



جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية
قسم الهندسة الإنشائية

استخدام الإضافات في تحسين أداء الجوائز البيتونية المسلحة العميقة

دراسة أعدت لنيل شهادة الدكتوراه في الهندسة المدنية – قسم الهندسة الإنشائية

إعداد

المهندس حسام بلوط

إشراف

الدكتورة المهندسة هالة حسن

المدرس في المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية

الدكتور المهندس محمد غريب

الاستاذ في قسم الهندسة الإنشائية

دمشق – سوريا

آب 2014



جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية
قسم الهندسة الإنشائية

لجنة المناقشة والحكم على أطروحة الدكتوراه في الهندسة الإنشائية بعنوان:

استخدام الإضافات في تحسين أداء الجوائز البيتونية المسلحة العميقة

إعداد : م. حسام بلوط

إشراف

د.م. هالة حسن

أ.د. محمد غريب

كلية الهندسة المدنية رئيساً	الأستاذ في قسم هندسة النقل والمواصلات الاختصاص : مواد البناء	أ.د. انداراوس سعود جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية عضواً	الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية الاختصاص : مقاومة المواد	أ.د. رياض العيسى جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية عضواً ومشرفاً	الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية الاختصاص : ميكانيك الإنشاءات	أ.د. محمد غريب جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية عضواً	الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية الاختصاص : الخرسانة المسلحة	د.م. قاسم الزحيلي جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية عضواً	الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية الاختصاص : المنشآت المعدنية	د.م. مؤيد صبح جامعة دمشق

كلمتي

رغم أحاسيسنا المتخبطة من مخاض أيام عشناها ولا ندري كيف مضت

رغم ما تكبدنا ونتكبد من آلام ...

ورغم تعبنا وأرقنا، وماخسرنا من أحلام ...

يبقى الأمل والصبر والطموح والحب، زادنا للوصول إلى أحلامنا الباقية ...

ويبقى الأمل بغد أفضل

ومن عتمة هذه الصراعات، يبرز نور النجاح بهالته الوردية

ينسينا ماعشناه من آلام ويجدد فينا رغبة الاستمرار في الحياة

ولنجاحي هذا شركاء تعجز كلماتي عن شكرهم

فماذا أقول لمن نسوا أنفسهم، ومازالوا ...

يراقبوا ويوجهوا ويصححوا ويتفانوا لئبق ونجح ونعيش الفرح

ويستمتعوا برؤيته بأعيننا... لمن رضاهم أهم مافي الوجود....

ماذا أقول لمن رافقوني وحملوا معي وفرحوا لفرحي ووقفوا بجانبني، وساندوني....

لمن أرى الأمل بعيونهم البريئة، وأشعر بمعنى الحياة بضحكتهم الصادقة....

أسماؤهم أكثر من أن تذكر وأصعب من أن تنس، مرت بصحبتهم السنين كدقائق، ساندوني، رافقوني بخطواتي وأفراحي

وأحزاني....

امتنان وتقدير

إلى الرجل المعلم، الأخ الكبير والصديق العزيز، الأستاذ الدكتور محمد غريب، الذي كان وما زال بجانبني، ما بخل بوقته وعلمه ونصائحه وخبرته العلمية ليدعم بحثي ورسالتني....

إلى الدكتورة هالة حسن، كانت مثل الصديقة التي ساندتني ووجهتني وأعطت الكثير مما لديها من علم وخبرة....

إلى كل من وقف بجانبني، أرشدني علمياً، ساعدني في أداء تجاربي، وصقل معلومات بحثي....

إلى أعضاء لجنة الحكم الأفاضل الذين أغنوا البحث بملاحظاتهم القيمة وتوجيهاتهم المفيدة....

إلى كلية الهندسة المدنية الغالية، بيتي الثاني، التي قضيت فيها جُلّ وقتي بتعب ومتعة، بألم وسعادة،

بكل أطوار حياتي، أيام لا تنسى....

وإلى قسم الهندسة الإنشائية، أساتذة ومدرسين ومهندسين، رفاق الدرب وصحبة الدراسة....

إلى الأم الجريحة، التي تنزف كل يوم، تبكي، تتألم، تشعر بجراح أبنائها وآلامهم،

نعدها سنبقى على أرضها نصمد، نقاوم، ونكافح حتى تعود ربوعها خضراء غنية وخصبة....

وحتى تشرق شمسها ألقا وفرحا من جديد....

إلى سوريا الغالية.....

