربة للميكرون (قطر الحبة حوالي 0.5ميكرون) وهى مادة بوزولانية(صخر سيليكوني بركاني الأصل) تتفاعل مع الجير الكلسي الحر (هيدروكسيد الكالسيوم) الناتج عن تميه الاسمنت على اعتباره مادة ضعيفة وقابلة للانحلال وهو مصدر ضعف العجينة الاسمنتية بسبب بنيته البلورية الضعيفة (رواسب كريستالية) تجاه الشقوق والتصدعات وحيث يتحول 20%من الاسمنت البورتلندي العادي الى هيدروكسيد الكالسيوم

تتفاعل الميكروسيليكا مع هذا المركب مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سيليكات وألومنيات الكالسيوم والتي تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية و بالتالي يتناقص محتواه في المزيج من خلال هذا التفاعل البوزلاني مما يجعل البيتون أكثر كثافة و مقاومة وكتامة بالإضافة الى ذلك تعمل الميكروسيليكا على تحسين قوة التلاحم بين مركبات البيتون كونها تستخدم كمواد مالئة لسد الفراغات بين الحصويات التي قد تمتلئ بالماء أو يتركز فيها رواسب كريستالية(هيدروكسيد الكالسيوم) ومادة داعمة في منطقة التماس بين الحصويات والعجينة الاسمنتية.

وتجدر الإشارة أن النسبة المثلى من غبار السيليكا تتراوح من 10 إلى 15 % من وزن الأسمنت[1]

يبين الشكل(1) دور غبار السيليكا في تحسين منفذية البيتون.



الشكل (1) دور غبار السيليكا في تحسين كتامة البيتون[1]

ان إضافة الميكروسيليكا الى عجينة الاسمنت أو البيتون تؤدي الى قابلية تشغيل أقل و يزداد الماء المطلوب بازدياد كمية الميكروسيليكا المضافة الى البيتون بسبب حجم الجزيئات الصغير و السطح النوعي الكبير لها وللوصول الى أفضل أداء للبيتون من حيث المقاومة والمتانة يتم إضافة ملدنات عالية الفعالية أو مخفضات الماء وتحدد كمية هذه الملدنات حسب كمية الميكروسيليكا ونوع الملدن (كل ملدن يتوافق مع نوعيةالميكروسيليكا) كما أن إضافة الميكروسيليكا الى الاسمنت يؤدي الى التقليل من حرارة التفاعل بدون أي تقليل في المقاومة.

إضافة الميكروسيليكا تؤدي الى التقليل من ظاهرة النزف في عجينة الاسمنت أو البيتون الحاوي على ميكرو سيليكا على اعتبار أن طبقة من الماء سوف تتشكل على السطح الأفقي للبيتون العادي ويتم هذا نتيجة هبوط البيتون وارتفاع الماء الى السطح (ظاهرة النزف) وهذ ه المياه تنقل الجزيئات الناعمة مثل الاسمنت والمواد الناعمة في الرمل وتشكل ملاطا على سطح البيتون وبالتالي تتشكل طبقة ضعيفة على سطح البيتون .

تزداد المقاومة على الضغط بنسبة 20%عند إضافة الميكروسيليكا كمادة مضافة بدون أي إضافات .

أما بالنسبة لمقاومة الشد فقد تبين أنه بعد 28 يوم لاتتحسن مقاومة شد البيتون عند إضافة الميكرو سيليكا للبيتون ومع ازدياد نسبة الميكرو سيليكا للبيتون فان مقاومة الشد تبدأ بالتناقص .

يحسن إضافة غبار الميكروسيليكا من الالتصاق بين عجينة الاسمنت و حديد التسليح [4]

5 –الملدنات Superplasticizers :

توجد عموما في صورة سائلة وتضاف الى الخلطة البيتونية بنسب تتراوح من 1–3% من وزن الاسمنت وتوجد الملدنات في السوق تحت أسماء تجارية منها أدكريت – كونبلاست– سيكامنت – ملمينت الخ

وظيفة الملدنات :

1 – تحسين خواص البيتون الطازج وذلك بزيادة القابلية للتشغيل مع ثبات نسبة الماء الى الاسمنت.

2 – الحصول على خرسانة ذاتية الارتصاص.

3 – تحسين خواص البيتون المتصلد وذلك بتخفيض نسبة الماء الى الاسمنت في الخلطة مع ثبات درجة القابلية للتشغيل وبالتالي الحصول على خرسانة عالية المقاومة.

4 – الحصول على بيتون بمقاومة مبكرة عالية.

5 – الحصول على بيتون كتيم عالي الأداء.

6 – الحصول على بيتون بدون انفصال حبيبي.

وهى أهم مكون للحصول على بيتون عالي المقاومة حيث بواسطتها نستطيع خفض نسبة ماء الخلط إلى 0.27 من وزن الإسمنت فقط وبالتالي يمكننا الحصول على أعلى مقاومة ويجب عمل تحقيق وتأكد من مدى توافق هذه المادة مع الإسمنت المستخدم.

تعمل الملدنات على:

1 – تشتيت حبيبات الأسمنت المتكتلة وإطلاق المياه المحبوسة بينها.

2 – إحداث التنافر بين الجزيئات.

3 – العمل على تشحيم الطبقة الرقيقة بين حبيبات الأسمنت.

4 – تأجيل عملية الإماهة السطحية لحبيبات الأسمنت مع ترك المزيد من المياه لتسييل الأسمنت.

5 – تقليل الشد السطحي للمياه.[1]

ب–إنتاج البيتون عالي المقاومة و صبه في المكان:

إن عملية إنتاج و نقل و صب البيتون عالي المقاومة تتم بنفس الطرق المستعملة من أجل البيتون العادي حيث أن كمية الاستهلاك القليلة للبيتون عالي المقاومة في سوق البيتون لا تبرر في الوقت الحالي إنشاء معامل جبل خاصة أو تطوير معدات إكمال مختلفة كما يستعمل للبيتون العادي .

1–تحضيرات ما قبل الجبل:

على الرغم من أن مراقبة جودة المواد المستخدمة في صنع جميع أنواع البيتون أمر هام ، إلا أن ذلك يصبح ضرورة كبيرة الأهمية عند إنتاج البيتون عالي الم قاومة ،فمن الضروري مراقبة نوعية الملدن و التحقق من توافقه مع الاسمنت المستعمل كلما أمكن ذلك بعد ذلك يأتي دور مراقبة التدرج الحبي و شكل الحصويات الكبيرة المستعملة خاصة الحصويات التي تأتي من كسارات و مقالع تستعمل معدات طحن قد

لا تكون صالحة دوماً لإنتاج حصويات ذات نوعية جيدة توافق متطلبات البيتون عالي المقاومة ، كما يجب مراقبة رطوبة الحصويات و خاصة في الشتاء حيث تصبح المراقبة المتقنة لكمية الماء في الرمل و الحصويات أمراً حرجاً و لذلك تسخن الحصويات بالبخار في بعض البلدان الباردة من أجل إذابة الجليد الموجود فيها أو رفع حرارتها و تجفيفها قبل الصب وتجب مراقبة الإضافات الاسمنتية في حال استعمالها من أجل إنتاج البيتون عالي المقاومة.

2-الجبل:

ينتج البيتون عالي المقاومة بنفس المجابل المستعملة لإنتاج البيتون العادي و لكن بمدة جبل أطول و قد تؤدي الاختلافات البسيطة في نسب المواد إلى اختلافات في صفاته ،

فزيادة ماء الجبل بمقدار $3-5L/m^3$ قد تؤدي إلى فقدان في المقاومة بمقدار 10-20Mpa وقد تؤدي زيادة الهبوط إلى الإخلال بالبيتون و انفصال مواده .

إن زمن جبل البيتون عالي المقاومة أطول عادة منه في البيتون العادي ، و تعد لحظة إدخال الملدن اللحظة الحرجة في الجبل ، و توجد حالياً ثلاث طرق تقريبية لتحديد هذه اللحظة :

الطريقة الأولى : و توضع فيها كامل كمية الملدن مع الماء قبل بدء الجبل .

الطريقة الثانية : و يوضع فيها ثلثا كمية الملدن في بداية الجبل و الثلث الباقي في نهاية فترة الجبل .

الطريقة الثالثة : توضع نصف كمية الملدن في المجبل في لحظة الجبل بحيث يغادر البيتون المجبل بهبوط مقداره 100mm ليصل إلى الورشة بهبوط مقداره 50mm و تضاف باقي كمية الملدن في الورشة للحصول على الهبوط المطلوب .

و مهما كانت الطريقة المستعملة لإضافة الملدن فيجب ألا ننسى أنه يجب ألا يزيد هبوط البيتون عالي المقاومة أبداً عن 150mm .

3- مراقبة قابلية التشغيل للبيتون عالي المقاومة:

يعطي مخروط أبرامز في كل تجارب البيتون الرطب صورة واضحة عن لزوجة البيتون بحساب الزمن اللازم لهبوط البيتون بارتفاع 10cm .

كما يجب مراقبة درجة حرارة البيتون الطري لما لها من آثار على لدانته و حالته ، فإذا كانت حرارة البيتون بعد خلطه مباشرة مرتفعة (C 25 <) فإن التميه يحدث بسرعة و قد يصعب جداً التحكم بطراوة البيتون عالي المقاومة لفترة طويلة تكفي لنقله و صبه بشكل سليم إلا إذا غير تركيب البيتو ن بإضافة المبطئات على سبيل المثال . [2]

ج- العائد الاقتصادي والفني من استخدام البيتون عالي المقاومة:

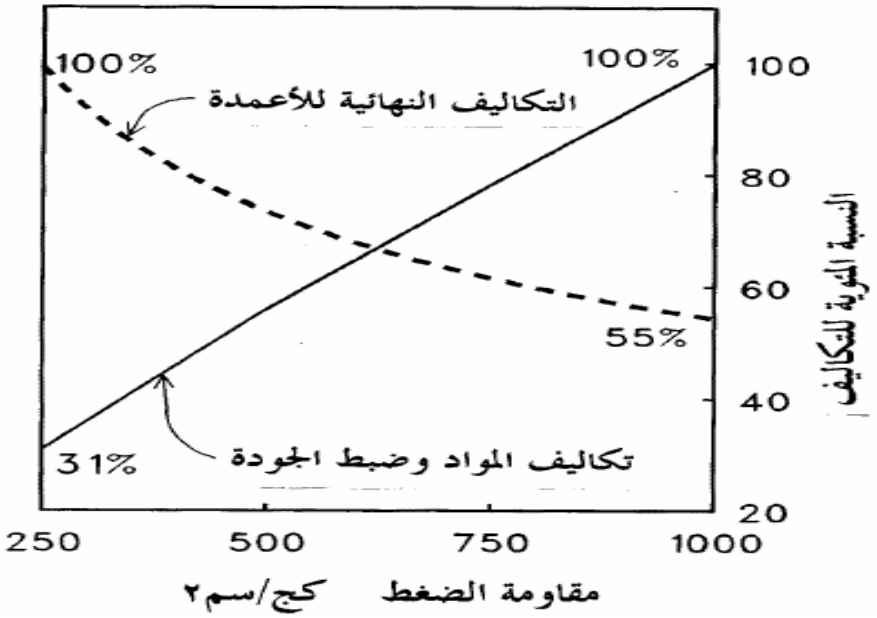
إن البيتون عالي المقاومة يحتاج إلى تكلفة أكثر نتيجة استخدام مواد ذات جودة عالية وكذلك ثمناً للإضافات المستخدمة، وبالرغم من ذلك فقد ثبت عملياً أن استخدام البيتون عالي المقاومة يكون له عائد اقتصادي أو عائد فني كبير بالمقارنة بالبيتون التقليدي.

ولقد تم دراسة هذه النقطة في عدة أبحاث تختص بدراسة العائد الاقتصادي والفني من استخدام البيتون العالي المقاومة في الأعمدة والجوائز.

1- العناصر المعرضة لقوى ضغط مثل الأعمدة:

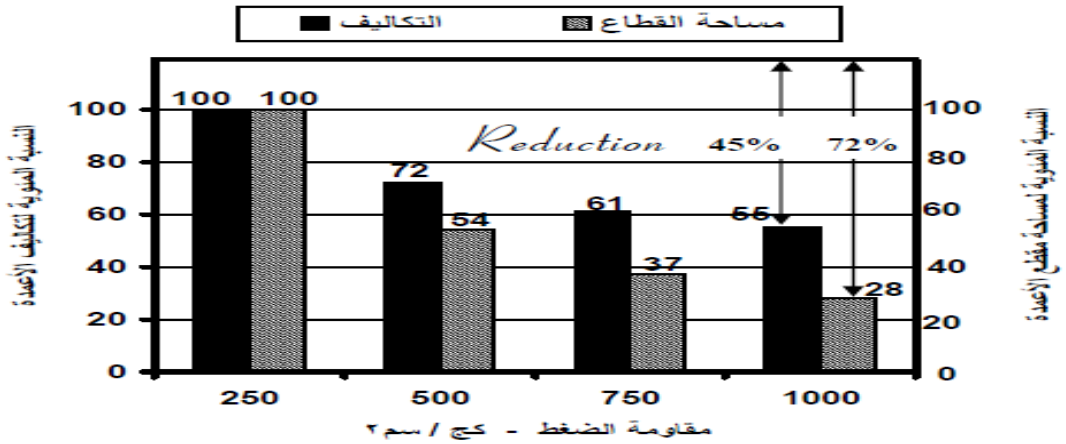
إن العائد الاقتصادي من استخدام البيتون عالي المقاومة في العناصر المعرضة لقوى ضغط مثل الأعمدة تكون أقصى ما يمكن حيث يمكن الاستفادة من ذلك بتوفير التكاليف وفنياً بعمل تخفيض في المساحات والمقاطع على الرغم من زيادة تكاليف المتر المكعب من البيتون العالي المقاومة إلا أن التكاليف النهائية للعمود تقل كثيراً .

فباستخدام بيتون عالي المقاومة مقاومته للضغط 1000 كغ/سم^2 تنخفض التكاليف النهائية للأعمدة حوالي 55% فقط من التكاليف في حالة استخدام بيتون عادي بمقاومة للضغط 250 كغ/سم^2 كما هو مبين بالمخطط (1):



المخطط (1)يبين انخفاض تكاليف البيتون عالي المقاومة مع ازدياد المقاومة[1]

لكذلك يمكن الحصول على تخفيض مساحة المقطع البيتوني بنسبة 72% مع تقليل التكاليف بنسبة 45% اذا تم الوصول الى مقاومة على الضغط للبيتون عالي المقاومة تساوي 1000كغ/سم2 كما هو مبين بالمخطط (2)



المخطط(2) يبين انخفاض أبعاد المقطع البيتوني في أعمدة البيتون العالي المقاومة مع ازدياد المقاومة[1]

في شيكاغو استطاع مصمم Water Tower Place الموضح في الشكل(2) تصغير مقطع الأعمدة في الطوابق السفلى و بالتالي تقليل الحمل الميت للبرج على الأساسات وزيادة ساحة السكن من خلال استخدامه للبيتون عالي المقاومة.

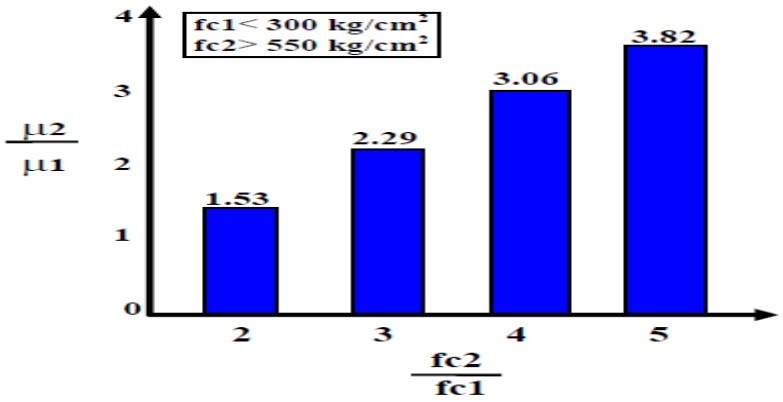
الشكل(2) يبين Water Tower Place برج شيكاغو

2- العناصر المعرضة لعزوم انعطاف مثل الجوائز :

إن استخدام البيتون العالي المقاومة في العناصر المعرضة لعزوم انعطاف مثل الجوائز لا ينتج عنه خفض كبير في التكاليف كما في حالة الأعمدة والفائدة من الناحية الفنية أكثر من الناحية الاقتصادية.

والتي تتحقق فقط عندما يتم تقليل عرض المقطع مع ثبات العمق وثبات نسبة حديد التسليح في المقطع .

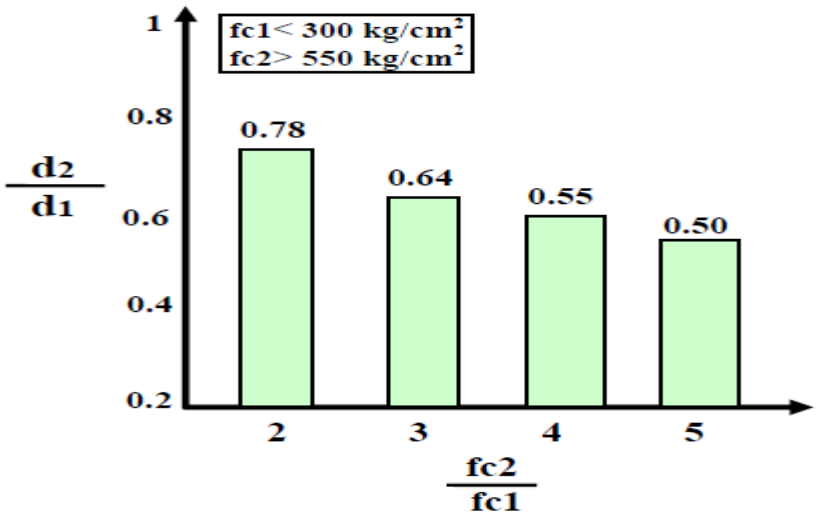
إن استخدام البيتون عالي المقاومة في الجوائز يستلزم زيادة نسبة الحديد الرئيسي حتى نتجنب حدوث انفعال زائد في الحديد وبالتالي نتجنب حدوث شروخ أكثر وأوسع. ولقد وجد أنه عند زيادة مقاومة البيتون إلى الضعف فإن حديد التسليح ينبغي زيادته بنسبة 53% وذلك حتى نحصل على نفس قيمة الانفعال في حديد التسليح كما يبين المخطط(3):



المخطط (3)يبين تأثير البيتون عالي المقاومة على نسبة التسليح الرئيسي في الجوائز[1]

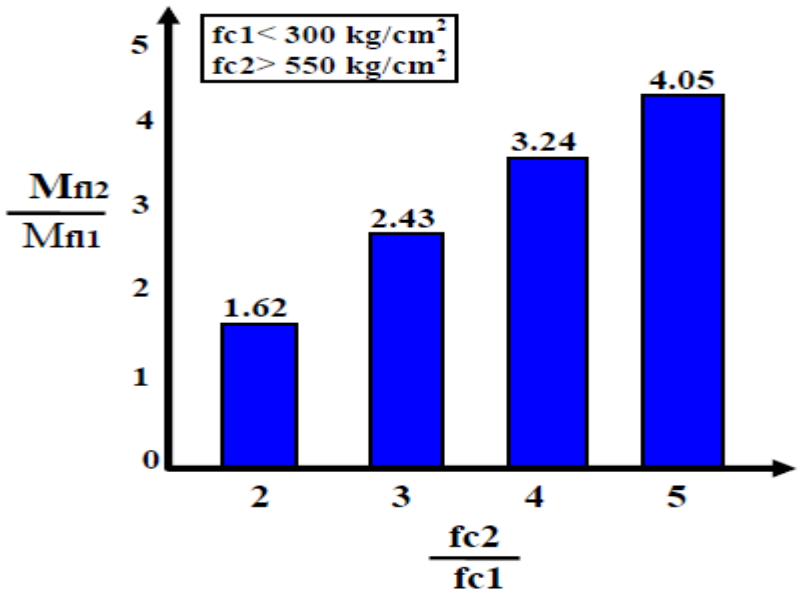
تتحقق الجدوى الفنية من استخدام البيتون عالي المقاومة في الجوائز وذلك بتقليل عمق المقطع .