تصريح

Declaration

إن هذه الأطروحة والتي هي بعنوان : "استخدام الإضافات في تحسين أداء الجوائز البيتونية المسلحة العميقة"، قد أعدت للحصول على شهادة الدكتوراه في الهندسة الإنشائية من جامعة دمشق- كلية الهندسة الإنشائية. إن العمل هو من إعداد الباحث بنفسه، ماعدا ما تم الإشارة إليه في ضمن النص، وهذا العمل لم يتم تقديمه للحصول على أية درجة أخرى. تم بالإعتماد على المادة العلمية في هذه الأطروحة نشر أربع مقالات علمية كالتالي:

١- حسام بلوط ومحمد غريب وهالة حسن (2013). "دراسة تجريبية مقارنة لتأثير الإضافات الصناعية على مقاومات البيتون"، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، قُبلت للنشر بتاريخ 20/8/2013.

٢- حسام بلوط ومحمد غريب وهالة حسن (2013). "دراسة تأثير الألياف الفولاذية على سلوك الجوائز البيتونية المسلحة العميقة"، مجلة بحوث جامعة حلب- سلسلة البحوث الهندسية، قُبلت للنشر بتاريخ 31/10/2013.

٣- حسام بلوط ومحمد غريب وهالة حسن (2013). "دراسة تأثير الإضافات على سلوك الجوائز البيتونية المسلحة"، مجلة بحوث جامعة حلب- سلسلة البحوث الهندسية، قُبلت للنشر بتاريخ 31/10/2013.

٤- حسام بلوط ومحمد غريب وهالة حسن (2013). "دراسة تأثير الألياف الفولاذية على مقاومات وسلوك البيتون"، مجلة بحوث جامعة حلب- سلسلة البحوث الهندسية، قُبلت للنشر بتاريخ 16/ 7/2013.

م. حسام بلوط

ملخص البحث

Abstract

يعتبر البيتون مادة الإنشاء الأساسية في تنفيذ المباني، وتنعكس خواصه ومقاومته مباشرة على مقاومات العناصر الإنشائية، وأبعادها، وباعتبار البيتون مادة ضعيفة على الشد، بعكس مقاومته العالية على الضغط، مما دفع الباحثين لدراسة امكانية تحسين مقاومته على الشد من خلال تحسين مكوناته واستخدام اضافات تحسن من خواصه، لتنعكس على أداء العناصر الإنشائية.

تم في هذا البحث دراسة تأثير الاضافات المحلية (الألياف الفولاذية، وألياف البولي بروبيلين، والألياف الزجاجية، وبودرة السليكا)، على مقاومات البيتون لكل من الضغط، والشد الناجم عن الإنعطاف، والشد الناجم عن الفلق، تجريبياً، بالإضافة لدراسة تأثير استخدام تلك الإضافات على سلوك الجوائز العادية والعميقة، ودور هذه الألياف كبديل للتسليح العرضي فيها، من خلال دراسة تأثير الإضافات على الجوائز البيتونية المسلحة العادية، والجوائز العميقة، والمسلحة بتسليح كامل، وبتسليح انعطاف فقط.

كما تم دراسة تأثير الألياف الفولاذية المحلية، والمستخدمة لأغراض غير إنشائية على سلوك الجوائز العادية والعميقة، تحليلياً باستخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method,) بواسطة البرنامج الإنشائي (ABAQUS, V6.12-1)، وذلك من خلال مقارنة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة دون إضافات، مع الجوائز البيتونية المسلحة مع الألياف الفولاذية، وذلك لكل من حالتي الجوائز بتسليح كامل، وأخرى بتسليح انعطاف فقط، ومقارنتها مع النتائج التجريبية.

أظهرت الدراسة الحالية الدور المهم للألياف الفولاذية المحلية المستخدمة في البحث، كبديل للتسليح العرضي، إضافة إلى دورها المهم في زيادة مطاوعة البيتون، وتحسين عمل الجوائز على التعب، كما أظهرت الدور المهم للإضافات في تحسين مواصفات البيتون على كل من الضغط، والشد، بنسب تختلف تبعاً لنوع الإضافة ونسبتها.

فهرس المحتويات

ii	كلمتي
iii	امتنان وتقدير
iv	تصريح
v	ملخص البحث
vi	فهرس المحتويات
xi	فهرس الأشكال
xvi	فهرس الجداول
xviii	الرموز
1	الفصل الأول – المقدمة
1	1-1- مقدمة
3	2-1- مشكلة البحث واهميته
3	3-1- الهدف من البحث
3	4-1- منهجية البحث
4	5-1- محتويات الأطروحة
5	الفصل الثاني – البيتون ومكوناته
5	1-2- مقدمة
5	2-2- مميزات البيتون
6	3-2- مكونات البيتون
6	1-3-2- الإسمنت
7	2-3-2- الحصويات
8	3-3-2- الماء
8	4-3-2- الإضافات
9	1-4-3-2- الألياف الفولاذنية
10	2-4-3-2- الألياف الزجاجية