وجد أنه عند زيادة مقاومة الضغط ثلاثة مرات فإن عمق المقطع يمكن أن يقل إلى36% من العمق الأصلي كما في المخطط (4)التالي:



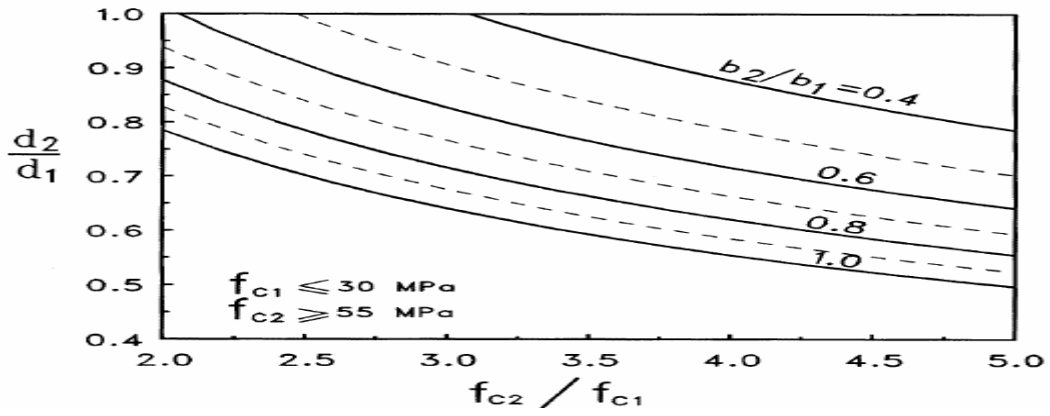
المخطط(4) يوضح انخفاض الارتفاع الفعال للبيتون عالي المقاومة في الجوائز بازدياد المقاومة[1]

ايضا زيادة مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة أربع مرات فإن السعة التحميلية لها تتضاعف 3.24مرة كما يبين المخطط(5)



المخطط (5)يبين تأثير البيتون عالي المقاومة على السعة التحميلية للجوائز[1]

وهناك تأثير للبيتون عالي المقاومة على كلٍ من عرض وعمق القطاع في الجوائز بان واحد كما هو موضح بالمخطط (6) .



المخطط (6)يبين تأثير للبيتون عالي المقاومة على كلٍ من عرض والارتفاع الفعال في الجوائز بان واحد[1]

من عيوب البيتون عالي المقاومة هو أنه أكثر قصافة Brittleness من البيتون التقليدي والانهيار فيه مفاجئ حيث يكون الكسر فيه خلال البحص الخشن وليس حوله كما في البيتون العادي ويمكن التغلب على هذه المشكلة بطرق عديدة منها استخدام الألياف الفولاذية المتنوعة مع البيتون عالي المقاومة والتي تحول ميكانيكية الكسر في البيتون من كسر قصيف مفاجئ وخطر إلى كسر غير قصيف وتدريجي.

1.1.2 الألياف الفولاذية :

1- لمحة عن الألياف الفولاذية:

تمتلك الألياف الفولاذية القدرة على تحسين مقاومة البيتون عالي المقاومة في القص والشد والانحناء والصدم كما أنها تعمل على تقليل اتساع الشقوق وإعادة توزيعها ولكن الألياف لا تؤثر بدرجة كبيرة على مقاومة الضغط، وأهم وظيفة للألياف أنها تزيد من قيمة دليل المتانة للمادة زيادة كبيرة وهي(الطاقة الممتصة من قبل العنصر قبل الانهيار).

وبالرغم من أن الألياف تزيد من مقاومة قوى الشد في الانحناء فليس من الحكمة أن تستخدم الألياف الفولاذية كبديل كلي لأسياخ حديد التسليح[1]

تأثير الألياف الفولاذية أيضا هو الحد من ظاهرة انكماش البيتون فور تصلبه وكذلك الحد من ظاهرة انتفاخ البيتون المعرض للماء مباشرة [6].

تعمل الألياف الفولاذية على تقوية البيتون في كل الاتجاهات ممايزيد في مقاومته على التفتت تجاه قوى الصدم حيث تكون الاجزاء المتفتته صغيرة بالمقارنة مع البيتون العادي .

يمتلك البيتون عالي المقاومةمع الالياف الفولاذية مواجهة أكبر في مواجهة الحرائق من الب يتون العادي كونه يحوي على مواد بوزولانية مثل غبار السيليكا مع الاسمنت ،بينما في البيتون العادي فالكلس الحي الموجود في الاسمنت يتكلس ويعاود الاتحاد مجددا مع الماء مما يسبب الزيادة في الحجم وتشقق البيتون.

2- خصائص الألياف الفولاذية مقارنة مع ألياف مصنوعة من مواد متنوعة:

تتعلق خصائص الألياف الفولاذية بالطول والقطر والكثافة والوزن النوعي وعامل يونغ ومقاومة الشد والجدول التالي(2) يبين خصائص أنواع مختلفة من الألياف مقارنة مع الألياف الفولاذية.

الجدول(2) يبين خصائص أنواع مختلفة من الألياف مقارنة مع الألياف الفولاذية[5]

Fibre type	Specific Gravity	Modulus of Elasticity (GPa)	Tensile Strength (GPa)	Failure Strain (%)
Steel	7.8	200.0	1.0-3.0	3.0-4.0
Glass	2.6	80.0	2.0-4.0	2.0-3.5
Asbestos	3.4	196.0	3.5	2.0-3.0
Nylon	1.1	4.0	0.9	13.0-15.0
Carbon	1.9	380.0	1.8	0.5
Polypropylene	0.9	5.0	0.5	20.0
Polyester	1.4	8.2	0.7-0.9	11.0-13.0
Polyethylene	0.9	0.1-0.4	0.7	10.0
Sisal	1.5	26.5	0.8	3.0
Kevlar	1.5	133.0	2.9	2.6
Wood fibre	1.5	71.0	0.9	-
Cotton	1.5	4.8	0.4-0.7	3.0-10.0
Acrylic	1.1	2.0	0.2-0.4	25.0-45.0
Rayon	1.5	6.8	0.4-0.6	10.0-25.0
Cement matrix	3.15	10.0-45.0	0.003	-

ان خصائص الليف المثلى سواء أكانت :

1-هندسية(طول، قطر، عامل الشكل= L/Ø) .

2- فيزيوكيمائية (خشونة السطح،كثافة، ثبات كيميائي).

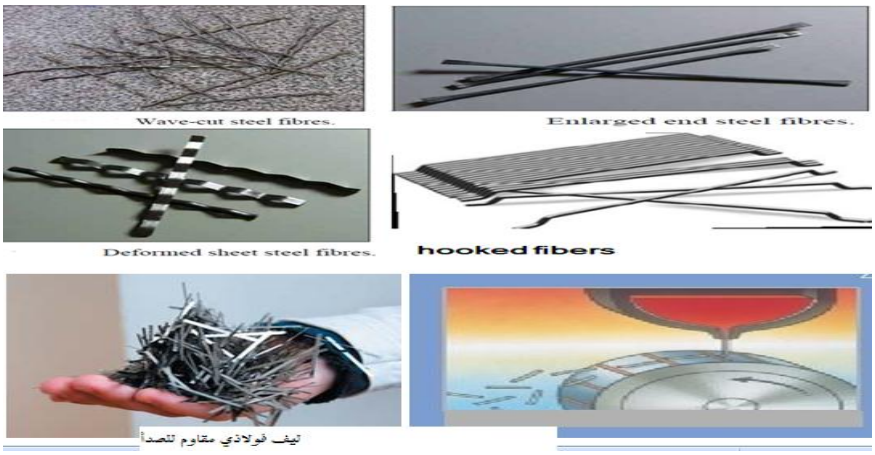
3- ميكانيكية(مقاومة ،متانة،عامل مرونة).

تكمن في القدرة على إحداث زيادة حقيقية في مقاومة البيتون ومتانته في الأمد القريب والبعيد [3]

3-أشكال الالياف الفولاذية:

يوجد أشكال مختلفة للألياف الفولاذية المضافة الى الخلطة البيتونية ولقد تم تصنيعها لتحسين تلاحمها مع الخلطة البيتونية .

ونبين فيما يلي أشكالا مختلفة للألياف الفولاذية الشكل(3):



الشكل (3) يبين أشكالا مختلفة للألياف الفولاذية[5]

يتم تصنيع الألياف الفولاذية إما بفولاذ مطاوع أو فولاذ غير قابل للصدأ وهي على أنواع (مجعدة،نهايات مطروقة،مكسح النهايات.معكوفة.....) وهي بمقطع دائري أو مستطيل أو بمقطع مشوه.

ويمكن أن تصنع الألياف من قشر السلك المسحوب على البا رد لصنع الصوف الفولاذي ،أما الأسلاك المتبقية فهي على ذات مقطع عرضي جزء من دائرة كما يمكن تجعيدها للحصول على ألياف مشوهة.

وأيضا تصنع الألياف الفولاذية على شكل شريط مقاوم للصدأ بعرض يتراوح بين 1-2mm ، وبطول 15-45mmويتم الحصول على هذا الشريط عن طريق صب المعدن المنصهر الذي يبرد على دولاب دوار بسرعة كبيرة مع التبريد بالماء وهذه البنية تعطي لليف مقاومة ميكانيكية عالية بالإضافة إلى المرونة كما أن إضافة الكروم إليها يعزز من مقاومتها ضد التآكل ويمكن الحصول على رقائق نحيفة جدا (حوالي 26 ميكرون) وان مقاومة الألياف على الشد من مرتبة 1800Mpaولها مقاومة جيدة للأحماض والكلوريدات وذلك بسبب احتوائها على الكروم بمعدل أكبر من 5%.

وتصنع الألياف ذات العكفات لتحسين فعاليتها في التقوية إذ تعتمد في عملها على التلاحم بينها وبين المونة الاسمنتية وتستخدم الألياف المتلاصقة بواسطة غراء قابل للانحلال في الماء للحصول على قابلية تشغيل جيدة أثناء الخلط وتوجد بمعدل 25-50 ليف متماسكة مع بعضها على شكل صفائح صغيرة .

أما أبعاد الألياف فيتراوح طولها بين (6ملم– 60 ملم)أما قطرها فيتراوح بين (0.15 ملم – 1.2 ملم) وتتراوح مقاومتها على الشد بين 2400 Mpa ويمكن معالجتها لحمايتها من الصدأ.[3]

4– عامل الشكل L/Ø للألياف الفولاذية:

وهو عبارة عن النسبة بين طول الليف الى قطره ويؤثر تغير هذا العامل بشكل كبير على طرق إضافة الألياف إلى الخلطة البيتونية وعلى طرق الخلط وبالتالي قابلية تشغيل الخلطة البيتونية فعندما يكون:

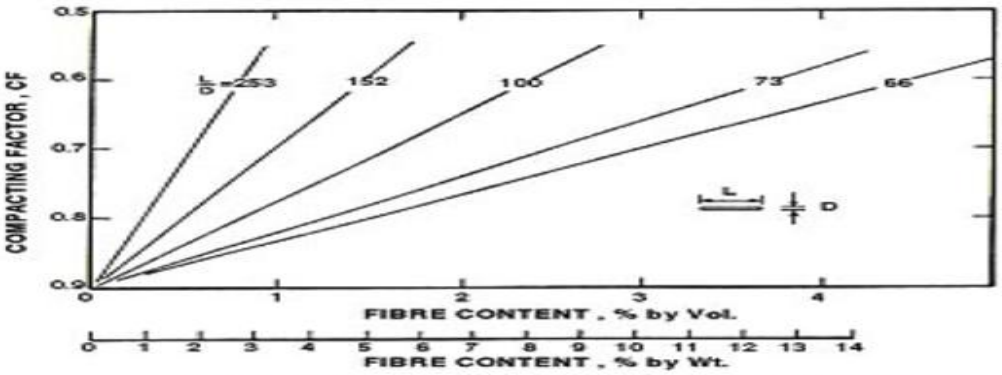
aspect ratio<45 لانحتاج إلى إجراءات خاصة عند إضافة الألياف الفولاذية إلى الخلطة البيتونية.

45<aspect ratio<100 نحتاج إلى إجراءات خاصة عند إضافة الألياف الفولاذية لتسهيل عملية المزج

aspect ratio>100 استحالة الحصول على توزع ملائم للألياف الفولاذية في الخلطة البيتونية مع احتمال تكور الألياف الفولاذية حول بعضها(تعشيش الألياف) .

تتراوح قيمة عامل الشكل عادة بين (25 و100) وتصل أحيانا الى (150) لكن زيادتها تؤثر سلبا على درجة تشغيل الخلطة [3].

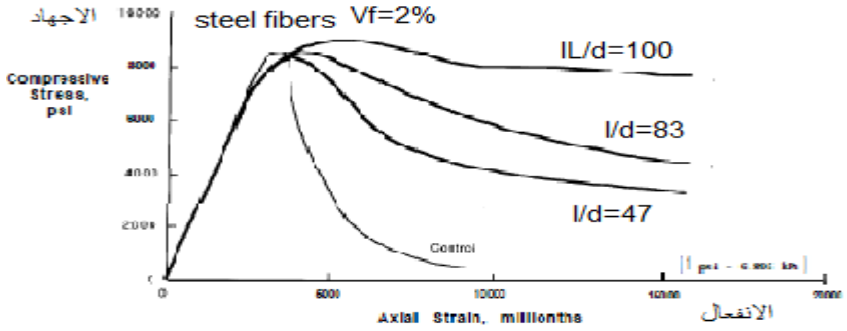
المخطط (7) يوضح تأثير عامل الشكل على قابلية التشغيل اعتمادا على عامل الرص



Effect of fibre aspect ratio on the workability of concrete, as measured by the compacting factor

المخطط (7)يبين تأثير عامل الشكل على قابلية التشغيل مقاسه بعامل الرص للبيتون[9]

كما يبين المخطط (8) تأثير عامل الشكل للالياف الفولاذية على منحني الإجهاد –الانفعال



Influence of the aspect ratio of fibers on the stress-strain curve

المخطط(8) تأثير عامل الشكل على منحني الإجهاد –الانفعال[12]

5-تباعد الألياف:

يجب توزيع الألياف بشكل متجانس في كامل الخلطة فكلما كان التباعد بين الألياف صغيرا كانت النسبة الحجمية كبيرة وبالتالي عدد الألياف في الخلطة كبيرا لهذا يمكن اعتبار التباعد بين الألياف متحول يمكن استخدامه لمعرفة وتحديد خواص البيتون الليفي المدروس.

ويمكن ان نعبر عن فاعلية الألياف في البيتون وهي قياس عدد الألياف بوحدة مساحة المقطع العرضي حيث ان زيادة عدد الألياف بوحدة مساحة المقطع العرضي تزيد فاعلية الألياف في إيقاف وإعادة توجيه التشققات مما يؤدي إلى إمكانية اعتبار العدد المتوسط للألياف بوحدة مساحة المقطع العرضي دليل لفاعلية الألياف في زيادة مقاومة الشد بغض النظر عن توجيه هذه الألياف (لان عدد الألياف بوحدة مساحة المقطع العرضي يؤخذ كتابع لحالات توجيه الألياف).

ويمكن حساب العدد الفعلي للألياف بوحدة مساحة المقطع العرضي من المعادلة التالية:

$$N1=\alpha*Vf/Af$$

Vf النسبة الحجمية للألياف.

Af مساحة مقطع الليف.

α عامل التوجيه.

بما أن الألياف الموزعة بشكل منتظم في كامل الخلطة (منتظمة التباعد) ذات فاعلية أكبر في زيادة مقاومة الشد للبيتون وذلك بإعاقتها لتشكل التشققات المجهرية المفاجئة ومن أجل نتائج مجموعة من الاختبارات التي أجريت لدراسة العلاقة بين مقاومة الشد والقياسات المختلفة لتباعد الألياف تراوحت قيم عامل التوجيه بين 0.6- 0.8 تبعا لنوع الألياف الفولاذية مستقيم أم متموجه.

أقترح العالمان Mngat And Swamy [3] المعادلة التالية للتباعد الفعال بين الألياف الفولاذية

$$\text{Effective Spacing}=25\sqrt{(d/P*L)}$$

d قطر الليف

P=Vf النسبة الحجمية للألياف

L طول الليف[3]

6- توجيه الألياف:

في الحالة العامة تكون الألياف متوضعة بشكل عشوائي بالنسبة للقوة الشادة المطبقة وبناء عليه نلاحظ أننا نضع قضبان التسليح الطولي بالاتجاه والموقع الذي نريده في حين تنشر الألياف الفولاذية بشكل عشوائي ضمن الخلطة البيتونية وقد قدمت العديد من الدراسات لمعرفة وتحديد أثر التوزيع العشوائي

للألياف نذكر منها الدراسة التي تم فيها اختبار عينات من المونة الاسمنتية المدعمة بالألياف الفولاذية بنسبة حجمية Vf=0.5% وتم صب ثلاثة مجموعات من العينات.

1 – المجموعة الأولى : وضعت الألياف باتجاه الحمولة المطبقة.

2 – المجموعة الثانية: وضعت الألياف بشكل عمودي على الحمولة المطبقة.

3 – المجموعة الثالثة: تم توزيع الألياف بشكل عشوائي.

يبين الجدول (3) تأثير توجيه الالياف في البيتون.

الجدول(3)يبين تأثير توجيه الألياف الفولاذية في البيتون[3]

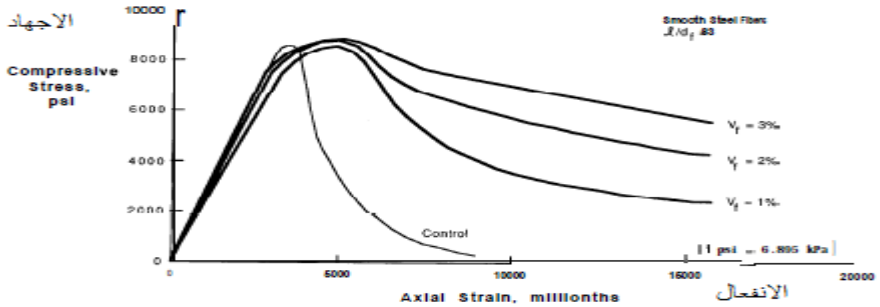
اتجاه الليف بالنسبة لاتجاه القوة	طول الليف L mm	عامل الشكل L/Ø	قوة الشد(N)	الحمولة بعد التشقق (N)	المتانة
موازية	L=25mm	100	4032	1596	1.7
عشوائية			3443	1450	1.3
عمودية			3624	0	1

نلاحظ أن أثر التوجيه للألياف على المقاومة بعد التشقق أكبر منه على الشد إذ تفقد العينات المدعمة بألياف عمودية على اتجاه القوة أي مقاومة بعد التشقق أي ليس للألياف أي دور بعد وصول المونة الاسمنتية إلى مقاومتها على الشد وتشققها في حين تعطي الألياف الموازية للقوة متانة نسبية أكبر بحوالي 30% من المتانة النسبية التي نحصل عليها من الألياف العشوائية ، وتكون مقاومة الشد للعينات العشوائية مساوية لحوالي 85% منها للعينات التي تكون فيها الألياف موازية للقوة[3].

7– النسبة الحجمية للألياف الفولاذية:

ان قابلية التشغيل تنخفض مع ازدياد النسبة الحجمية للألياف(Vf%) والتي تتراوح بين 0.5% إلى 2% وبالتالي نحتاج إلى وسائل خاصة للحصول على درجة تشغيل جيدة للخلطة.

أما تأثير حجم الالياف الفولاذية على مخطط الاجهاد الانفعال فيتبين لنا من خلال المخطط (9)



Influence of the volume fraction of fibers on the compressive stress-strain curve

المخطط(9) تأثير حجم الألياف الفولاذية على مخطط الإجهاد الانفعال[7]

وغالبا ماندرس تأثير إضافة الألياف الفولاذية للخلطة البيتونية بدراسة التأثير المشترك لعامل الشكل L/Ø والنسبة الحجمية للألياف V% باعتبار أن زيادة هذين العاملين يؤديان الى تحسين خواص البيتون.

8 – معدل حجم الألياف الاصغري في البيتون:

ان معدل حجم الألياف الاصغري المثالي في الخليط البيتوني يجب أن يحقق المعادلة التالية:

$$Vcr > \frac{\sigma_{mu}}{\sigma_{mu} + (\sigma_{fu} - \sigma'_{fu})}$$

1 – Vcr معدل حجم الألياف الاصغري المثالي.

2 – σ_{mu} مقاومة الشد القصوى للبيتون.

3 – σ_{fu} مقاومة الشد القصوى للألياف.

4 – σ'_{fu} الإجهاد على الألياف عندما ينهار البيتون بعد التشقق الأول.

بالتعويض

$$Vcr > \frac{\sigma_{mu}}{\sigma_{mu} + (\sigma_{fu} - E_{st}\varepsilon_{cu})}$$

حيث:

1 – E_{st} معامل المرونة للألياف

2 – ε_{cu} الانفعال الحدي للبيتون=0.003

ولدينا

$$\sigma_{mu} = f_{ct} = 0.4 \times (f'_c)^{0.5}$$

حيث :

1 – f'_c المقاومة المميزة لبيتون على الضغط وتؤخذ ب Mpa

2 – f_{ct} مقاومة الشد للبيتون وتؤخذ ب Mpa [5]

1.2الخواص الميكانيكية للبيتون عالي المقاومة المسلح بالالياف الفولاذية

1.2.1 خواص البيتون عالي المقاومة المسلح بألياف فولاذية تجاه اجهادات الضغطوالانعطاف:

تبين الدراسات التجريبية أن إضافة الألياف الفولاذية تحسن مقاومة البيتون عالي المقاومة على الضغط المباشر بنسبة قليلة ، ولكن التحسين يكون واضحا في السلوك اللدن أثناء الانكسار بسبب الزيادة في معدل التماسك والمتانة وغياب ظاهرة الانكسار القصيف للبيتون.

وجد **P.S Songa, S Hwangb2004** [18] أن مقاومة الضغط ومقاومة الشد بالانفلاق وإجهاد الشد بالانعطاف لبيتون عالي المقاومة تتحسن بدرجات مختلفة تبعا لزيادة حجم الألياف الفولاذية في الخليط البيتوني وهذا مايوضحه الجدول (3):

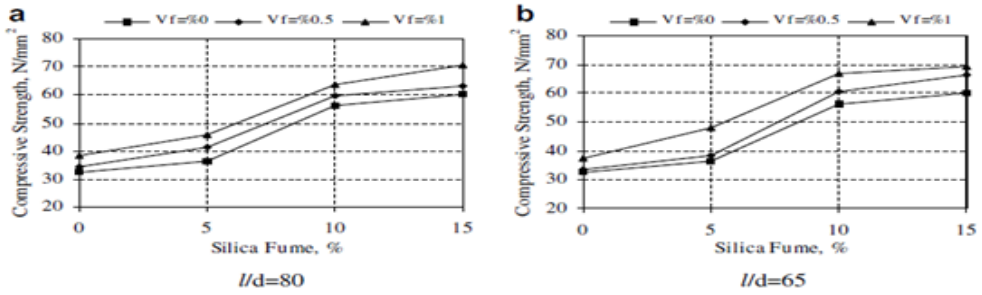
الجدول(10)يبين التحسن في مقاومات الضغط والشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية[19]

Table 1
Strength test results and strength-effectiveness on HSFRC and HSC

Fiber volume fraction (%)	Compressive strength		Splitting tensile strength		bending moment	
	Measured (MPa)	Strength-effectiveness[a] (%)	Measured (MPa)	Strength-effectiveness[a] (%)	Measured (MPa)	Strength-effectiveness[a] (%)
0	85	–	5.8	–	6.4	–
0.5	91	7.1	6.9	19.0	8.2	28.1
1.0	95	11.8	8.7	50.0	10.1	57.8
1.5	98	15.3	10.8	86.2	12.3	92.2
2.0	96	12.9	11.5	98.3	14.5	126.6

[a] Strength-effectiveness = $\frac{\text{HSFRC strength} - \text{HSC strength}}{\text{HSC strength}} \times 100\%$.

وجد **İlhami YiğitYuşa Şahina2008** [19] أن مقاومة الضغط تتحسن مع زيادة غبارالسيليكا وحجم الالياف الفولاذية في البيتون.كما في المخطط(10)



The relations between compressive strength and silica fume content for different aspect ratios.

المخطط(10)يبين التحسن في مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع السيليكا و الالياف الفولاذية[19]

كما ان لشكل الالياف (مستقيمة أو مكسحة) تأثير على الخصائص الميكا نيكية للبيتون عالي المقاومة يبينها الجدول(4)

والجدول (4) يبين مقاومة الضغط والشد بالانعطاف لبيتون عالي المقاومة مسلح بألياف فولاذية مستقيمة وأخرى معكوفة[7].

Comparison of strengths using hooked and straight fibers (7 days).

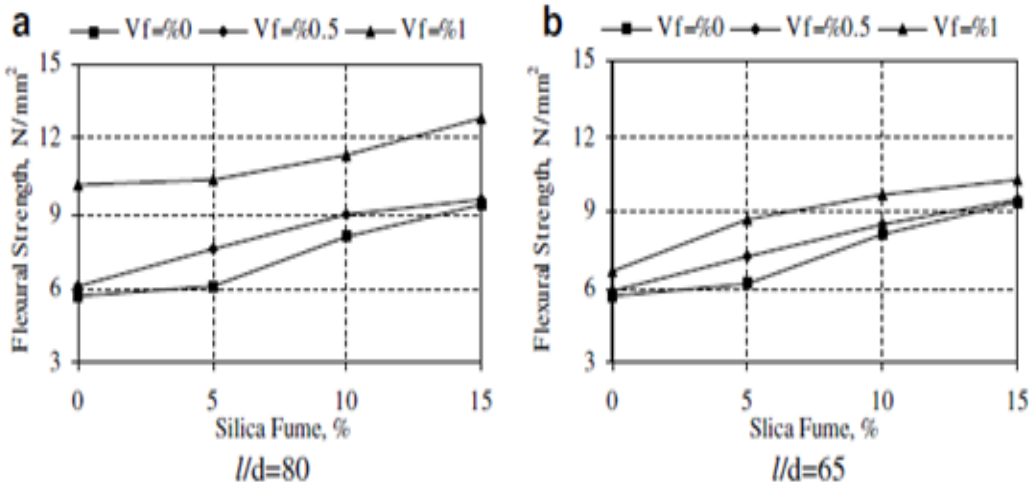
V_f(%)	Compressive Strength		Bending moment		Split Tensile Strength	
	Hooked (MPa)	Straight (MPa)	Hooked (MPa)	Straight (MPa)	Hooked (MPa)	Straight (MPa)
0.0	37.3	37.3	6.15	6.15	3.43	3.43
0.5	35.8	37.0	7.68	6.60	4.21	3.60
1.0	39.1	37.9	9.81	6.97	5.26	4.72
1.5	38.0	39.2	10.20	7.78	5.15	4.91
2.0	38.2	40.8	8.70	8.35	5.15	5.10

أظهرت النتائج تحسن مقاومة الضغط للبيتون مع الالياف الفولاذية المستقيمة كان أكب ر من مقاومة الضغط للبيتون مع الالياف الفولاذية المعكوفة وذلك عند حجم الياف فولاذية 2% في البيتون.

تحسن مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون مع الالياف الفولاذية المعكوفة كان أكبر من من مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون مع الالياف الفولاذية المستقيمة وذلك عند حجم الياف فولاذية 2% في البيتون.

وقد أظهرت نتائج İlhami YiğitYuşa Şahina2008 [19]:

أن مقاومة الشد بالانعطاف تتحسن مع اضافة غبار السيليكا وتزايد حجم الالياف الفولاذية كما في المخطط(11)



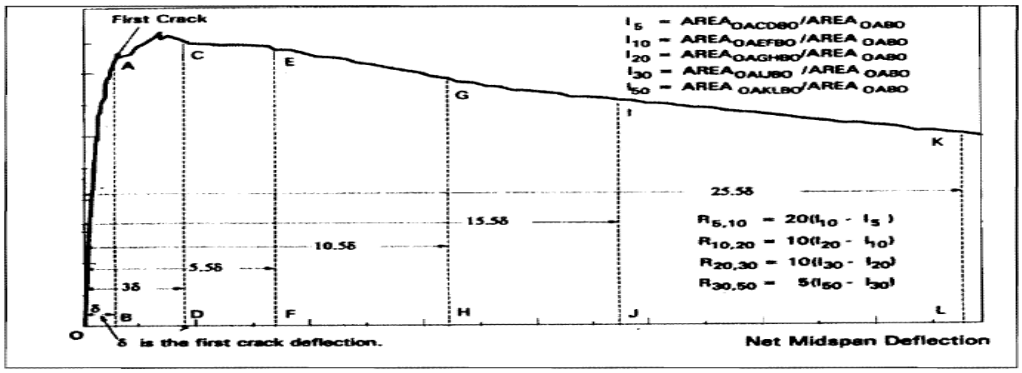
The relations between flexural strength and silica fume content for different aspect ratios.

المخطط(11) التحسن في مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع السيليكا و الالياف الفولاذية[19]

و لمعرفة قدرة البيتون المسلح بالالياف الفولاذية على امتصاص الطاقة عندما يخضع لتشوهات ستاتيكية أو حمولات ديناميكية أو صدم نعرف دليل المتانة من مخطط الاجهاد – الانفعال الذي هو نسبة طاقة انكسار البيتون الل يفي الى طاقة انكسار البيتون العادي ويدل على التحسين في قدرة امتصاص الطاقة(المتانة) الناتج عن إضافة الألياف الفولاذية للخلطة البيتوني.

يتم حساب دليل المتانة وفق النظام ASTM C1018 المساحة الكلية لمخطط الاجهاد – الانفعال لمقاومة الشد بالانعطاف وذلك عند سهم التشقق النهائي مقسومة على المساحة الكلية عند ظه ور التشقق الأول.

والمخطط (12)التالي يبين طريقة حساب دليل المتانة وفق النظام **ASTM C1018**



Schematic Diagram Showing (ASTM C1018) Toughness Parameters

المخطط (12)يبين متحولات دليل المتانة حسب النظام ASTM C1018 [16]

وجد **P.S Songa, S Hwangb2004** [18] أن الألياف الفولاذية دورا كبيرا في تحسين المتانة ،وتؤكد الدراسات أنه يمكن أن نحصل على دليل متانة مضاعف نتيجة إضافة الألياف الفولاذية ولو بنسب حجمية صغيرة وان هذا التحسين في المتانة ناتج عن ازدياد قدرة المادة على امتصاص ونشر الطاقة وزيادة التشوهات اللدنة خصوصا مابعد الشق الأول كما يبينها الجدول(5)

الجدول(5)يبين التحسن في دليل المتانة للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية[18]

Toughness index at various fiber volume fractions

Fiber volume fraction (%)	Toughness index		
	I_5	I_{10}	I_{30}
0	1.0	1.0	1.0
0.5	3.0	4.8	8.2
1.0	3.3	6.2	12.4
1.5	4.2	8.3	17.8
2.0	6.5	11.8	20.6

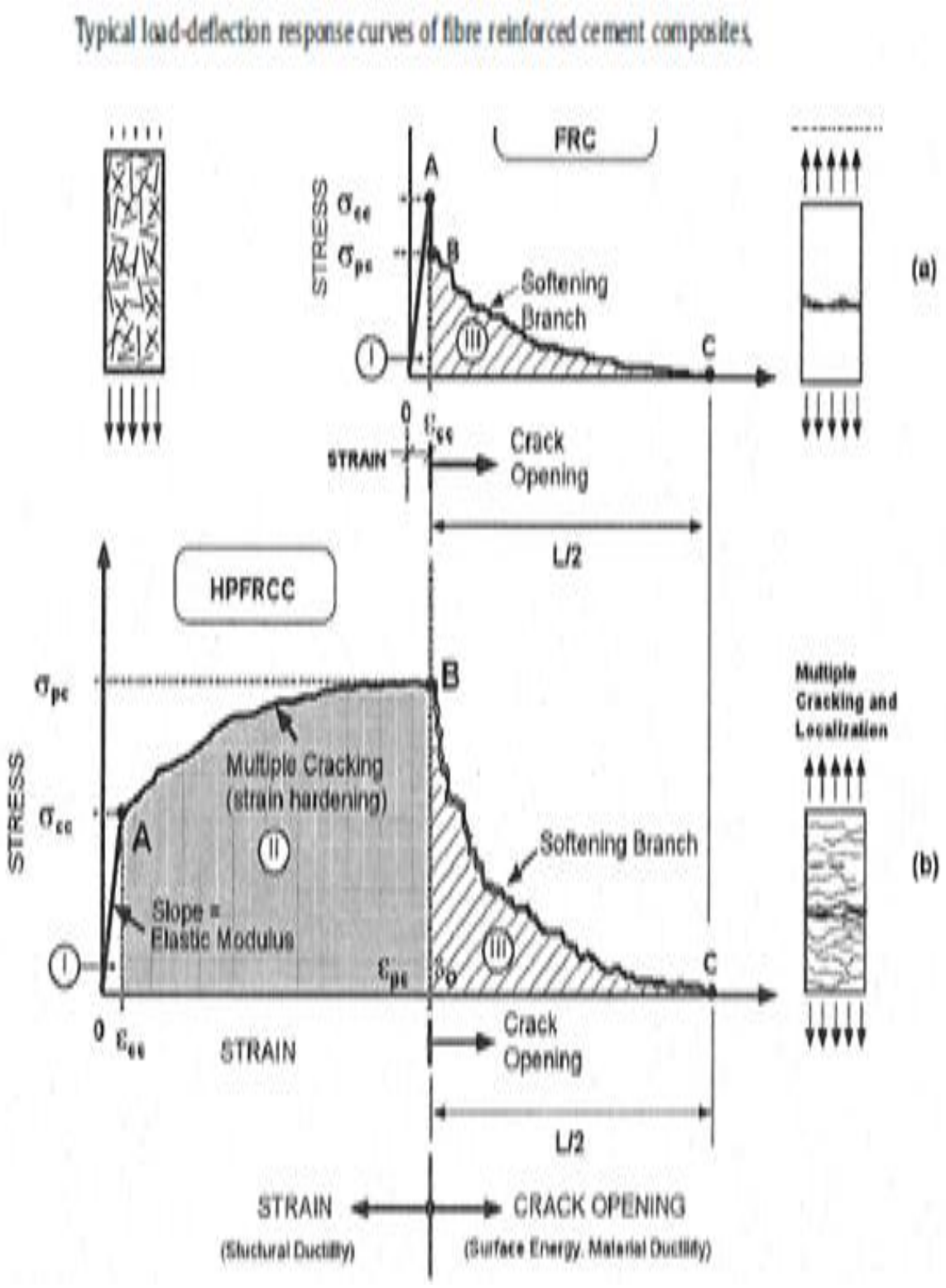
كما يبين الجدول (6)التالي دليل المتانة للألياف الفولاذية المستقيمة والمعكوفة في البيتون عالي المقاومة.

الجدول(6) يبين دليل المتانة للألياف الفولاذية المستقيمة والمعكوفة

Effect of fiber content on the toughness index.

Fiber content (%)	Toughness Index	
	Hooked fibers	Straight fibers
0.0	1.0	1.0
0.5	11.4	9.2
1.0	18.0	11.1
1.5	19.9	13.6
2.0	16.7	16.9

يبين المخطط(13)الطاقةالممتصة من قبل العنصرالبيتوني بوجودالألياف الفولاذية ممثلة بالمساحة(ii) [3]



المخطط (13) يوضح الطاقة الممتصة من قبل العنصر البيتوني بوجود الألياف الفولاذية ممثلة بالمساحة(ii) [16]

1.2.2 خواص البيتون عالي المقاومة المسلح بألياف فولاذية تجاه اجهادات القص:

تظهر العديد من الدراسات المخبرية والأبحاث العلمية أنه يمكن أن تعمل الألیا ف الفولاذية بشكل مشترك مع قضبان التسليح العادي في العناصر الإنشائية . ففي حالة الانعطاف تحسن الألياف كلا من المقاومة والتشوه ، وتجعل الألياف الفولاذية البلاطات والجوائز المصبوبة من البيتون المدعم بألياف فولاذية قادرة على مقاومة اجهادات القص.

أكد العلماء (Spatny,Jenkinse,Baston)[3] أنه يمكن أن تحل الألياف الفولاذية محل الأساور الشاقولية في الجوائز البيتونية المسلحة ،وأن استخدام الألياف الفولاذية بنسب حجمية صغيرة يمكن أن تؤدي الى انهيار الجائز بالانعطاف وليس بالقص عند التحميل بحمولتين مركزتين أي كسر أربعة نقاط.