11	3-4-3-2- ألياف البولي بروبيلين
13	4-4-3-2- بودة السيليكا
14	4-2- العوامل المؤثرة على خواص البيتون
14	1-4-2- تأثير الإسمنت
14	2-4-2- تأثير الحصىات
15	3-4-2- تأثير الماء
16	4-4-2- تأثير الإضافات
16	5-4-2- تأثير الشوائب
16	5-2- المقاومة الميكانيكية للبيتون على الضغط
16	1-5-2- حساب المقاومة الاسطوانية المميزة للبيتون
17	2-5-2- المعالجة الإحصائية لنتائج الإختبار
20	6-2- المقاومة الميكانيكية للبيتون على الشد
20	1-6-2- إختبار البيتون على الشد الناجم عن الفلق
20	2-6-2- إختبار البيتون على الشد الناجم عن الإنعطاف
20	7-2- مراحل إنتاج البيتون
21	8-2- خواص الحصىات وإختباراتها
21	1-8-2- التدرج الحبي
22	1-1-8-2- التدرج الحبي للبحص
24	2-1-8-2- التدرج الحبي للرمل
25	2-8-2- الوزن الحجمي الردمي
25	3-8-2- الوزن النوعي والإمتصاص
27	4-8-2- المكافئ الرملي
28	9-2- تصميم الخلطات البيتونية

31	الفصل الثالث – الجوائز البيتونية
31	1-3- مقدمة
31	2-3- الجوائز البيتونية المسلحة
32	1-2-3- إنهيار الإنعطاف
36	2-2-3- إنهيار القص
36	3-3- الجوائز العميقة
39	4-3- تصميم الجوائز العميقة وفق الكود العربي السوري 2013
39	1-4-3- تعاريف
40	2-4-3- الإشتراطات البعدية للجائز العميق
40	3-4-3- مساحات التسليح الدنيا والعظمى للجوائز العميقة
40	4-4-3- ترتيبات التسليح للجوائز العميقة
42	5-4-3- تحليل الجوائز العميقة
43	الفصل الرابع – الدراسة المرجعية
43	1-4- مقدمة
43	2-4- تأثير الإضافات على خواص ومقاومات البيتون
48	3-4- تأثير الإضافات على الجوائز البيتونية المسلحة
56	4-4- ملاحظات على الدراسات السابقة
57	الفصل الخامس – الدراسة التجريبية
57	1-5- مقدمة
57	2-5- تحديد مواصفات مكونات البيتون
58	1-2-5- الوزن النوعي والحجمي ونسبة الإمتصاص للحصويات
58	2-2-5- التدرج الحبي للحصويات
61	3-2-5- المكافئ الرملي للرمل المستخدم
61	4-2-5- الإسمنت البورتلاندي
61	3-5- الإضافات المستخدمة

61	1-3-5- الألياف الفولاذية
62	2-3-5- الألياف الزجاجية
62	3-3-5- ألياف البولي بروبيلين
63	4-3-5- بودرة السيليكا
64	4-5- تعديل (تنسيب) الحصويات
66	5-5- تصميم الخلطات البيتونية
67	6-5- الإختبارات على البيتون
68	1-6-5- إختبار البيتون على الضغط
72	2-6-5- إختبار البيتون على الشد الناجم عن الانعطاف
76	3-6-5- إختبار البيتون على الشد الناجم عن الفلق
79	4-6-5- العلاقة بين القوى الناظمية والإنتقالات $P-\delta$
81	7-5- الإختبارات على الجوائز البيتونية المسلحة العادية
81	1-7-5- وصف الجوائز العادية المختبرة
84	2-7-5- وصف التجربة
85	3-7-5- نتائج التجارب على الجوائز العادية
85	4-7-5- حمولة الإنهيار
87	5-7-5- تشققات الجوائز العادية
92	6-7-5- علاقة الحمولة- الإنتقال
96	8-5- الإختبارات على الجوائز البيتونية المسلحة العميقة
97	1-8-5- وصف الجوائز العميقة المختبرة
99	2-8-5- وصف التجربة
101	3-8-5- نتائج التجارب على الجوائز العميقة
101	4-8-5- حمولة الإنهيار
104	5-8-5- تشققات الجوائز العميقة
110	6-8-5- علاقة الحمولة- الإنتقال