وأكدت الاختبارات التي أجراها العالم (knab willaiamson)[3] على جوائز من البيتون المسلح والمدعم بنسبة Vf%=1.5 من الألياف الفولاذية ،أن الألياف الفولاذية فعالة في مقاومة قوى القص ،إذ وصلت الجوائز الى مقاومتها التصميمية على الانعطاف ولم تنهار على القص.

ان استخدام الألياف الفولاذية مع أساور التسليح الإنشائي يمكن أن يكون فعالا في زيادة المقاومة والتحكم بالتشققات والتشوهات.

ولتحديد مقدار تاثير الالياف الفولاذية على قدرة التحمل القصوى على القص للجوائز أظهرت التجارب أن العلاقة بين مقاومة الشد بالانعطاف واجهاد القص الاعظمي خطية وتساوي:

$$V(Mpa)=0.517+0.283F(Mpa)$$ [3]

V=اجهاد القص الاعظمي ،F=مقاومة الانعطاف

في المراحل النهائية للتحميل والتي تأخذ عندها الشقوق بالاتساع (تحدث ظاهرة سحب أو قلع الألياف) تزداد مساهمة الأساور في مقاومة القص،في حين تتناقص مساهمة الألياف في مقاومة القص ،وهذا يدل على أن الألياف والأساور تعمل بشكل مشترك في مقاومة القص وأن هناك انتقال للجهود بينهما.

ولقد تبين أن وجود الألياف الفولاذية يقلل من تشوهات القص في كافة مراحل التحميل للجوائز البيتونية المسلحة ويزداد هذا التخفيض بازدياد النسبة الحجمية للأل ياف وبالتالي تعمل الألياف بشكل واضح كتسليح للقص.

تسيطر الألياف على التشقق والسهم في المنطقة المحيطة بالتسليح الرئيسي ، وان دور الألياف لايقتصر على التحكم بالتشققات في منطقة التسليح الرئيسي وتحسين استقرار منطقة الضغط بل تقوم بنقل شكل الانهيار من الشد القطري الى ضغط القص وبالتالي تحقيق ظاهرة الانهيار اللدن بالقص.[3]

1.2.3 خواص البيتون عالي المقاومة المسلح بألياف فولاذية تجاه اجهادات الصدم:

ان تسليح البيتون عالي المقاومة بالالياف الفولاذية يقلل التشققات في هيكل البيتون مما يتيح للبيتون امتصاص اكبر للصدما ت من خلال تحولها من مادة هشة الى مادة اكثر مطيلية ،وان معامل المرونة للبيتون عالي المقاومة المسلح بالالياف الفولاذية ينعكس على مقاومته لاحمال الصدم.

ان اضافة الالياف الفولاذية يحسن من قابلية تطور التشققات من خلال تحجيم التشققات المتكونة . كما أنها تحسن الترابط بين البيتون والتسليح من خلال تقليل الشقوق المتكونة عند اجهادات الانعطاف الحاصلة في حديد التسليح.

ان عينات البيتون غير المسلح والمعرضة لاجهادات ضغط تتشظى وتفتت من اول تشقق يحصل بها، لذا فان الالياف تمسك عجينة البيتون مع بعضها وتقلل تاثير التشظي.

تشير البحوث الى ان البيتون عالي المقاومة بالالياف الفولاذية لايتشظى حتى لوبلغت اجهادات الضغط 10% من قيمتها للبيتون عالي المقاومة بدون ألياف فولاذية وهذا له علاقة بعامل المتانة وان هذه الخاصية مهمة في المنشات المعرضة لاحمال الصدم او الزلازل.

بينت الدراسات التجريبية :

1 –وجود زيادة 20–30 % لمقاومة البيتون على الصدم عند إضافة الألياف الفولاذية للبيتون عالي المقاومة.

2–بينت اختبارات الصدم أن البيتون الحاوي على ألياف فولاذية معكوفة يعطي مقاومة أكبر أقوى بخمس مرات من البيتون الحاوي على ألياف فولاذية مستقيمة حيث أ ن الألياف الفولاذية المعكوفة تمتلك قدرة على امتصاص حمولات الصدم

3–مقاومة الصدم تزداد مع ازدياد النسبة الحجمية للألياف الفولاذية في الخليط البيتوني وخاصة المعكوفة

4–هناك تأثير واضح لإضافة الألياف الفولاذية في العقد الوسطية والطرفية للإطارات المعرضة لحمولا ت زلزالية ومدى قدرة هذه العقد على مقاومة قوى القص نتيجة تقييد هذه الألياف للبيتون [3].

1.2.4 تصميم الخلطة البيتونية عالية المقاومة:[1]

تتميز الخلطات البيتونية عالية المقاومة بوجود عدد كبير من المواد التي ينبغي اختيار الكميات والنسب المثلى منها للوصول إلى بيتون ذات خواص مرغوبة خاصة من ناحية القابلية للتشغيل والمقاومة والمتانة .

وتصميم الخلطات البيتونية عالية المقاومة يعتمد على نوعية وجودة المواد بدرجة أكبر من اعتماده على نسب الخلطة.

1- يتم تقدير كميةغبار السيليكا في الخلطة البيتونية تبعا لمقاومة الضغط للبيتون وفق الجدول(6)التالي:

الجدول(6)يبين نسبة غبار السيليكا في الخلطة البيتونية تبعا لمقاومة الضغط للبيتون.[1]

مقاومة الضغط للبيتون Mpa	نسبة غبار السيليكا المضاف كنسبة من وزن الاسمنت %
70-80	5--10
80-90	15--15
90-100	15--20
>100	20--25

2-يتم تحديد نوع الاسمنت المستخدم تبعا لموقع العنصر البيتوني مثلا في حال الاساسات على تربة تحوي الجبس يجب استخدام اسمنت مقاوم للكبريتات وبصفة عامة فإن كفاءة مادة غبار السيليكا تكون أكبر في حالة استخدام الإسمنت البورتلانديعلى نوع اخر.

والجدول(7)التالي يبين نسبة غبار السيليكا المضافة كنسبة مئوية من وزن الاسمنت.

الجدول(7)يبين نسبة غبار السيليكا المضافة كنسبة مئوية من وزن الاسمنت[1]

كمية الاسمنت Kg/m3	نسبة غبار السيليكا المضاف كنسبة من وزن الاسمنت %
475	5--15
450	15--20
500	لايوجد غبار سيليكا

3-يتم اختيار نوع الملدنات Superplasticizers بحيث يكون من النوع المطابق للمواصفات الأمريكية ASTM C494 Type F.يمكن فرض نسبة الملدنات (Superplasticizers) طبقاً لمقاومة الضغط المطلوبة وذلك بعد عمل اختبار تأكيدي على خلطة تجريبية صغيرة للتأكد من توافق المادة مع الأسمنت المستخدم والحصول على المقاومة و القابلية للتشغيل المطلوبتين

يبين الجدول (8) التالي نسبة الملدنات كنسبة من (وزن الاسمنت وغبار السيليكا تبعا للمقاومة المطلوبة).

الجدول(8)يبين نسبة الملدنات كنسبة من (وزن الاسمنت وغبار السيليكا) تبعا للمقاومة المطلوبة[1]

مقاومة الضغط لبيتون Mpa	نسبة الملدنات كنسبة من (وزن الاسمنت+غبار السيليكا)%
40-50	1-1.5
50-60	1.5-2
60-70	2-2.5
أكبر من 70	2.5-3.5

4-يتم استخدام البحص القوي الذي لايتجاوز أبعاد حباته عن 20mm ذو تدرج منتظم في الخلطة البيتونية إذا كانت مقاومة الضغط المطلوبة لاتتجاوز 75Mpa أو 80Mpa وفى حالة بيتون بمقاومة أكبر من ذلك فمن الضروري استخدام مواد حصوية ناتجة عن تكسير حجارة قوية مثل (الدولوميت أو الغرانيت.)وتفرض النسبة بين البحص والرمل وفقاً لأي طريقة للبيتون العادي مثل طريقة فولبير - تومسونFULLER- THMPSON لاخذ أوزان المواد الحصوية الحسوانية والرمل الفراتي حيث يعطى المنحني الحبي المفضل لخليط المواد الحصوية الداخلة في تركيب البيتون وفق العلاقة التالية:

$$P\,\% = 100\sqrt{\frac{d}{D}}$$

حيث D القطر الاعظمي للمواد الحصوية

Dالقطر الموافق لاي نسبة مئوية مارة p%

من أجل قطر أعظمي (D) تأخذ علاقة فولبير -تومسون الشكل التالي:

$$K = \frac{100}{\sqrt{D}} \quad \text{حيث} \quad P\% = K\sqrt{d}$$

5-تفرض نسبة الماء الى المواد الاسمنتية (اسمنت +غبار سيليكا) من المعادلة التجريبية التالية : مع مراعاة أن w/c>=0.22 علماً بأن هذه المعادلة مستنتجة على أساس بيتون يحتوى على ملدنات وتعطى خلطة لدنة القوام هبوط المخروط 8- 10 cm .

وقد تم استنتاج هذه المعادلة بتحليل نتائج أكثر من 150 خلطة بيتونية ذات.مقاومة تتراوح من 500 إلى1100 كغ/سم2

$$w/cm = \frac{\log\left\{\frac{\alpha\,(1000 - C - SF)}{f_c}\right\}}{3.0 * \log(\beta)}$$

w/cm النسبة بين وزن الماء ووزن المواد الأسمنتية (الأسمنت + غبار السيليكا).

fc هي مقاومة البيتون كغ/سم ^{2} .

C هي وزن الأسمنت في المتر المكعب من البيتون كغ .

SF هي وزن غبار السيليكا في المتر المكعب من البيتون كغ.

αعامل يتوقف على نوع البحص المستخدم ويساوى.

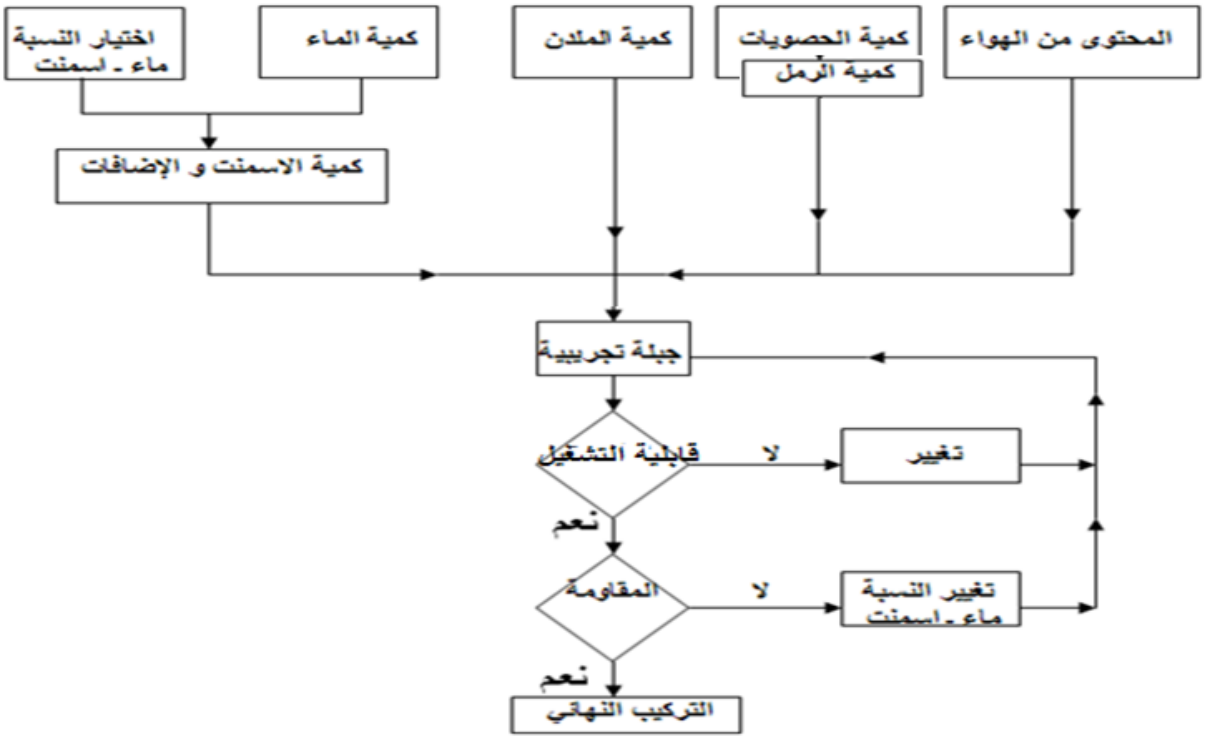
للزلط	الغرانيت	الدولوميت
13	14	15

β عامل يؤخذ(13-12-10.5) اسمنت (بورتلندي-مقاوم للكبريتات-فائق النعومة)بالترتيب

حدود هذه الطريقة تكمن فيمايلي:

- ✓ إذا لم نحصل على المقاومة المطلوبة على الضغط و أظهر سطح انكسا رالعينة وجود شقوق كثيرة في الحصويات، فهذا دليل على أن الحصويات لم تكن مقاومة بشكل كاف.
- ✓ إذا أظهر سطح الانكسار انخلاع عدد من الحصويات الكبيرة فهذا يعني أن سطح الحصويات الكبيرة ناعم جدا أو متسخ و بالتالي يجب استبدالها بحصويات أخشن وأنظف.
- ✓ إذا بدأ الانكسار في منطقة العجينة الاسمنتية حول الحصويات فيكفي تخفيض نسبة ماء الى الاسمنت للحصول على بيتون ذو مقاومة أعلى باستخدام نفس الحصويات.
- ✓ إذا لم نحصل على الهبوط المطلوب للبيتون فيكفي أن نضيف كمية من الملدن و إذا حصل هبوط بطيئ في البيتون فيمكن أن نزيد كمية الماء أو أن نستبدل الملدن المستعمل بملدن آخر يكون أكثر فعالية مع الاسمنت.
- ✓ إذا لم تكن قابلية تشغيل البيتون مناسبة فإما أن يكون تدرج الحصويات سيئا فنقلل كميةالحصويات الكبيرة أو أن الملدن لا يتوافق مع الاسمنت فنستبدل الملدن أو الاسمنت أو الاثنين معا[3]

ويمكن الاعتماد على المنهجية التالية في تحديد نسب مكونات خلطة البيتون عالي المقاومة[4] :



1.3استخدامات البيتون عالي المقاومة المسلح بالالياف الفولاذية

يعتبر البيتون عالي المقاومة المسلح بالالياف الفولاذية احدى المجالات الحديثة التي تعنى بتحسين ديمومة الخرسانة اذ اثبتت البحوث ان تقنية استخدام الالياف الفولاذية للتسليح هي افضل وسيلة للتعويض عن الحديد والمشبكات الحديدية حيث تحسن الالياف الفولاذية من مطيلية ومتانة البيتون وتقلل من قابلية التشقق ومقاومة الحرائق وديمومة البيتون .

إن مجال الاستخدام يكمن في المنشآت التالية:

1.3.1 حاويات النفايات النووية والدارات الكهربائية والتي يتم دفنها في باطن الأرض .

الشكل (4) يبين حاويات النفايات النووية والدارات الكهربائية[11]

1.3.2الطرق:

ان أهم أشكال العجز التي نلاحظها في بلاطات الرصف الصلب للطرق هي :

1-التقشر (Scaling) :التفتت والتفسخ في البلاطة البيتونية

2-شقوق الانكماش :وهي الشقوق العشوائية التي تنشا في البلاطة نتيجو لانكماش البيتون أثناء فترة تجمده وتصلبه

3-شقوق التقلص :وهي الشقوق العرضانية المتعامدة مع محور الطريق

4-صعود الطين:خروج طين الطبقات السفلى عبر الفواصل أو شقوق البلاطات البيتونية خلال الحركة الشاقولية للبلاطة نحو الاسفل أو الاعلى وتظهر مباشرة بعد الهطول المطري

5-الشقوق الانشائية:تظهر عندما يكون هناك ضعفا في سماكة الرصف وبالتالي ظهور اجهادات شد وضغط ناتجة عن انعطاف البلاطة أكبر من الحد المسموح.

6-تشظي الفواصل :عبارة عن انهيار اطراف البلاطة وتحولها الى شظايا قرب الفواصل[17]

تلك الاسباب دعت الى التفكير في أن تكون بلاطة الرصف الصلب من البيتون عالي المقاومة المسلح بالالياف الفولاذية للتغلب على جميع المشاكل التي تواجه بلاطات الرصف الصلب في الطرق

الشكل (5) يبين استخدام البيتون الليفي في الطرق[5]

1.3.3 مهابط الطائرات.

تصمم مهابط الطائرات في المطار من البلاطات بيتونية ويجب أن تقاوم الجهود المماسية وجهود القص وتؤمن الكتامة اللازمة ومقاومة للحرارة والزيوت المتسربة على ارض المطار.

غير ان وجود الفوصل في البلاطات البيتونية يشكل نقاط ضعف فيها ، وبالتالي تتطلب صيانة مستمرة للفواصل ، اضافة إلى الصعوبة في اصلاح الشقوق ورفع البلاطة المتكسرة ، ووضع اخرى مكانها . لذا يفضل ان تغطى الممرات والساحات ونهايات المهابط ببلاطات بيتونية عالية المقاومة مسلحة بالياف فولاذية لمقاومة الجهود الناتجة عن الحمولات اثناء الوقوف او الكبح او الدوران والحد من فواصل الصب في البلاطات والحد من التشققات وتكاليف الصيانة الدورية عند الاستثمار كما أنها تحتاج لسماكة أقل من تلك السماكة المطلوبة للبيتون العادي من 150 cm – 90 على الاقل .

Airport Runway

الشكل (6) يبين استخدام البيتون الليفي في الرصف الصلب لمهابط الطائرات[5]

1.3.4 صيانة قنوات تصريف المياه :

المونة الإسمنتية الحاوية على الألياف الفولاذية ذات مقاومة ميكانيكية عالية بالإضافة إلى أنها مقاومة للتآكل لذا تستخدم في صيانة قنوات تصريف المياه .

Drainage channel repair with shotcrete fibre reinforced located in Bankstown, Australia. (Source: Novocon, 2000)

الشكل (7) يبين استخدام البيتون الليفي في صيانة قنوات تصريف المياه[5]

1.3.5 الكتل البيتونية المستخدمة ككواسر للأمواج:

كونها تعزز المقاومة ضد التآكل الشديد والاحتكاك الناتج عن صدم الحطام الضخم المحمول على سطح الماء.