115	الفصل السادس - التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة
115	1-6- مقدمة
116	2-6- توصيف النموذج
116	3-6- التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة
116	1-3-6- العناصر المستخدمة في النموذج
117	2-3-6- الشروط المحيطية للنموذج المدروس
117	3-3-6- الأحمال المطبقة على النموذج
117	4-3-6- نوع التحليل المستخدم في النموذج
117	5-3-6- توصيف المواد المستخدمة في النموذج
118	1-5-3-6- مقاومة البيتون على الضغط
122	2-5-3-6- مقاومة البيتون على الشد
126	3-5-3-6- مقاومة الفولاذ على الشد
127	6-3-6- التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح
131	7-3-6- دراسة أثر تقارب الشبكة
132	8-3-6- النماذج المدروسة
133	4-6- نتائج الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة
151	5-6- العلاقات التجريبية
153	الفصل السابع - النتائج والتوصيات
153	1-7- ملخص وتحليل النتائج
157	2-7- نتائج الدراسة
158	3-7- التوصيات لنتائج مستقبلية
159	المراجع المستخدمة
163	Abstract

فهرس الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
1	نماذج من المنشآت البيتونية المسلحة	الشكل (1-1):
2	نماذج من الجوائز البيتونية المسلحة	الشكل (2-1):
2	البيتون مع الإضافات	الشكل (3-1):
9	الألياف الفولاذية	الشكل (1-2):
11	الألياف الزجاجية	الشكل (2-2):
12	ألياف البولي بروبيلين	الشكل (3-2):
13	بودرة السيلكا	الشكل (4-2):
32	انهيار الإنعطاف في وسط الجائز (Foley and Buckhouse, 1998)	الشكل (1-3):
33	تصرف الإنعطاف للجائز غير المتشقق (Carino and Clifton, 1995)	الشكل (2-3):
34	تصرف الإنعطاف للجائز المتشقق في المرحلة المرنة (Carino and Clifton, 1995)	الشكل (3-3):
35	تصرف الإنعطاف للجائز المتشقق في المرحلة الحدية (Carino and Clifton, 1995)	الشكل (4-3):
36	انهيار القص (Nilson, 1997)	الشكل (5-3):
37	جائز عميق في مبنى متعدد الطوابق (Kong, 2003)	الشكل (6-3):
37	جائز عميق كجدار قبو، أو كجزء من مبنى (Kong, 2003)	الشكل (7-3):
38	مجموعة طوابق محمولة على جائز عميق ظفري (Kong, 2003)	الشكل (8-3):
39	نماذج الجوائز العميقة (الكود العربي السوري، 2013)	الشكل (9-3):
39	أبعاد الجائز العميق	الشكل (10-3):
41	توزيع التسليح في الجائز العميق بسيط الاستناد. (الكود العرب السوري، 2013)	الشكل (11-3):
41	تعليق الأحمال في الجائز العميق. (الكود العربي السوري، 2013)	الشكل (12-3):
44	تأثير النسبة الحجمية للألياف على منحنى $(\sigma-\epsilon)$ (Endginton, et al, 1979)	الشكل (1-4):
44	تأثير عامل الشكل l/d على درجة تشغيل الخلطة (Endginton, et al, 1979)	الشكل (2-4):
45	تأثير عامل الشكل l/d على المنحنى $(\sigma-\epsilon)$ (Fanella, et al, 1985)	الشكل (3-4):

- 46 الشكل (4-4): الألياف الفولاذية (Altun, et al, 2007)
- 47 الشكل (5-4): ألياف البولي بروبيلين (Hsie, et al, 2008)
- 49 الشكل (6-4): العلاقة بين الانتقال والحمولة للجوائز البيتونية المدروسة (Altun, et al., 2007)
- 49 الشكل (7-4): تغير الحمولة تبعاً لنسبة الإضافة ، ومقاومة البيتون (Altun, et al., 2007)
- 50 الشكل (8-4): تغير مؤشر الطاقة تبعاً لنسبة الإضافة، ومقاومة البيتون (Altun, et al., 2007)
- 51 الشكل (9-4): تغير الحمولة تبعاً لعرض الجائر العميق المدروس (Zhang and Tan , 2007)
- 51 الشكل (10-4): شكل التشققات في الجوائز العميقة المدروسة بتغير عرضها المدروس (Zhang and Tan , 2007)
- 52 الشكل (11-4): نماذج الجوائز العميقة المختبرة (Vengatachalapathy and Ilangovan, 2010)
- 53 الشكل (12-4): منحني السهم- الحمولة للجوائز العميقة المختبرة (Vengatachalapathy and Ilangovan, 2010)
- 55 الشكل (13-4): علاقة السهم – الحمولة للجوائز المدروسة (Krishna et al, 2011)
- 59 الشكل (1-5): التدرج الحبي للبحص المستخدم
- 60 الشكل (2-5): التدرج الحبي للرمل المستخدم
- 61 الشكل (3-5): الألياف الفولاذية المستخدمة
- 62 الشكل (4-5): الألياف الزجاجية المستخدمة
- 63 الشكل (5-5): ألياف البولي بروبيلين المستخدمة
- 63 الشكل (6-5): بودرة السيلكا المستخدمة
- 64 الشكل (7-5): التدرج الحبي للبحص الخليط
- 65 الشكل (8-5): التدرج الحبي للرمل الخليط
- 65 الشكل (9-5): التدرج الحبي الحقيقي للحصويات المستخدمة
- 69 الشكل (10-5): نسب زيادة المقاومة على الضغط باستخدام الألياف الفولاذية
- 69 الشكل (11-5): شكل الانهيار للعينات البيتونية الأولى المختبرة على الضغط
- 71 الشكل (12-5): نسب زيادة المقاومة على الضغط باستخدام الإضافات
- 71 الشكل (13-5): شكل الانهيار للعينات البيتونية الثانية المختبرة على الضغط
- 73 الشكل (14-5): نسب زيادة المقاومة على الشد الناجم عن الانعطاف باستخدام الألياف الفولاذية