تكون الالياف الفولاذية في المنشات البحرية غير معرضة للصدأ وتعطي مقاومة انعطاف مساوية لمقاومة انعطاف الحديد(Raithby et al.,1981). كما انها تعطي ترابط جيد مع البيتون وتساعد في حل مشكلة تكون الشقوق في وقت مبكر بحيث انها تمنع (80-100)% من الشقوق في مرحلة اللدونة للخرسانة(plastic state) والتي تحصل بها معظم التشققات، حيث تعمل الالياف بثلاث اتجاهات. كما انها تزيد قابلية انفعال الشد للبيتون خلال مرحلة الانكماش اللدن(Hanant, 1983) [21]

الشكل (8) يبين استخدام البيتون الليفي في الكتل البيتونية[5]

1.3.6 القذف بالبيتون العالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية(Shortcrete):

عبارة عن رش البيتون على أسطح غير منتظمة أو غير مستوية وهي طريقة بديلة للصب حيث يمكن عمل القذف في أماكن صعبة مثل تبطين القنوات المائية وفي استقرار وتثبيت المنحدرات وفي ترميم وإصلاح المنشآت البيتونية وصيانة الجسور ويحتاج هذا الأسلوب إلى عدة اشتراطات لتنفيذه تتعلق بجودة البيتون وفعاليته للقذف(تلاحم جيد بين مكوناته) وزمن شك وزمن تصلب سريعين بالإضافة إلى المقاومة العالية والديمومة في ظروف بيئية قاسية ومنع التشققات الخارجية التي تؤدي الى تصدع البيتون نتيجة احتواء البيتون على الألياف الفولاذية .

استخدمت هذه الطريقة في تطبيقات تدعيم التربة وتثبيت المنحدرات الصخرية في عام 1974م على طول نهر (Snake) في ولاية واشنطن

بالاضافة الى أعمال الاصلاح وقنوات الصرف والانفاق كما يبين الشكل(9).

الشكل (9) يبين استخدام البيتون الليفي في Shortcrete [5]

1.3.7 الأرضيات الصناعية :

كون هذه العناصر لها سطوح ذات مساحات كبيرة ومكشوفة وتتعرض سطوحها للحركة المضطربة عليها كان لابد من استعمال البيتون عالي المقاومة المسلح بالالياف الفولاذية لمنع التشققات الحاصلة فيها وامكانية تحمل أكبر للحمولا ت التي معظمها تكون ديناميكية بالاضافة الى الديمومة الكبيرة وتكاليف الصيانة الاقل . يبين الشكل (10)نموذجا من البلاطات في الارضيات الصناعية

Heavy duty slabs

الشكل (10) يبين استخدام البيتون الليفي في الأرضيات الصناعية[5]

1.3.8.استخدام البيتون عالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية في مقاطع إنشائية متنوعة :

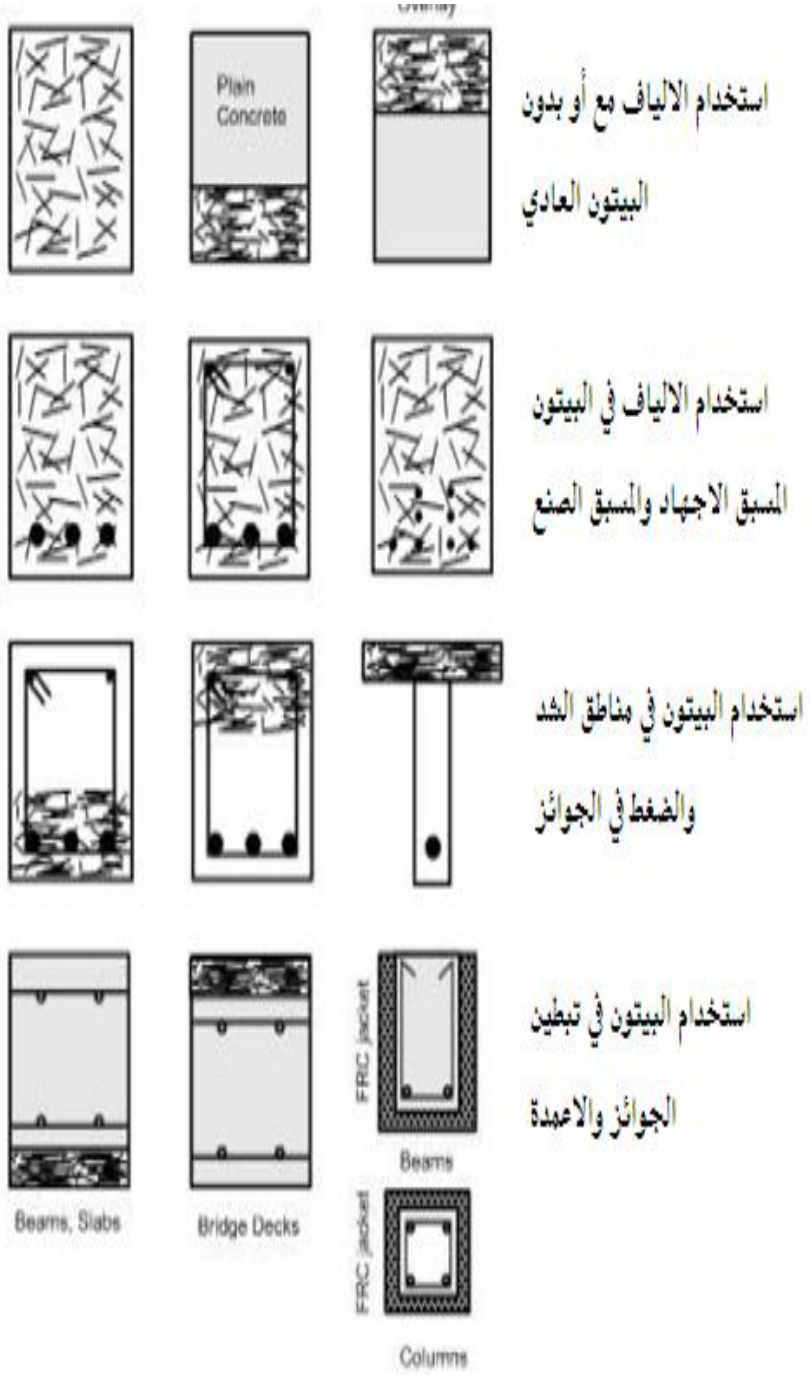
ان الاداء العالي للالياف الفولاذية ياتي من قدرتهاعلى توفير اداء جيد ولعمر طويل وان شكلها المتموج يساعد في توفير ربط جيد مع الخرسانة (Raithby et al.,1981)[211]. كما أن قوة الشد الكبير الذي تتمتع به الالياف الفولاذية يوفر للبيتون مستوى اعلى من المتانة وامتصاص الطاقة والديمومة.

اضافة الى السيطرة على حدوث التشققات دون الخوف من مشاكل الصدأ المرافقة لحديد التسليح(Takemoto, 1984)[211]

كما أن حركة العمال فوق السطوح البيتونية من شانه ان يدفع نظام التسليح التقليدي للاسفل ف ي البيتون بحيث يستقر التسليح في موقع يصبح به غير ذي فائدة . اما الالياف فهي تضاف مباشرة للخرسانة وتنتشر خلالها والنتيجة نظام تسليح سريع دقيق وامين .

ان الاجهادات المبكرة التي تتعرض لها المنتجات البيتونية المسبقة الصب يمكن السيطرة عليها باستخدام الالياف الفولاذية حيث انه في مثل هذه المنتجات تتعرض الخرسانة لاجهادات تؤدي للشقوق المجهرية والتي تنمو فيما بعد خلال العمر الخدمي للمنشأ . وتعتبر الالياف الحل الامثل لمثل هذه المشكلة ح يث تقيد تكون الشقوق في الوقت الذي لا يستطيع الحديد او المشبكات الحديدية بالسيطرة عليها. [21]

يستخدم البيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية كبيتون مسبق الصنع والاجهاد وفي مناطق الضغط والشد في الجوائز بالإضافة الى تبطين الاعمدة والجوائز كما في الشكل(11)



الشكل (11) يبين استخدام البيتون الليفي في مقاطع إنشائية متنوعة[16]

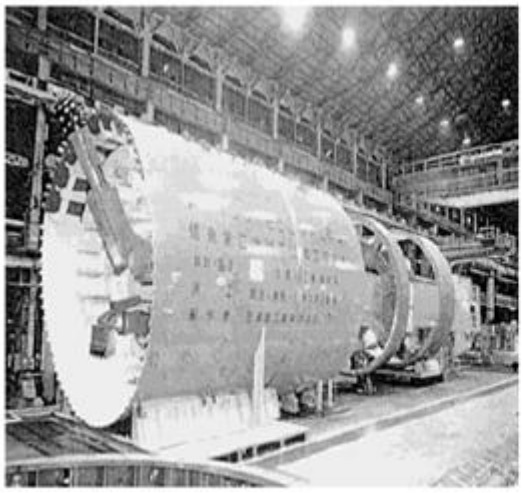
1.3.9 تبطين أنفاق السكك الحديدية:

يزيد استخدام الالياف الفولاذية التلاصق في تطبيقات البيتون المقذوف (shotcrete) بحيث تساعد في اضافة طبقات بيتونية اسمك دون الخوف من حدوث التشقق او التاكل(Mindess et al.,1989) [21]

طور اليابانيون تكنولوجيا التبطين م ن خلال قذف البيتون (ELC)(أو تكنولوجيا تبطين البيتون بطريقة القذف)(Extruded concrete lining) من أجل أنفاق السكك الحديدية والمترو تحت الأرض التي يتم فيها حفر الأنفاق وتبطين الجدران بان واحد والنتيجة إنشاء الأنفاق بأمان وبسرعة مثالية وباقتصاد في الكلف وباضطراب اصغري لبيئة المدينة بالإضافة إلى أن هذه الطريقة تقلل العمالة وتخفف من شروط العمل القاسية

تم اختيار البيتون العالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية كمادة لألواح التبطين التي يجب أن تتوافق مع مخطط الحفر للجدار الصخري لتقليل سماكة البطانة ومقاومة حمولات الانعطاف .فمثلا نفق السكك الحديدية في اليابان ذي قطر داخلي بقيمة 7.6 م وسماكة بطانة 0.4 م تم استخدام بيتون عالي المقاومة الحاوي على 1% من الألياف الفولاذية المستقيمة بقطر 0.6 ملم وبطول 25 ملم [11].

ويبين الشكل(12) طريقة تبطين أنفاق السكك الحديدية في اليابان باستخدام البيتون المقذوف الحاوي على الياف فولاذية .



الة الحفر ECL boring/lining machine.

ECL in Ojiya Headrace tunnel.[13]

الشكل (12) يبين استخدام البيتون الليفي في تبطين أنفاق السكك الحديدية باستخدام آلية الـ(ECL) في الحفر والتبطين[11]

بناء على ماتقدم نهدف الى تسليط الضوء على البيتون عالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية من خلال

1-إجراء دراسة تجريبية حول البيتون العالي المقاومة (من الاحضارات المحلية في حلب) المسلح بالألياف الفولاذية (المصنعة محليا) والمقارنة مع نتائج تجريبية مماثلة استنادا لأهم الكود ات العالمية.

2-تفعيل دور البيتون العالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية في دراسات المشاريع الهندسية في سوريا لاستخدامه في تطبيقات محلية متنوعة .

3-متابعة أبحاث تطور تكنولوجيا صناعة البيتون العالي المقاومة مع الألياف الفولاذية بهدف مواكبة تطور ماهو جديد في تكنولوجيا صناعة الإنشاء.

4-دراسة الأثر الاقتصادي لاستخدام البيتون العالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية من خلال دراسة وتصميم مشروع يعكس الوفر الاقتصادي من خلال إدخال أثر مقاومة الضغط والشد في البيتون المسلح بألياف فولاذية بعين الاعتبار عند دراسة العناصر البيتونية بالإضافة الى التخفيض في كلفة الصيانة والاستثمار على المدى البعيد نظرا لديمومة العنصر البيتوني المسلح بألياف فولاذية.

الفصل الثاني

مواد البحث وطرائقه

Materials & Methods

تشمل الخواص الميكانيكية للبيتون تعيين مقاومة البيتون تبعا للحمولات الخاضعة لها وفي هذا البحث سندرس تعيين مقاومة البيتون عالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية على الضغط و الشد بالانعطاف.

2.1 المواد المستخدمة في البحث:

1- مواد حصوية حسوانية:

المواد الحصوية ذو تدرج منتظم ومقاس أعظمي للحبات 16mm

2- الرمل : تم استخدام الرمل النهري الفراتي الطبيعي .

الشكل(13) التالي يبين نوع البحص الحسواني والرمل الفراتي

.

الشكل (13)يبين نوع المواد الحصوية والرمل المستخدم في البحث

3- نوع الاسمنت:

الاسمنت المستخدم TSEN197-1CEM-I42.5R نوع تركي بمواصفات مبينة بالجدول(9)

الجدول(9)يبين مواصفات الاسمنت

Chemical Properties	Our Decleration	Standard	Unit
SiO2	20,05		%
Fe2O3	3,71		%
Al2o3	4,95		%
CaO	62,74		%
MgO	1,06	Max 5,0	%
SO3	2,68	Max 4,0	%
Loss On Ignition	2,33	Max 5,0	%
Insoluble Residue	0,56		%
Free Lime	0,95		%
Alkali Equivalent (Na2O type)	0,67		%
Total Addivite	3,83		%

Physical Properties	Our Decleration	Standard	Unit
Setting Time (Initial)	170	Min 60	minute
Setting Time (Final)	280	-	minute
Spesific Gravity	3,144	-	g/cm3
Expansion	1,0	Max 10	mm
Strenght for 2 days	27,0	Min 20	N/mm2
Strenght for 28 days	51,5	42,5-62,5	N/mm2

4-نوع الميكرو سيليكا MICRO SILICA –GRADE940–EU: تحتوي على 90.9% من سيليكات ثنائية الكالسيوم (SIO2) كما يبينها الشكل(14)

الشكل (14)يبين غبار السيليكا المستخدم في البحث

5-نوع الملدن:

EUCOPLAST 150 high performance super plasticizer

ملدن بشكل سائل، لونه بني داكن ،كثافته 1.185كغ اليتر كمايبينه الشكل(51)

الشكل (15)يبين نوع الملدن المستخدم في البحث

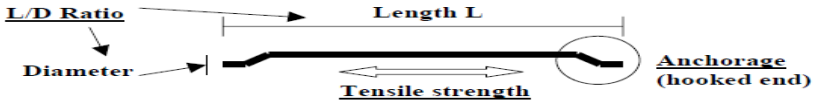
6-الألياف الفولاذية:

تم استخدام نوعين من الألياف الفولاذية

1 – Kemerix النوع الأول ألياف مكسحة صنعت في تركيا بالمواصفات التالية التي يبينها الجدول رقم(10)

الجدول (10)يبين مواصفات الألياف الفولاذية المكسحة المستخدمة في البحث

Length *l* (mm)	Diameter *d* (mm)	Aspect ratio *l/d*	Density (g/cm^3)	Tensile strength (N/mm^2)
60	0.75	80	7.8	1050



The 3 important parameters of a steel fiber

حيث تكون الألياف على شكل حزم متلاصقة بمادة صمغية تذوب بالماء أثناء الجيل مما يزيد قابلية التشغيل في الخلطة البيتونية والشكل(16) يبين شكل الألياف الفولاذية المستخدمة في البحث

(16)يبين شكل الألياف الفولاذية المكسحة

2 – النوع الثاني ألياف فولاذية مجعدة :صنعت في سوريا – حلب –المدينة الصناعة نتيجة سحب الأسلاك ونفشها لصنع الصوف المعدني.

مواصفات الألياف تم قياسها في مخابر كلية الهندسة الميكانيكية جامعة حلب:

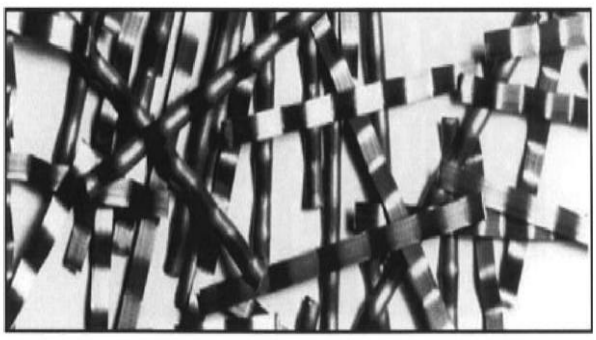
1 قوة الشد =1.7kN

2 أبعاد المقطع=0.9*2.88mm

3 الوزن النوعي=$7.85ton/m^3$

4 مقدار الاستطالة = 0.26mm

ويبين الشكل (17) الألياف الفولاذية المجعدة:



الشكل (17)يبين شكل الألياف الفولاذية المجعدة

2.2 التجارب التي تم إجراؤها في البحث:

1- التحليل الحبي للمواد الحصوية:

يهدف الى تحديد النسب المئوية الوزنية للحبات ذات أقطار معينة وذلك بهدف تصنيف وتحديد إمكانية استعمال المواد الحصوية في الأعمال الهندسية وانتاج البيتون.

2 -حساب الوزن النوعي للمواد الحصوية والرمل:

الوزن النوعي الصلب : وهو نسبة كتلة واحدة الحجم من المادة (حجم المادة الصلبة فقط)في الدرجة الحرارة النظامية على كتلة نفس الحجم من الماء في الدرجة الحرارة النظامية

2- المكافئ الرملي

تعيين كمية ونوعية الشوائب والمواد الناعمة جدا الموجودة في الرمل

3- الاهتراء بجهاز لوس انجلوس:

قياس مقاومة المواد الحصوية على الاهتراء بغية تحديد صلاحيتها للاستعمال في أعمال البيتون وفي الطبقات المختلفة لأعمال الطرق.

4- اختبار هبوط البيتون:

هو تحديد قوام البيتون وقابلية التشغيل

5- مقاومة الضغط لعينات البيتون:

لإجراء اختبار الضغط والانحناء بعد عمر معين تم استخدام العينات ذات الشكل مكعبي بأبعاد $15*15*15\ cm^3$ أو موشوري $15*15*53\ cm^3$ وذات أبعاد نظامية في المختبر.