- 73 الشكل (15-5): شكل الانهيار للعينات المختبرة على الشد الناجم عن الانعطاف للخلطات البيتونية الأولى
- 74 الشكل (16-5): نسب زيادة المقاومة على الشد الناجم عن الانعطاف باستخدام الإضافات
- 75 الشكل (17-5): شكل الانهيار للعينات المختبرة على الشد الناجم عن الانعطاف للخلطات البيتونية الثانية
- 76 الشكل (18-5): نسب زيادة المقاومة على الشد الناجم عن الفلق باستخدام الألياف الفولاذية
- 77 الشكل (19-5): شكل الانهيار للعينات المختبرة على الشد الناجم عن الفلق للخلطات البيتونية الأولى
- 78 الشكل (20-5): نسبة زيادة المقاومة على الشد الناجم عن الفلق باستخدام الإضافات
- 79 الشكل (21-5): شكل الانهيار للعينات المختبرة على الشد الناجم عن الفلق للخلطات البيتونية الثانية
- 79 الشكل (22-5): العلاقة بين القوة والانتقال الشاقولي لنماذج الخلطات مع الألياف الفولاذية
- 80 الشكل (23-5): العلاقة بين القوة والانتقال الشاقولي لنماذج الخلطات مع الألياف الصناعية
- 82 الشكل (24-5): شكل التحميل وتسليح الجانز العادي المختبر
- 83 الشكل (25-5): مراحل تنفيذ الجوائز العادية المختبرة
- 84 الشكل (26-5): كروكي للجائز العادي المختبر مع أجهزة قياس الانتقالات على جهاز الاختبار
- 84 الشكل (27-5): توضع الجائز العادي على جهاز الاختبار
- 86 الشكل (28-5): نسب تحسن مقاومات الانهيار لعينات الجوائز العادية المسلحة مع الإضافات
- 88 الشكل (29-5): مواقع خريطة التشققات لنماذج الجوائز العادية المسلحة بتسليح كامل
- 89 الشكل (30-5): نسب تحسن مقاومات البيتون للشق الأول للجوائز العادية المسلحة بتسليح كامل مع الإضافات
- 90 الشكل (31-5): مواقع خريطة التشققات لنماذج الجوائز العادية بتسليح انعطاف سفلي فقط
- 91 الشكل (32-5): نسب تحسن مقاومات البيتون للشق الأول للجوائز العادية المسلحة بتسليح انعطاف فقط مع الإضافات
- 92 الشكل (33-5): منحني الحمولة – الانتقال، للجوائز البيتونية العادية المسلحة بتسليح كامل
- 93 الشكل (34-5): منحني الحمولة – الانتقال، للجوائز البيتونية العادية المسلحة بتسليح انعطاف فقط
- 95 الشكل (35-5): تصرف الجائز البيتوني
- 96 الشكل (36-5): تأثير الألياف الفولاذية كبديل للتسليح العرضي في الجوائز العادية
- 97 الشكل (37-5): تسليح الجائز العميق المختبر
- 99 الشكل (38-5): مراحل تنفيذ عينات الاختبار للجوائز العميقة
- 100 الشكل (39-5): كروكي للجائز العميق المختبر مع أجهزة قياس الانتقالات على جهاز الاختبار
- 100 الشكل (40-5): توضع الجائز العميق المختبر على جهاز الاختبار

- 102 الشكل (5-41): نمط انهيار الجوائز العميقة المختبرة
- 103 الشكل (5-42): نسب تحسن مقاومات الانهيار لعينات الجوائز العميقة المسلحة مع الإضافات
- 105 الشكل (5-43): نماذج خريطة التشققات للجوائز العميقة بتسليح كامل
- 106 الشكل (5-44): نسب مقاومات البيتون للشق الأول في الجوائز العميقة المسلحة بتسليح كامل مع الإضافات
- 108 الشكل (5-45): نماذج خريطة التشققات في الجوائز العميقة بتسليح انعطاف سفلي فقط
- 109 الشكل (5-46): نسب ارتفاع مقاومات البيتون للشق الأول للجوائز العميقة المسلحة بتسليح انعطاف مع الإضافات
- 111 الشكل (5-47): منحني الحمولة – الانتقال، للجوائز البيتونية العميقة المسلحة بتسليح كامل
- 112 الشكل (5-48): منحني الحمولة – الانتقال، للجوائز البيتونية العميقة المسلحة بتسليح انعطاف فقط
- 114 الشكل (5-49): تأثير الألياف الفولاذية كبديل للتسليح العرضي في الجوائز العميقة
- 116 الشكل (6-1): تمثيل العنصر الفراغي C3D8 (Abaqus 6.12-Documentation)
- 116 الشكل (6-2): تمثيل العنصر الفراغي T3D2 (Abaqus 6.12-Documentation)
- 117 الشكل (6-3): تمثيل شروط الاستناد
- 118 الشكل (6-4): مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون على الضغط (Abaqus 6.12-Documentation)
- 120 الشكل (6-5): مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون على الضغط (Eurocode2, 2004)
- 121 الشكل (6-6): مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون العادي دون اضافات على الضغط
- 122 الشكل (6-7): مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون مع الألياف الفولاذية
- 122 الشكل (6-8): مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون على الشد (Abaqus 6.12-Documentation)
- 124 الشكل (6-9): مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون على الشد (Eurocode2, 2004)
- 125 الشكل (6-10): التحميل الدوري اللاخطي (صغط – شد – ضغط) (Abaqus 6.12-Documentation)
- 125 الشكل (6-11): مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون العادي على الشد
- 126 الشكل (6-12): مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون مع الألياف الفولاذية على الشد
- 126 الشكل (6-13): مخطط الاجهاد – التشوه النسبي لفولاذ التسليح على الشد (Eurocode2, 2004)
- 127 الشكل (6-14): مخطط الاجهاد – التشوه النسبي لفولاذ التسليح على الشد
- 128 الشكل (6-15): شكل النابض المستخدم ، وتوضعه بين الفولاذ والبيتون ضمن النموذج
- 129 الشكل (6-16): منحني التماسك – الإنزلاق بين البيتون وفولاذ التسليح (CEB-FIB, 2010)
- 130 الشكل (6-17): منحني التماسك – الإنزلاق بين البيتون وفولاذ التسليح (CEB-FIB, 2010)

- 130 الشكل (18-6): منحني التماسك – الانتقال بين البيتون وفولاذ التسليح لنموذج التحليل
- 131 الشكل (19-6): دراسة أثر تقارب تقسيم الشبكة للنموذج المدروس
- 132 الشكل (20-6): نماذج الجوائز المختبرة
- 133 الشكل (21-6): نماذج الجوائز الاضافية
- 134 الشكل (22-6): الجائز العادي بتسليح كامل دون إضافات (B₁-0)
- 135 الشكل (23-6): الجائز العادي بتسليح كامل مع ألياف فولاذية (B₁-1)
- 136 الشكل (24-6): الجائز العادي بتسليح انعطاف فقط دون اضافات (B₂-0)
- 137 الشكل (25-6): الجائز العادي بتسليح انعطاف فقط مع ألياف فولاذية (B₂-1)
- 139 الشكل (26-6): منحني الحمولة – الانتقال للجوائز البيتونية العادية
- 141 الشكل (27-6): الجائز البيتوني العميق بتسليح كامل دون ألياف (DB₁-0)
- 142 الشكل (28-6): الجائز البيتوني العميق بتسليح كامل مع ألياف فولاذية (DB₁-1)
- 144 الشكل (29-6): الجائز البيتوني العميق بتسليح انعطاف فقط دون ألياف (DB₂-0)
- 145 الشكل (30-6): الجائز البيتوني العميق بتسليح انعطاف فقط مع ألياف فولاذية (DB₂-1)
- 147 الشكل (31-6): منحني الحمولة – الانتقال للجوائز البيتونية العميقة
- 149 الشكل (32-6): تأثير الألياف الفولاذية على المقاومات الحديدية للجوائز البيتونية المسلحة
- 150 الشكل (33-6): تأثير تسليح القص على المقاومات الحديدية للجوائز البيتونية المسلحة
- 151 الشكل (34-6): تأثير الألياف الفولاذية كبديل للتسليح العرضي