بعد الانتهاء من صب العينات وتسوية سطحها تغطى بغطاء من البلاستيك للمحافظة على رطوبة العينات وتحفظ في مكان درجة حرارته 20±2c لمدة 24 ساعة ثم تفك القوالب وتغمر العينات بالماء بدرجة حرارته20±2c لحين اختبارها

تخرج العينات من الماء وتنشف سطوحها ويجري الاختبار عليها فورا بوضعها بين فكي المكبس على السطوح الجانبية الملساء

تطبق حمولة ضغط محورية على عينات بيتونية مكعبيه بشكل متزايد ومنتظم حتى الانكسار تحسب مقاومة الضغط من العلاقة

$$F=p/s$$

F مقاومة الضغط على المكعب (Mpa)

P الحمولة العظمى

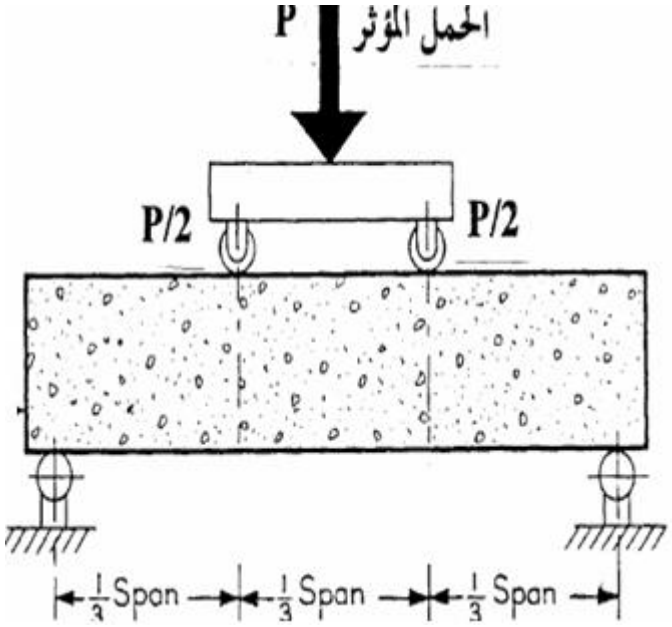
S مقطع العينة

إجراء الاختبار

تنظف سطوح فكي المكبس بشكل جيد وتوضع العينة بحيث ينطبق مركزها على محور فكي المكبس تطبق الحمولة بشكل مستمر وبدون صدمات حتى الانكسار ونسجل الحمولة العظمى .

5 مقاومة الانعطاف:

توضع العينة في ماكينة الاختبار على ركيزتين كما هو مبين بالشكل ويراعى أن يكون كل من قضيب الارتكاز والتحميل بطول أكبر من عرض الجائز كما يكون التحميل تدريجيا وبمعدل منتظم يؤدى إلى الوصول بالقيمة النهائية للحمل في مدة حوالي ٥ دقائق



ويفضل إجراء اختبار الانعطاف للبيتون بتحميل عينة الاختبار في نقطتين Two-Point Loading (انعطاف أربع نقاط)لأن ذلك يجعل جزء الجائز الذي يحدث بداخلها لانهيار معرض إلى عزم خالص دون تواجد قص في ذلك الجزء الأمر الذي يجعل الانهيار نتيجة مقاومة الانعطاف فقط وتعبر نتائج الاختبار عن مدى تأثر البيتون بالانعطاف ويمكن في بعض الأحيان- عند الضرورة -عمل اختبار الانعطاف بالتحميل في نقطة واحدة وهى منتصف الجائز ولا يعطى ذلك الاختبار انحناء خالص بل انحناء مصحوب بتأثير القص ويكون معاير الانهيار له أقل من معاير الكسر في حالة التحميل فى نقطتين.

يدون حمل الكسر Pmax وتحسب مقاومة الانعطاف من المعادلة:

$$\text{اجهاد الانكسار} = \frac{M_{max} \cdot Y}{I}$$

M_{max} = Maximum bending moment = P_{max} L / 6 (حالة حملين مركزين)

Y = h/2 ,

I = Moment of inertia = $bh^3/12$

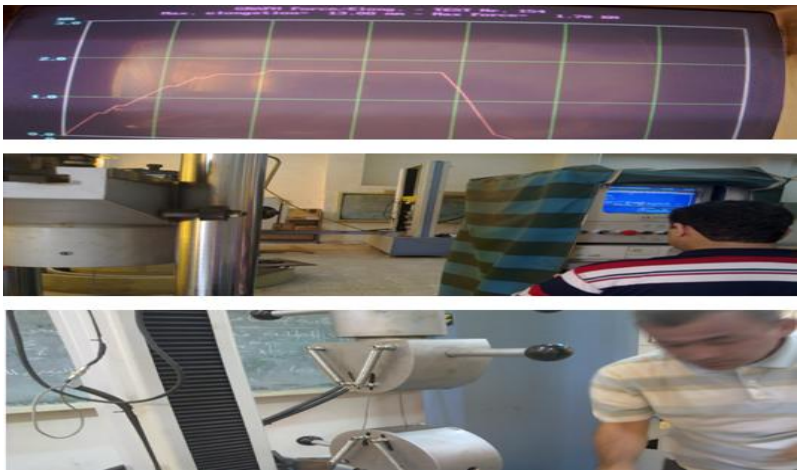
7- دليل المتانة:

استنادا لمخططات الاجهاد الانفعال لتجارب مقاومة الانعطاف يتم ح ساب المساحة الواقعة بين سهم التشقق الأول δ والسهم عند الحد 3δ =l5 مقسومة على المساحة الواقعة من بداية التحميل الى سهم التشقق الأول δ تبعا لزيادة الألياف الفولاذية (مجعدة- مكسحة) بالنتيجة نحصل عل متانة البيتون عالي المقاومة تبعا لزيادة الالياف الفولاذية وذلك وفق النظام ASTMc1018 .

2.3 الأجهزة والأدوات المستخدمة في البحث:

1- جهاز ميكانيكي لتحديد مواصفات الالياف الفولاذية المجعدة ذات التصنيع المحلي المستخدمة وذلك في كلية الهندسة الميكانيكية جامعة حلب.

الشكل(18) يبين جهاز قياس المواصفات الفنية للألياف الفولاذية



الشكل (18)يبين جهاز الشد للألياف الفولاذية المجعدة

2- القوالب المعدنية والخشبية وجهاز رج العينات:كما يبينها الشكل(19)

الشكل (19)يبين القوالب المعدنية والخشبية وجهاز الرج المستخدم في البحث

3- جهاز تحديد مقاومة الضغط للعينات مع الحساسات التي تقيس الانتقالات كما هو موضح بالشكل(20)

الشكل (20)يبين جهاز الضغط مع الحساسات لقياس الانتقالات

4-جهاز تحديد مقاومة الشد بالانعطاف م ع الحساسات لقياس الانتقالات وذلك عن طريق استعمال نفس جهاز الضغط بوضع مسند خاص للعينات الموشورية وقضيبين من المعدن في أعلى فكي الجهاز كما هو مبين بالشكل(21)

الشكل (21)يبين استعمال جهاز الضغط مع مسند خاص لحساب مقاومة الانعطاف

الفصل الثالث

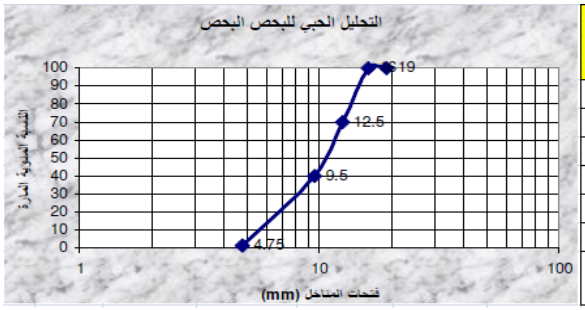
الدراسة التجريبية

3.1 التحليل الحبي للمواد الحصوية والرمل:

يبين الجدول (11) التحليل الحبي للمواد الحصوية الحسوانية.

القطر الاعظمي للبحص 16mm

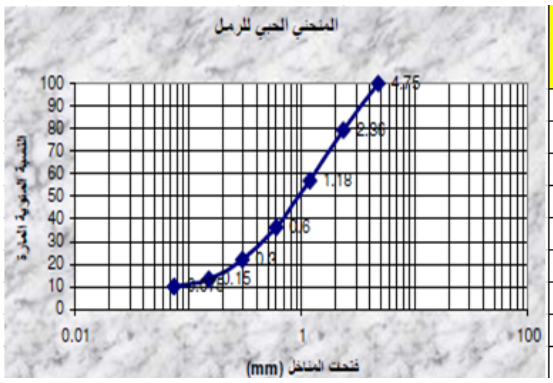
الجدول (11)يمثل التحليل الحبي للمواد الحصوية الحسوانية



فتحة المنخل بالملم	الوزن المتبقي (غ)	النسبة المئوية المتبقية	النسبة المئوية التراكمية المتبقية	النسبة المئوية المارة
19	0	0	0	100
16	0	0	0	100
12.5	7017	30.17	30.17	69.8
9.52	2958	29.58	59.75	40.3
4.76	3925	39.25	98.99	1
القعر	100.7	1.01	100	0
المجموع	10000	100	100	100

يبين الجدول (12) التحليل الحبي للرمل الفراتي حسب النظام الأمريكي ASTM1018

الجدول (12)يمثل التحليل الحبي للرمل الفراتي



فتحة المنخل بالملم	الوزن المتبقي (غ)	النسبة المئوية المتبقية	النسبة المئوية التراكمية المتبقية	النسبة المئوية المارة
4.75	0	0	0	100
2.36	147	20.9	20.9	79.1
1.18	154	22	43	57
0.6	146	20.8	63.8	36.2
0.3	98	14	77.9	22.1
0.15	62	8.8	86.7	13.3
0.075	25	3.5	90.2	9.8
القعر	69	9.8	100	0
المجموع	700	100		

من خلال الجداول (11) و(12) يتبين لنا أن التحليل الحبي للمواد الحصوية جيد التدرج وذلك من حساب عوامل هازن

1- عامل الانتظام Cu=5.2 >=4

2- عامل الانحناء1< Cc=2.4 <3

3.2 الوزن النوعي للمواد الحصوية والرمل والاسمنت:

كما في الجدول(13):

الجدول (13)يمثل الوزن النوعي للمواد الحصوية الحسوانية والرمل الفراتي والاسمنت

المادة	الوزن النوعي
البحص الحسواني	2.83
الرمل الفراتي	2.77
الاسمنت	3.1

نلاحظ أن الوزن النوعي للمواد الحصوية لايقل عن القيمة 2.35 اللازمة لتكون المواد الحصوية صالحة لصنع بيتون عالي المقاومة.

3.3 المكافئ الرملي:

تم اجراء ثلاثة تجارب على الرمل وكان المكافئ الرملي الوسطي المبين كما في الجدول(14)

الجدول (14)يمثل المكافئ الرملي للرمل الفراتي

	الرمل الفراتي
ارتفاع الرمل h1 cm	10.5
ارتفاع الرمل النظيف h2 cm	9.7
المكافئ الرملي	92

نستنتج أن الرمل نظيف وصالح للاستخدام البيتون عالي المقاومة كون المكافئ الرملي ضمن المجال 80-100.

3.4 الاهتراء بجهاز لوس انجلوس:

كما في الجدول(15)

الجدول (15)يمثل الاهتراء بجهاز لوس انجلوس للمواد الحصوية الحسوانية

نوع البحص	النموذج	W	W1	cls %
حسواني	II	5000	4475	11

نستنتج أن CLS<35% والبحص صالح للاستخدام في البيتون عالي المقاومة

3.5 نسب الخلطة البيتونية عالية المقاومة:

استنادا الى الفقرة 1.1.9 يتم حساب نسب الخلطة البيتونية عالية المقاومة كمايلي:

مقاومة الضغط المكعبية المطلوبة 80 Mpa .

الاسمنت وغبار السيليكا يؤخذ 475 كغ/م^3.

كمية الاسمنت نوع TSEN-CEM 42.5R تساوي 427.5 kg/m^3

غبار السيليكا يساوي 10%من وزن الاسمنت = 47.5 kg/m^3

الملدن : باعتبار المقاومة المطلوبة أكبر من 700 kg/m^3 بالتالي كمية الملدن تساوي 0.3% من وزن (الاسمنت +غبار السيليكا)=1.4 kg/m^3

كمية الماء= تحسب من العلاقة المبينة في الفقرة 1.1.9 حيث :

C=427.5Kg,fc=800 kg/m^3,SF=47.5kg، **α=13**, β=13 بالتعويض

كمية الماء=0.28*(وزن الاسمنت +السيليكا)=133kg/m^3

تؤخذ أوزان المواد الحصوية الحسوانية والرمل الفراتي وفق طريقة فولبير –تومسون FULLER- THMPSON

يعطى المنحني الحبي المفضل لخليط المواد الحصوية الداخلة في تركيب البيتون وفق العلاقة التالية:

$$P\,\% = 100\sqrt{\frac{d}{D}}$$

حيث D القطر الاعظمي للمواد الحصوية

d لقطر الموافق لاي نسبة مئوية مارة p%

من أجل قطر أعظمي (D) تأخذ علاقة فولبير –تومسون الشكل التالي:

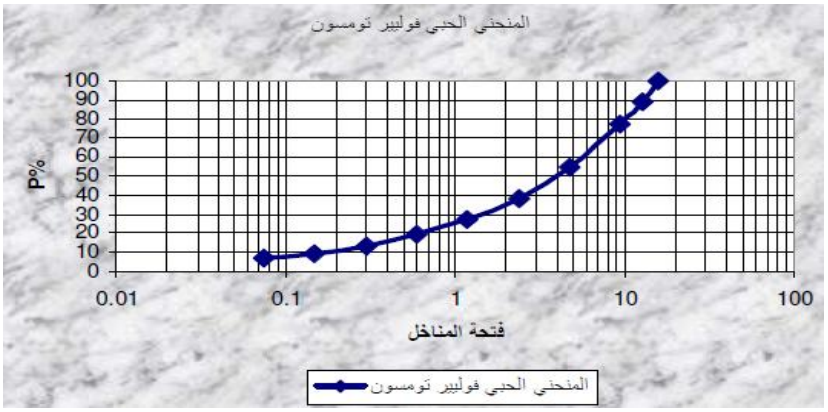
$$K = \frac{100}{\sqrt{D}} \quad \text{حيث} \quad P\% = K\sqrt{d}$$

تمثل في المستوى نصف اللغاريتمي (p,d) بأن نعطي قيما اختيارية ل d ونعين p الموافقة لها

من نتائج التحليل الحبي التي اجريناها على المواد الحصوية كانت العلاقة(p,d) على الشكل:

d mm	o.o75	0.149	0.297	0.595	1.19	2.38	4.76	9.51	12.7	D=16
p%=25√d	6.85	9.65	13.62	19.28	27.27	38.57	54.54	77.1	89.1	100

والشكل التالي يبين العلاقة بين(p,d)التي تمثل منحني مستمر جيد التدرج يعطي وزن حجمي أعظمي ودرجة أكتناز عالية لخليط المواد الحصوية الجاف:كما في المخطط(14)



المخطط (14)يمثل منحني فولبير–تومسون

من الصعب الحصول على هذا المنحني وانما نسعى لخلط نسب معينة من أصناف من مواد حصوية لنقترب قدر الامكان من هذا المنحني.

تعيين النسبة المئوية المطلوبة من كل من منحنيي المواد الحصوية والرمل فنقوم بمايلي:

نحدد على منحني الرمل النسبة المئوية الممثلة لنسبة مئوية مارة 95%

نحدد على منحني المواد الحصوية النسبة المئوية الممثلة لنسبة مئوية مارة 5%

نصل بين النقطتين بمستقيم فيتقاطع مع منحني فولبير –تومسون في نقطة نرسم منها خطا أفقيا

يقطع المحور الشاقولي الدال على النسبة P% في نقطة تحدد لنا النسبة المئوية المطلوبة من الرمل حيث القيمة المقاسة 36% و النسبة المئوية المطلوبة من المواد الحصوية القيمة المقاسة 64%.

بفرض أنه لدينا عامل أكتناز C=0.82 فيكون:

حجم البحص+حجم الرمل+حجم الاسمنت+حجم الفراغات= 1000 L

حجم الاسمنت=427.5/3.1= 153 L/m^3

حجم البحص+حجم الرمل= 0.82 *1000−153.22= 682 L/m^3

حجم البحص في 1 م3=682*64%= 436 L/m^3

حجم الرمل في 1 م3=682*36%= 245 L/m^3

وبمعرفة الاوزان النوعية للمواد الحصوية والرمل نحسب :

كمية المواد الحصوية= الحجم *الوزن النوعي =436.48*2.83=1235Kg

كمية الرمل = الحجم *الوزن النوعي =245.62*2.77=680Kg

يبين الجدول(16) نسب الخلطة البيتونية عالي المقاومة:

الجدول (16)يمثل نسب الخلطة البيتونية عالية المقاومة

الخلطة البيتونية التجريبية للبيتون عالي المقاومة	
المواد	الكمية(كغ/م٣)
بحص حسواني	1235
رمل فراتي	680
اسمنت	427.5
ماء	133
غبار السيليكا	47.5
ملدن	14
المجموع	2525

3.6 مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة بدون الالياف الفولاذية:

تم حساب مقاومة الضغط تبعا لتغير نسب غبار السيليكا وكمية الاسمنت في الخلطة البيتونيةثم حسبت المقاومة المميزة مساوية 0.8* مقاومة الضغط المكعبية كما في الجدول(17).