فهرس الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
14	تغير مقاومة البيتون تبعاً لعيار الاسمنت (رزوق و زين الدين، 1989)	الجدول (1-2):
17	معامل تصحيح مقاومة الضغط للبيتون وفقاً لعمر البيتون (الكود العربي السوري، 2013)	الجدول (2-2):
17	معامل تصحيح مقاومة البيتون على الضغط وفقاً لشكل العينات (الكود العربي السوري، 2013)	الجدول (3-2):
19	المقاومة المميزة للخرسانة المراقبة (الكود العربي السوري، 2013)	الجدول (4-2):
19	المقاومة المميزة للخرسانة غير المراقبة (الكود العربي السوري، 2013)	الجدول (5-2):
22	المناخل القياسية للمهزات وفق المواصفات السورية (المواصفات السورية، 2004)	الجدول (6-2):
22	المناخل القياسية للمهزات وفق المواصفات البريطانية (رزوق و زين الدين، 1989)	الجدول (7-2):
22	التدرج الحبي النظامي للبحص (ASTM C33,2000)	الجدول (8-2):
23	التدرج الحبي النظامي للبحص وفق المواصفات السورية (المواصفات السورية، 2004-2000 ASTM C33)	الجدول (9-2):
24	التدرج الحبي النظامي للرمل (ASTM C33,2000)	الجدول (10-2):
24	التدرج الحبي النظامي للرمل وفق المواصفات السورية (المواصفات السورية، 2004)	الجدول (11-2):
29	العلاقة بين هبوط أبرامس ومعامل التراص ومجال استخدام البيتون (ASTM, 2000)	الجدول (12-2):
29	هبوط أبرامس ومعامل التصحيح وفقاً لقوام البيتون (ASTM, 2000)	الجدول (13-2):
29	المقاس الأعظمي للحصويات تبعاً لعيار الماء ونسبة الفراغات (ASTM, 2000)	الجدول (14-2):
30	تحديد نسبة الماء للاسمنت تبعاً للمقاومة المتوسطة المطلوبة (ASTM, 2000)	الجدول (15-2):
30	حجم الحصويات الخشنة وفقاً ل Dmax ومعامل النعومة (ASTM, 2000)	الجدول (16-2):
30	معامل تصحيح الحصويات الخشنة (ASTM, 2000)	الجدول (17-2):
58	مواصفات الحصويات المستخدمة	الجدول (1-5):
66	الأوزان والنسب الوزنية التصميمية لتصميم نماذج الخلطات البيتونية مع الألياف الفولاذية	الجدول (2-5):
67	الأوزان والنسب الوزنية التصميمية لتصميم نماذج الخلطات البيتونية مع الإضافات الصناعية	الجدول (3-5):
68	مقاومات العينات لنماذج الخلطات البيتونية الأولى مع الألياف الفولاذية	الجدول (4-5):
70	مقاومات العينات لنماذج الخلطات البيتونية الثانية مع الألياف الصناعية	الجدول (5-5):
81	مواصفات فولاذ التسليح المستخدم	الجدول (6-5):

82	الجدول (7-5): عينات الجوائز العادية المختبرة
85	الجدول (8-5): حمولة الانهيار وحمولة الشق الأول لكل من الانعطاف والقص للجوائز العادية المدروسة
95	الجدول (9-5): الطاقة الكلية للجوائز العادية
98	الجدول (10-5): عينات الجوائز العميقة المختبرة
101	الجدول (11-5): حمولة الانهيار وحمولة الشق الأول لكل من الانعطاف والقص للجوائز العميقة المدروسة
107	الجدول (12-5): نسب امتداد تشققات الانعطاف والقص للجوائز العميقة بتسليح كامل
110	الجدول (13-5): نسب امتداد تشققات الانعطاف والقص للجوائز العميقة بتسليح انعطاف فقط
113	الجدول (14-5): الطاقة الكلية للجوائز العميقة
129	الجدول (1-6): علاقات المنحني التماسك – الإنزلاق بين البيتون وفولاذ التسليح (CEB-FIB, 2010)
133	الجدول (2-6): حمولة الانهيار للجوائز العادية (h=150 mm) في كل من الدراسة التحليلية والتجريبية
139	الجدول (3-6): حمولة الانهيار للجوائز العميقة (h=650 mm) في كل من الدراسة التحليلية والتجريبية
148	الجدول (4-6): حمولة الانهيار للجوائز في الدراسة التحليلية