الجدول (17)يمثل مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة بدون الالياف الفولاذية

العينة	غبار السيليكا %	كمية الاسمنت kg/m3	كمية غبار السيليكا kg/m3	كمية الملدن kg/m3	مقاومة الضغط المكعبية Mpa			مقاومة الضغط المميزة للعينة الاسطوانية Mpa			وسطي مقاومة الضغط المميزة للعينة الاسطوانية Mpa
					fc1	fc2	fc3	fc1	fc2	fc3	
A1	0	475	0	0	61.3	62.5	66.3	49.0	50.0	53.0	50.7
A2	5	451.3	23.7	14	77.5	80.0	77.5	62.0	64.0	62.0	62.7
A3	10	427.5	47.5	14	85.0	85.3	85.5	68.0	68.2	68.4	68.2
A4	15	403.7	71.3	14	81.3	80.5	80.0	65.0	64.4	64.0	64.5

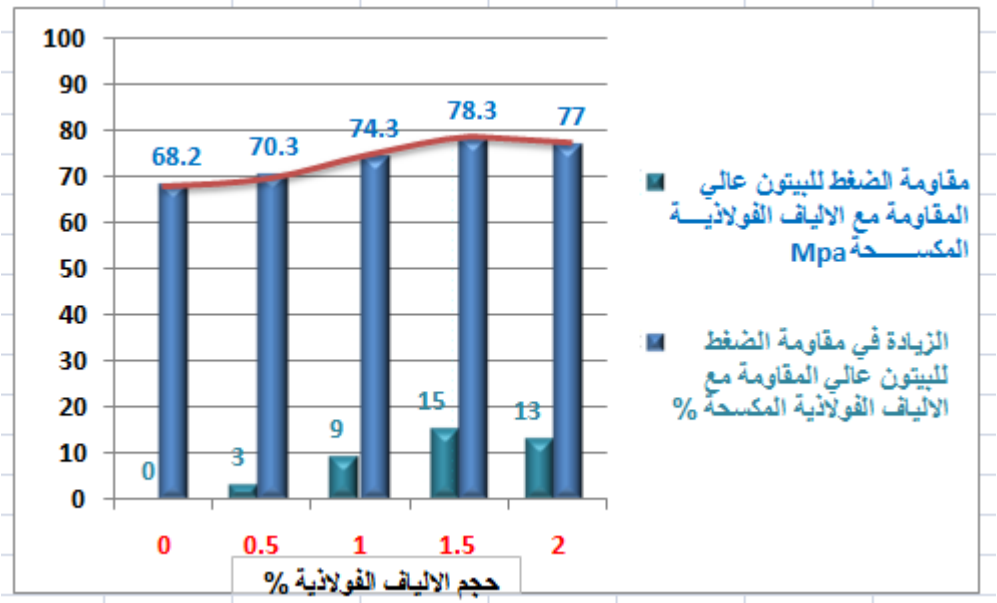
3.7 مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة:

كما في الجدول(18)

الجدول (18)يمثل مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة

	حجم الالياف الفولاذية%	الخلطة	العينة	مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية Mpa	وسطي مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية Mpa	الزيادة في مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية %
الألياف الفولاذية المكسحة	0.5	B	B1	70.5	70.3	3
			B2	70.3		
			B3	70.2		
	1	C	C1	74	74.3	9
			C2	74.3		
			C3	74.7		
	1.5	D	D1	78.1	78.3	15
			D2	78.4		
			D3	78.5		
	2	E	E1	77	77	13
			E2	76.9		
			E3	77.2		

كما يبين المخطط (15) مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة:



المخطط(15) مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة

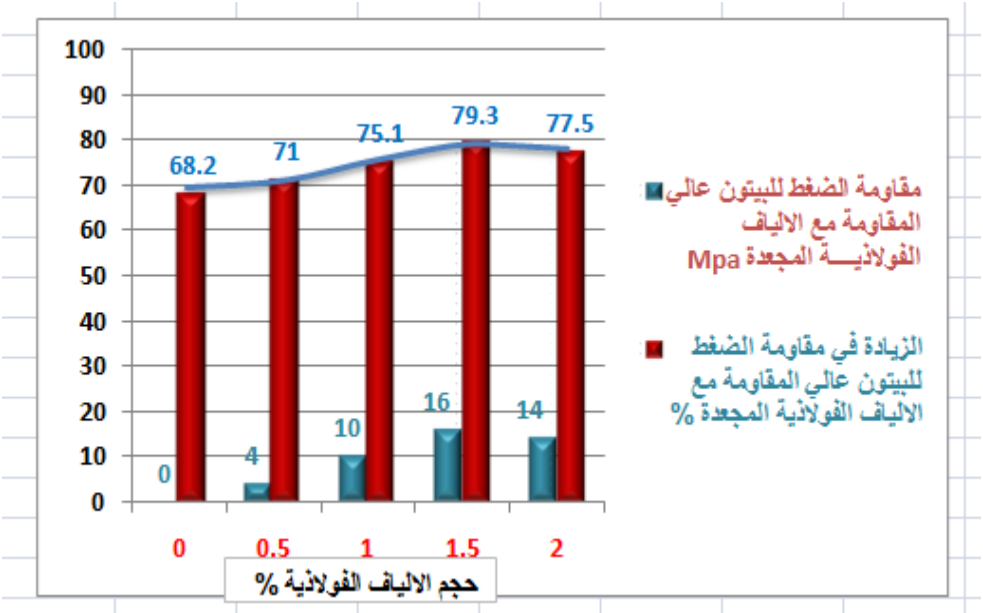
3.8 مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة:

كما في الجدول(19)

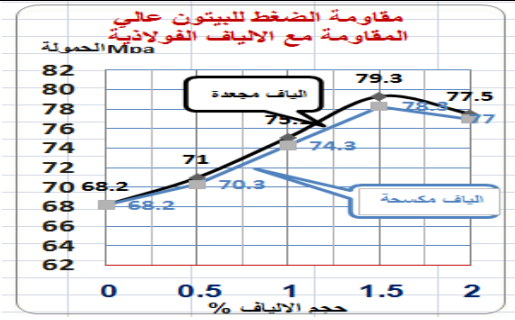
الجدول (19)يمثل مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية االمجعدة

	حجم الالياف الفولاذية%	الخلطة	العينة	مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية Mpa	وسطي مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية Mpa	الزيادة في مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية %
الالياف الفولاذية المجعدة	0.5	F	F1	71	71	4
			F2	70.9		
			F3	71.1		
	1	G	G1	75	75.1	10
			G2	75.2		
			G3	75.1		
	1.5	H	H1	79.5	79.3	16
			H2	79.3		
			H3	79.2		
	2	I	I1	77.6	77.5	14
			I2	77.4		
			I3	77.5		

كما يبين(16) المخطط مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة:



المخطط(16) مقاومات الضغط للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة

يبين المخطط (17) مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة المسلح بالالياف الفولاذية المكسحة والمجعدة .	

مما سبق نستنتج:

1-بتزايد حجم الالياف الفولاذية في البيتون تتزايد مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة لكلا نوعي الالياف الفولاذية المكسحة والمجعدة بنسب قليلة .

2-نلا حظ أن مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة تزداد عند حجم الالياف الفولاذية 1.5% ثم تبدأبالتناقص عند حجم الياف فولاذية 2% ويعود ذلك الى كثافة الالياف الفولاذية وانهيارها قبل البيتون عالي المقاومة كونها تساهم في انفصال حبيبات البحص في البيتون.

3.9 مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة بدون الالياف الفولاذية:

تم أخذ 6 عينات موشورية بيتونية لتجربة الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة لكل خلطة من(J1-J2-J3)وتم حساب الوسطي للمقاومات

كما في الجدول(20)

الجدول (20)يمثل مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة

الخلطة	العينة 1	2	3	4	5	6	مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومةMpa	وسطي مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة Mpa
J1	5	4	4	4	5	4	4.3	4.6
J2	4	4.5	5	5	6	4.5	4.8	
J3	5	4.5	4.5	4	5	5	4.7	

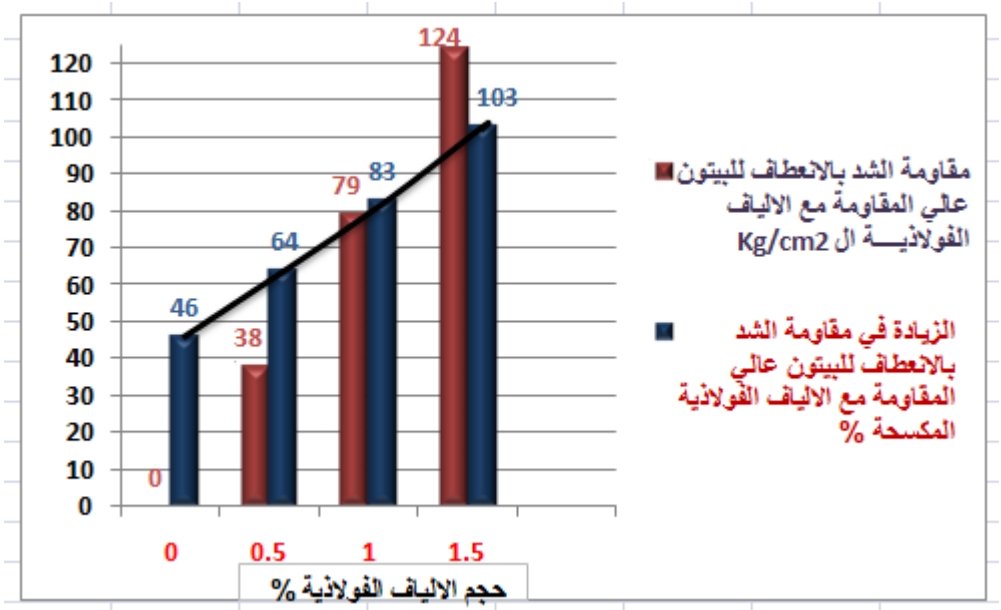
3.10 مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة:

كما في الجدول(21)

الجدول (21)يمثل مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة

	حجم الالياف الفولاذية%	الخلطة	العينة	مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية Mpa	وسطي مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية Mpa	الزيادة في مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية %
الالياف الفولاذية المكسحة	0.5	K	K1	6.3	6.4	38
			K2	6.4		
			K3	6.3		
	1	L	L1	8.3	8.3	79
			L2	8		
			L3	8.5		
	1.5	M	M1	9.9	10.3	124
			M2	10.7		
			M3	10.4		

كما يبين المخطط (18) مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة:



المخطط(18) مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة

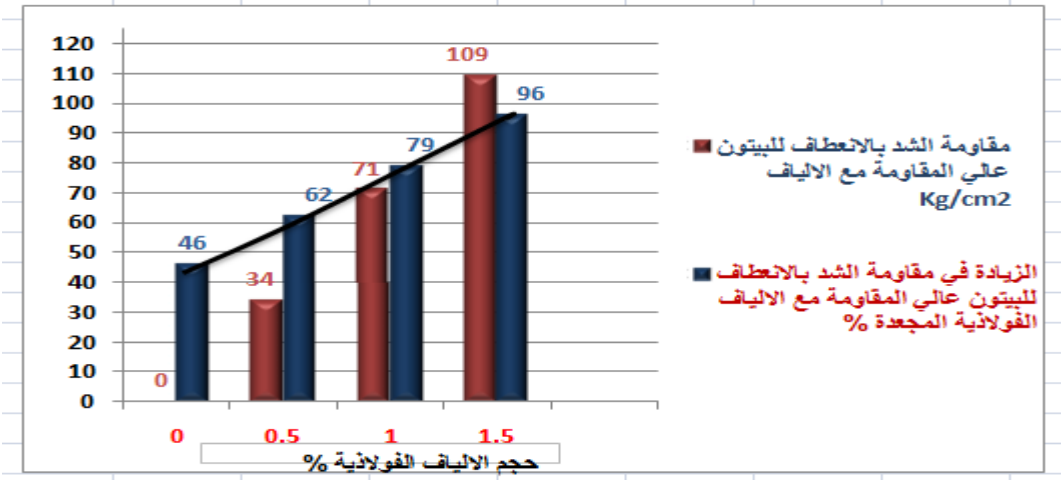
3.11 نتائج مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة:

كما في الجدول(22)

الجدول (22)يمثل مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة

	حجم الالياف الفولاذية%	الخلطة	العينة	مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية Mpa	وسطي مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية Mpa	الزيادة في مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية %
الالياف الفولاذية المجعدة	0.5	O	O1	6.2	6.2	34
			O2	6.1		
			O3	6.2		
	1	P	P1	7.9	7.9	71
			P2	7.8		
			P3	7.9		
	1.5	Q	Q1	10.4	9.6	109
			Q2	9.1		
			Q3	9.5		

كما يبين المخطط (19) مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة:



المخطط(19) مقاومات الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة

يبين المخطط (20) مقاومة الشد بالانعطاف للبيتون عالي المقاومة المسلح بالالياف الفولاذية المكسحة والمجعدة .

لوحظ أنه بتزايد حجم الالياف الفولاذية في البيتون تتزايد مقاومة الانعطاف للبيتون عالي المقاومة لكلا نوعي الالياف الفولاذية المكسحة والمجعدة بنسب كبيرة وكانت مقاومة الانعطاف للبيتون عالي المقاومة الحاوي على ألياف فولاذية مكسحة أعلى ويعود السبب الى طول ارساء الألياف الفولاذية المكسحة كونها أطول من الالياف الفولاذية المجعدة.

3.12 دليل المتانة:

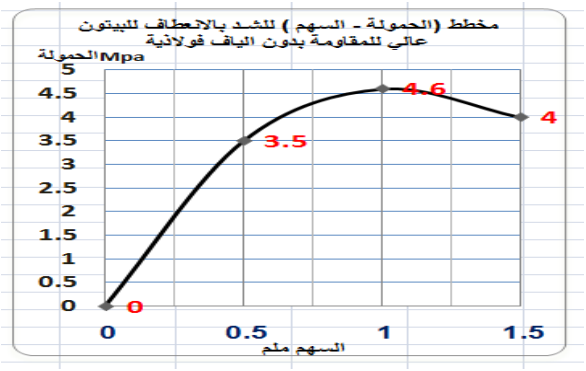
يتم حساب دليل المتانة للبيتون عالي المقاومة المسلح بالالياف الفولاذية وفق النظام ASTM C1018 و ذلك بتقسيم المساحة من مخطط الاجهاد – الانفعال من بداية التحميل الى سهم التشقق عند الدليل **I5** أو **I10** أو **I30** على المساحة من بداية التحميل حتى سهم التشقق الاول **δ**،

حيث الدلائل المذكورة تؤخذ من الجدول التالي

I30	I10	I5
15.5δ	5.5δ	3δ

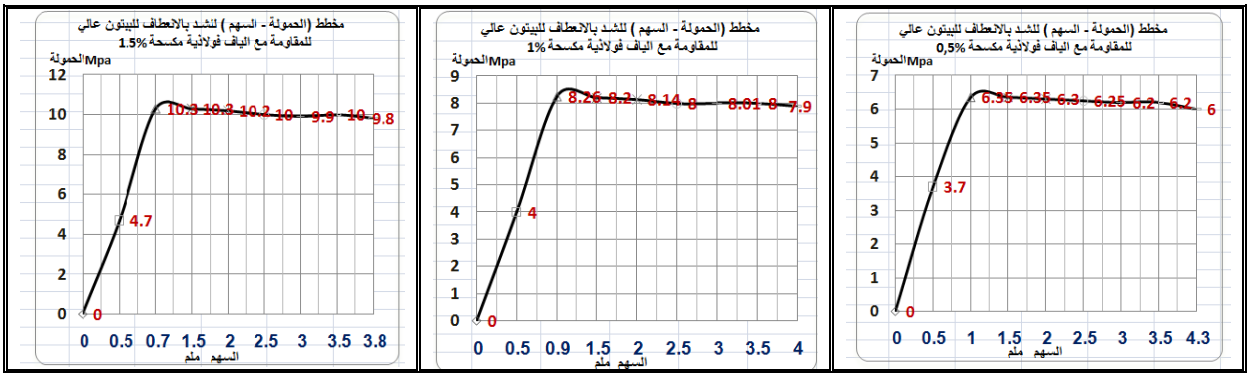
ونبين فيمايلي مخططات الحمولة–السهم البيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية

1–مخطط الحمولة–السهم للبيتون عالي المقاومة بدون ألياف فولاذية كما في المخطط(21)



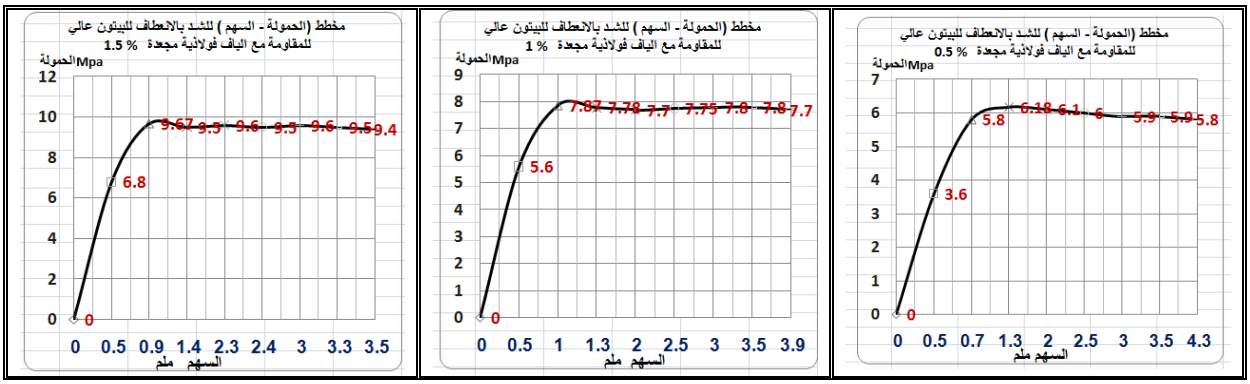
المخطط (21)يمثل الحمولة–السهم للبيتون عالي المقاومة بدون ألياف فولاذية

2–مخططات الحمولة–السهم للبيتون عالي المقاومة مع ألياف فولاذية مكسحة : كما في المخطط(22)



المخطط (22)يمثل الحمولة–السهم للبيتون عالي المقاومة مع ألياف فولاذية مكسحة

3–مخططات الحمولة–السهم للبيتون عالي المقاومة مع ألياف فولاذية مجعدة: كما في المخطط(23)



المخطط (23)يمثل الحمولة– السهم للبيتون عالي المقاومة مع ألياف فولاذية مجعدة

يبين الجدول(23) دليل المتانة للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة :

الجدول(23) يمثل دليل المتانة للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية المكسحة

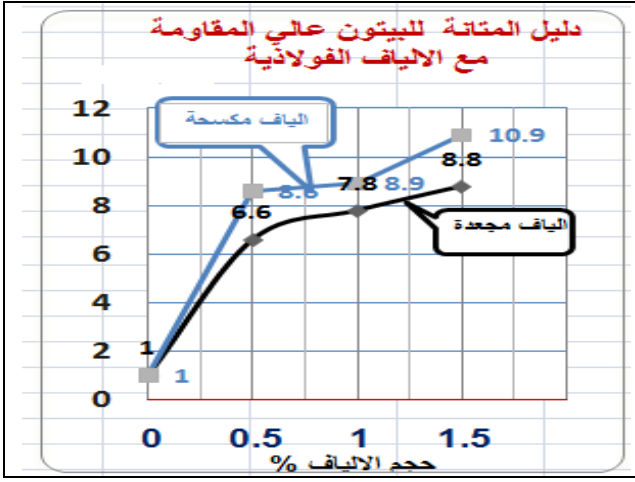
	حجم الالياف الفولاذية%	دليل المتانة
الالياف الفولاذية المكسحة	0	1.0
	0.5	8.6
	1	8.9
	1.5	10.9

يبين الجدول(24) دليل المتانة للبيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة:

الجدول(24) يمثل دليل المتانة للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية المجعدة

	حجم الالياف الفولاذية%	دليل المتانة
الالياف الفولاذية المجعدة	0	1.0
	0.5	6.6
	1	7.8
	1.5	8.8

يبين المخطط (24) دليل المتانة للبيتون عالي المقاومة المسلح بالالياف الفولاذية المكسحة والمجعدة .



لوحظ أن:

1- دليل المتانة للبيتون عالي المقاومة الحاوي على ألياف فولاذية مكسحة أكبر من دليل المتانة للبيتون عالي المقاومة الحاوي على ألياف فولاذية مجعدة نظرا لكون سهم التشقق النهائي أكبر بسبب طول الالياف الفولاذية المكسحة والذي أكتسب مساحة إضافية من مخط الاجهاد الانفعال.

2- دليل المتانة لكلا نوعي الالياف الفولاذية يتزايد كلما زاد حجم الالياف الفولاذية في البيتون.

3.13 الدراسة الاقتصادية للبيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية:

لبيان العائد الاقتصادي من اضافة الالياف الفولاذية الى البيتون عالي المقاومة كان التوجة للاستفادة من التحسين الكبير الذي حدث في مقاومة الانعطاف على التشقق من خلال تجارب البحث .

ونظرا للاستخدامات الكبيرة للبيتون عالي المقاومة في الارضيات الصناعية ومهابط الطائرات والطرق وجدنا أن نقوم بدراسة مشروع طريق من الرصف الصلب لما له من تطبيقات كثيرة في واقعنا العملي .

سنجري دراسة المشروع وفق اسلوب "Westergard " [17] للرصف الصلب.

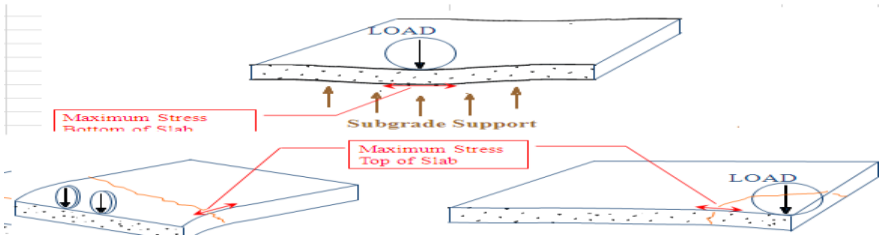
تكون الطبقة السطحية للرصف الصلب من البيتون الإسمنتي أو المسلح أو المسبق الإجهاد وهو منشأة مكونة من عدة طبقات ،السلوكية الإنشائية للرصف الصلب تعتمد على مقاومته للإجهادات الناتجة عن الانعطاف بخلاف الرصف اللين الذي يعتمد على قدرة الطبقات على توزيع الاجهادات تبعا للعمق.

أوجد Westergard قيمة الاجهادات الأعظمية وسهوم الانعطاف في البلاطة البيتونية لحالات التحميل الأساسية الثلاث التالية:

1 – حالة التحميل الداخلية : وهي عندما تكون الحمولة في وسط البلاطة تقريبا وبعيدة عن الزوايا.

2 – حالة التحميل الطرفية : وهي عندما تكون الحمولة على أي طرف من الأطراف الأربعة للبلاطة ونميز في حالة التحميل هذه وجود الحمولة بكاملها على طرف البلاطة أو جزء من الحمولة على طرف البلاطة والجزء الآخر على البلاطة المجاورة.

3 – حالة التحميل الركنية: وهي عندما تكون الحمولة مطبقة على أي زاوية من زوايا البلاطة بحيث يكون طرفي الزاوية مماسه لسطح تماس التحميل.



وسوف نستخدم المعادلات التالية من أجل الحساب النظري لاجهادات الانعطاف الناتجة عن حالا ت التحميل الثلاث وفي حساب الاجهادات هذه نعتبر أن البلاطة متجانسة ومتشابهة المناحي وذات سلوكية مرنة معرفة بعامل المرونة E وعامل بواسون μ وأن حمولة الإطار P مطبقة على سطح تماس ذو شكل قطع ناقص نصف محوره الكبير a ونصف محوره الصغير b وأن سماكة البلاطة h ثابتة على كامل البلاطة

ونبين فيمايلي معادلات الاجهاد وفق أسلوب Westergard

1-معادلة إجهاد الانعطاف لحالة التحميل الداخلية:

$$\sigma i=\frac{p}{h^2}\left(0.275(1+\mu)\log\left(\frac{Eh^3}{k\left(\frac{a+b}{2}\right)^4}\right)+0.239(1-\mu)\frac{a-b}{a+b}\right)$$

2-معادلة إجهاد الانعطاف لحالة التحميل الطرفية:

الاجهادات الناتجة عن الحمولة p المطبقة بكاملها على طرف البلاطة.

$$\sigma e1=\frac{2.2(1+\mu)p}{(3+\mu)h^2}\log\left(\frac{Eh^3}{100k\left(\frac{a+b}{2}\right)^4}\right)+3(1+\mu)\frac{P}{3.14(3+\mu)h^2}(234-1.84\mu+$$
$$(1+\mu)\frac{a-b}{a+b}+2(1-\mu)\frac{a-b}{(a+b)^2}+1.18(1+2\mu)b/\alpha)$$

أما الاجهادات الناتجة عن الحمولة p المطبقة والتي يكون جزء منها مطبق على طرف البلاطة والجزء الآخر مطبق على البلاطة المجاورة.

$$\sigma e2=\frac{2.2(1+\mu)p/2}{(3+\mu)h^2}\log\left(\frac{Eh^3}{100k\left(\frac{a+b}{2}\right)^4}\right)+3(1+\mu)\frac{\frac{P}{2}}{3.14(3+\mu)h^2}(3.84-4\mu/3-$$
$$(1-\mu)\frac{a-b}{a+b}+0.5(1+2\mu)b/\alpha)$$

3-معادلة إجهاد الانعطاف لحالة التحميل الركنية:

$$\sigma c=\frac{3p}{h^2}\left(1-\left(\frac{12(1-\mu 2)k}{Eh^3}\right)^{0.3}*\left(\frac{a+b}{2}\sqrt{2}\right)\text{^}1.2\right)$$

لقد عرف Westergard [17] نصف قطر القساوة النسبية بأنه العلاقة بين القساوة النسبية للبلاطة وعامل رد فعل التربة ويساوي:

$$\alpha=(D/K)\text{^}0.25$$

وقد تم استعمال هذا العامل في حساب حمولة الإطار المعادل.

حيث القساوة النسبية تحسب من العلاقة:

$$D=Eh^3/(12(1-\mu)^{2}*k)$$

في حال سطح التحميل دائري فان a=b

معطيات المشروع:

p=4100 kg حمولة الدولاب.

E=343176.5 kg/cm2 عامل مرونة البيتون من المعادلةEC=3320SQRT(fc)+6900 Mpa

fc=68.2 Mpa المقاومة على الضغط للبيتون عالي المقاومة.

$\mu = 0.15$ عامل بواسون

K=4 kg/cm3 عامل رد فعل التربة

عامل الأمان Fs=2

سطح التحميل قطع ناقص محاوره a=12 cm، b=8 cm

طريقة الحساب:

نأخذ اجهادات الشد بالانعطاف التي حصلنا ع ليها في البحث لكلا نوعي الالياف الفولاذية وتخفيضها بعامل أمان يساوي FS=2 ثم تعويض معطيات المشروع في المعادلات النظرية للاجهادات فيتبقى لدينا متحولان هما قيمة الاجهادات وارتفاع سماكة بلاطة الرصف نقوم بوضع قيمة تقريبية للسماكة ونحسب قيمة اجهاد الانعطاف في ا لمعادلات الاربعة الموافقة لحالات التحميل (طرفي ،ركني ،داخلي) حتى الوصول الى قيمة اجهاد الانعطاف المحسوب من خلال البحث عندها نثبت السماكة (يتم هذا الحساب وفق اسلوب التقريب المتتالي) .

يبين الجدول (25)التالي سماكة بلاطة الرصف الصلب تبعا لتزايد حجم الالياف الفولاذية :

الجدول(25) يمثل سماكة بلاطة الرصف الصلب تبعا لتزايد حجم الالياف الفولاذية

	حجم الالياف الفولاذية %	مقاومة الانعطاف للبيتون عالي المقاومة المسموحة Kg/cm2	مقاومة الانعطاف المحسوبة Kg/cm2			سماكة البلاطة cm	سماكة البلاطة عمليا cm
			حالة التحميل الركنية	حالة التحميل الطرفية	حالة التحميل الداخلية		
بدون الياف فولاذية	0	23	22.2	13	23.3	11.6	23.5	24
مع الياف فولاذية مكسحة	0.5	32	31.8	17.5	31.3	15.8	19.7	20
	1	41.5	41	21.7	38.9	19.8	17.3	18
	1.5	51.5	51.9	26.6	47	24.2	15.4	16
مع الياف فولاذية مجعدة	0.5	31	30.7	17.2	30.6	15.4	20	20
	1	39.5	39.3	21	37.4	19	17.7	18
	1.5	48	48	24.9	44.2	22.6	16	16

نحسب كلفة المواد المشكلة ل م3 من البيتون عالي المقاومة:

يبين الجدول (26) كلفة م^3 من البيتون عالي المقاومة بدون ألياف فولاذية بالليرة السورية

الجدول(26)يمثل كلفةم3 من البيتون عالي المقاومة بدون ألياف الفولاذية بالليرة السورية

سعر م3 من البيتون عالي المقاومة (ل.س) عام 2013			
المادة	الكمية(كغ/م3)	السعر بالليرة السورية لكل كغ	السعر الاجمالي(ل.س)
بحص حسواني	1235	3.5	4323
رمل فراتي	680	1.5	1020
اسمنت	427.5	20	8550
ماء	133	1	133
ميكروسيليكا	47.5	100	4750
مثدن	14	50	700
المجموع (ل.س)			19476

يبين الجدول(27) كلفة م^3 من البيتون عالي المقاومة مع ألياف فولاذية بالليرة السورية :

الجدول(27)يمثل كلفةم3 من البيتون عالي المقاومة مع ألياف الفولاذية بالليرة السورية

سعر م3 من البيتون عالي المقاومة المسلح بالالياف الفولاذية (ل.س) عام 2013				
سعر كغ الياف فولاذية 40 ل.س عام 2013				
حجم الالياف الفولاذية%	كمية الالياف kg/m3	سعر الالياف بالليرة السورية	سعر م3 من البيتون عالي المقاومة المسلح بالالياف الفولاذية(ل.س)	الزيادة في سعر م3 من البيتون عالي المقاومة المسلح بالالياف الفولاذية %
0.5	39	1560	21037	8
1	78	3120	22597	16
1.5	117	468	24157	24

يبين الجدول(28) كلفة 1م2 من بلاطة الرصف الصلب لمشروع الطريق:

يبين الجدول(28) كلفة 1م2 من بلاطة الرصف الصلب لمشروع الطريق:

حجم الالياف الفولاذية %	كلفة م2 بلاطة رصف صلب (ل.س)	النقص في كلفة بلاطة الرصف الصلب نتيجة نقص السماكة %
0	4675	0
0.5	4207	10
1	4067	13
1.5	3865	17

يتبين لنا أنه:

1- بتزايد حجم الالياف الفولاذية في البيتون عالي المقاومة لبلاطة الرصف الصلب كانت مقاومة الشد بالانعطاف مع الالياف الفولاذية المكسحة أكبر من مقاومة الشد بلانعطاف مع الالياف الفولاذية المجعدة وبالتالي التناقص في السماكة للبيتون عالي المقاومة المسلح بالياف فولاذية مكسحة كان أكبر.

2-طرأ زيادة في م^3 من البيتون العالي المقاومة مترافقة مع الزيادة الحجمية للالياف الفولاذية في البيتون وبالمقابل حصل تناقص في كلف ام^2 من الطريق نتيجة انخفاض السماكات وكان الانخفاض أكبر في بلاطة الرصف الصلب الحاوية على الالياف الفولاذية المكسحة نتيجة كون اجهاد الشد بلانعطاف فيها أكبر.

الفصل الرابع

الخلاصة مع المقترحات و التوصيات

4.1.1مناقشة نتائج الضغط للعينات المكعبية:

نلاحظ أن :

1- تزداد مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية المكسحة بنسبة قليلة حيث بلغت القيمة 68.2Mpa بدون ألياف فولاذية لتصل عند حجم ألياف فولاذية 1.5% القيمة 78.3Mpa ثم تتناقص بعدها إلى القيمة77 Mpa وذلك عند حجم ألياف فولاذية 2%وهذا التحسن غير كافي لتبرير إضافة الألياف الفولاذية إلى البيتون عالي المقاومة لتحسين خواصه الميكانيكية على الضغط ،أما سبب تناقص المقاومة فيعود إلى انهيار الألياف الفولاذية قبل البيتون نتيجة كثافتها العالية وتكورها على بعضها البعض.

2- تزداد مقاومة الضغط للبيتون عالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية المجعدة بنسبة قليلة لتصل عند حجم ألياف فولاذية 1.5% القيمة 79.3Mpa ثم تتناقص بعدها إلى القيمة 77.5Mpa وذلك عند حجم ألياف فولاذية 2%.

3-أعطى البيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة مقاومة أعلى على الضغط من البيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة وذلك عند القيمة 1.5% من حجم الألياف الفولاذية وهذا يعود إلى كون مساحة مقطع الألياف الفولاذية المكسحة أقل من مساحة مقطع الألياف الفولاذية المجعدة (تعمل الألياف الفولاذية المجعدة الموازية بشكل مشابه للتسليح الطولي للمقطع)

4- كانت قابلية التشغيل بعد حجم الياف فولاذية 1.5% ضعيفة بسبب تزايد كمية الالياف الفولاذية في الخليط البيتوني .

5- في البداية ظهرت تشققات في أطراف العينات البيتونية عند الزوايا واستمر التحميل لفترة من الزمن حتى حدوث الانهيار النهائي للعينة وكان الانكسار واضحا في المواد الحصوية.

4.1.2 مناقشة نتائج مقاومة الانعطاف

نلاحظ أن:

1- تزداد مقاومة الانعطاف للبيتون عالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية المكسحة بنسبة كبيرة حيث بلغت القيمة 4.6Mpa بدون ألياف فولاذية لتصل عند حجم ألياف فولاذية 1.5% القيمة 10.3Mpa وذلك عند حجم ألياف فولاذية 1.5%.

2-تزداد مقاومة الانعطاف للبيتون عالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية المجعدة بنسبة كبيرة لتصل عند حجم ألياف فولاذية 1.5% القيمة 9.6Mpa وذلك عند حجم ألياف فولاذية 1.5%.

3-أعطى البيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المكسحة مقاومة انعطاف أعلى من البيتون عالي المقاومة مع الألياف الفولاذية المجعدة وهذا يعود إلى كون الألياف الفولاذية المكسحة أطول من الألياف الفولاذية المجعدة وبالتالي طول الإرساء أكبر.

4- ظهر تشقق بسيط جدا في منتصف العينة وبتزايد الحمولة أخذ بالتوسع بشكل بطيء جدا حتى الانهيار الكلي.

5- لاحظنا بعد انهيار العينات أن معظم الالياف المكسحة والمجعدة على سطح العينة قد سحبت من مكانها ولم نشاهد أي قص في أي ليف فولاذي.

4.1.3مناقشة دليل المتانة:

نلاحظ أن :

1- أعطى دليل المتانة للبيتون عالي المقاومة بدون الألياف الفولاذية القيمة 1 ووصل الى القيمة 10.85 عند إضافة الالياف الفولاذية المكسحة بنسبة 1.5%،وأيضا القيمة 8.77 عند إضافة الالياف الفولاذية المكسحة بنسبة 1.5%.

وهذا يعني أن متانة البيتون عالي المقاومة بالألياف الفولاذية المكسحة أكبر من متانة البيتون عالي المقاومة بالألياف الفولاذية المجعدة كون سهم التشقق النهائي لمخطط الإجهاد الانفعال أكبر وهذا أعطى مساحة إضافية وبالتالي طاقة إضافية أكبر.

2- لم نقم بحساب مقاومة الانعطاف عند حجم ألياف فولاذية 2% بسبب الصعوبة في قابلية التشغيل من جهة وتكور الالياف حول بعضها من جهة وأيضا بسبب انخفاض مقاومة الضغط عند هذه القيمة ،والذي يهمنا هو نسبة ألياف فولاذية تحقق تحسين في مقاومة الضغط والشد معا،وواقعيا ممكن زيادة مقاومة الشد بالانعطاف بعد هذه النسبة باستعمال آلات جبل خاصة للتغلب على قابلية التشغيل ولكن على حساب مقاومة الضغط التي تتناقص أكثر بسبب الزيادة في حجم الالياف الفولاذية في الخليط البيتوني.

3- زيادة الألياف الفولاذية في البيتون تزيد قدرة امتصاص الطاقة في العناصر الإنشائية لمقاومة الانهيار القصيف المفاجئ (متانة البيتون)ويمكن أن تشاهد المساهمة الرئيسية للألياف الفولاذية في البيتون بعد تشقق البيتون حيث لوحظ تحسن في متانة البيتون عالي المقاومة لكلا نوعي الألياف الفولاذية (مجعدة – مكسحة)متمثلا بمساحة مخطط (الحمولة – الارفعال)حتى انهيار البيتون وكانت الالياف الفولاذية المكسحة أفضل وفعالة أكثر خلال ظهور التشققات.

4.1.4مناقشة الأثر الاقتصادي من اضافة الالياف الفولاذية الى البيتون عالي المقاومة:

نلاحظ أن:

1- سماكة بلاطة الرصف من البيتون عالي المقاومة بدون ألياف فولاذية أعطت القيمة العملية 24 سم لتتناقص الى القيمة 16 سم مع البيتون عالي المقاومة مع الالياف المكسحة والمجعدة عند حجم ألياف فولاذية 1.5% وذلك لتساويها في السماكة عمليا .

2- تزداد كلفة ام^3 من البيتون عالي المقاومة بزيادة الالياف الفولاذية حيث بلغت القيمة 19477ليرة سورية بدون ألياف فولاذية لتصل إلى القيمة 24157ليرة سورية عند حجم ألياف فولاذية 1.5% ولكن بالمقابل نلاحظ أن كلفة 1م^2 من طريق الرصف الصلب مع ألياف فولاذية قد تناقصت من القيمة 4675 ليرة سورية بدون أي إضافة للألياف الفولاذية إلى القيمة 3865 ليرة سورية مع إضا فة 1.5% من الالياف الفولاذية المكسحة والمجعدة.

3- على الرغم من أنه حصل تزايد في كلفة ام^3 من البيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية نتيجة الإضافات البيتونية وغبار السيليكا والملدنات لكن في المقابل حصلنا على مكاسب أكبر وهو تخفيض القيمة النهائية لكلفة الم شروع والتي بلغت 17% مع البيتون عالي المقاومة مع الالياف الفولاذية نتيجة لانخفاض سماكة بلاطة الرصف الصلب.

بالإضافة إلى عائد اقتصادي آخر يتعلق بديمومة البيتون عالي المقاومة المسلح بالألياف الفولاذية وقلة تكاليف الصيانة والاستثمار على مدى عمر المشروع.

4- هناك تحسن كبير في الجانب الفني لاستخدام البيتون عالي المقاومة من ناحية تقليل المقاطع وهذا ماتم لحظة في تقليل سماكة بلاطة الرصف الصلب والأثر لاقتصادي من إضافة الالياف الفولاذية إلى البيتون عالي المقاومة كان كبيرا في حصول وفر كبير في الكلفة النهائية للمشروع.

المقترحات والتوصيات :

نظرا للظروف الراهنة وعدم التمكن من إحضار كميات من الاحضارات نوصي بمايلي:

1 -اجراء دراسات معمقة على عينات بيتون عالي المقاومة مسلح بالألياف الفولاذية بأخذ :

أ -تجربة الفلق

ب تجربة الشد المباشر

وذلك لتحديد مقاومة البيتون المسلح بالألياف الفولاذية بشكل أفضل على الشد

2 -أخذ تأثير العمر وذلك بإجراء التجارب السابقة لعمر (3-7-28-90-360) وذلك لمعرفة تأثير العمر .

3 -نظرا لاستخدام هذه المنشات في الطبيعة وتعرضها لدرجات حرارة عالية في أماكن إقلاع الطائرات وانخفاض درجات الحرارة في الشتاء يفضل دراسة تأثير تغير درجة الحرارة على سلوك هذا النوع من البيتون باستخدام الاحضارات المحلية.