الرموز

Symbols

اجهاد البيتون على الفلق	f_{sp}
اجهاد البيتون على الإنحناء	f_{cb}
اجهاد البيتون على الشد	f_{ct}
حمولة الإنهيار للجائز	N_U
الحمولة الموافقة للشق الأول على العزم	N_{mcr}
الحمولة الموافقة للشق الأول على القص	N_{Scr}
معامل انخفاض القساوة المرنة للبيتون على الضغط	d_c
معامل انخفاض القساوة المرنة للبيتون على الشد	d_t
الإجهاد المقابل للتلدن الأولي للبيتون على الضغط	σ_{co}
الإجهاد الحدي للبيتون على الضغط	σ_{cu}
إجهاد الانهيار على الشد والموافق لتشكل أول شق دقيق في البيتون	σ_{to}
تشوه التحطم للبيتون على الضغط	$\tilde{\epsilon}_c^{in}$
تشوهات لدنة على الضغط في البيتون	$\tilde{\epsilon}_c^{pl}$
تشوه التشققات على الشد	$\tilde{\epsilon}_t^{ck}$
تشوهات لدنة على الشد في البيتون	$\tilde{\epsilon}_t^{pl}$
معامل مرونة البيتون القاطع مقدراً بالـ N/mm^2 .	E_{cm}
معامل المرونة الأنبي لمادة جدار البلوك مقدراً بالـ N/mm^2 .	E_m
معامل المرونة الابتدائي غير المتشقق للبيتون	E_o
معامل مرونة فولاذ التسليح	E_s
المقاومة المميزة لمادة البيتون على الضغط عند عمر ٢٨ يوم مقدرة بالـ N/mm^2 .	f_{ck}
المقاومة على الضغط بعد ٢٨ يوم بشروط الحفظ النظامية مقدرة بالـ N/mm^2 .	f_{cm}
إجهاد الشد الأعظمي الذي يتحمله البيتون مقدراً بالـ N/mm^2 .	f_{ctm}
مقاومة المونة المتصلبة على الضغط بعد ٢٨ يوم بشروط الحفظ النظامية مقدرة بالـ N/mm^2 .	f_m

إجهاد السيلان في فولاذ التسليح.	f_y
معامل استعادة قساوة الببتون على الضغط.	w_c
معامل استعادة قساوة الببتون على الضغط.	w_c
معامل استعادة قساوة الببتون على الشد.	w_t
قيم التشوهات النسبية للببتون الموافقة للإجهاد الأعظمي f_{cm} .	ϵ_{c1}
قيمة التشوه النسبي الأعظمي للببتون على الضغط.	ϵ_{cu1}
التشوه المرن الموافق للببتون قبل التحطم على الضغط.	ϵ_{oc}^{el}
التشوه المرن الموافق للببتون قبل التشقق على الشد.	ϵ_{ot}^{el}
إجهادات الشد في الببتون.	σ_t
إجهاد التماسك بين الببتون وفولاذ التسليح عند الانهيار مقدراً بالـ N/mm^2 .	τ_f
إجهاد التماسك الأعظمي بين الببتون وفولاذ التسليح مقدراً بالـ N/mm^2 .	τ_{max}

الفصل الأول

Chapter 01

المقدمه

Introduction

1-1 مقدمة (Introduction):

يعتبر البيتون من أكثر المواد استخداماً وأهمية في البناء، نظراً لسهولة تشكيله، ولما يتميز به من مقاومة عالية على الضغط، وانخفاض تكلفته مقارنة بالمواد الإنشائية الأخرى، كما يمتاز البيتون بالديمومة، ومقاومة الحريق وذلك عند اتخاذ الإجراءات والتوصيات اللازمة عند التنفيذ. أما المنشآت البيتونية ونتيجة أشكالها وحمولاتها المختلفة، تظهر فيها إجهادات شد، وبما أن البيتون يعمل بشكل أساسي على الضغط، يتم إضافة حديد التسليح القادر على تحمل الإجهادات الشادة إلى المنشآت البيتونية في مناطق نشوء هذه الإجهادات، إضافة لدور التسليح في زيادة مطاوعة المقاطع البيتونية، نظراً لطبيعة الإنهيار الهش للبيتون.

تصنف العناصر البيتونية في منشآت البيتون المسلحة المبين نماذج منها في الشكل (1-1)، حسب طبيعتها ووظيفتها، إلى البلاطات والجوائز والأعمدة والجدران والأقواس والقشريات.



الشكل (1-1): نماذج من المنشآت البيتونية المسلحة.

وتعرف الجوائز بأنها عناصر خطية تؤمن نقل الحمولة إلى الأعمدة أو الجدران الحاملة للأساسات، كما عرف الكود الأوروبي (Eurocode2, 2004) الجوائز بأنها العناصر التي لا يقل طولها عن ثلاثة أضعاف سماكة مقطعها كما في الشكل (a-2-1)، و إلا فتعتبر جوائز عميقة كما في الشكل (b-2-1).

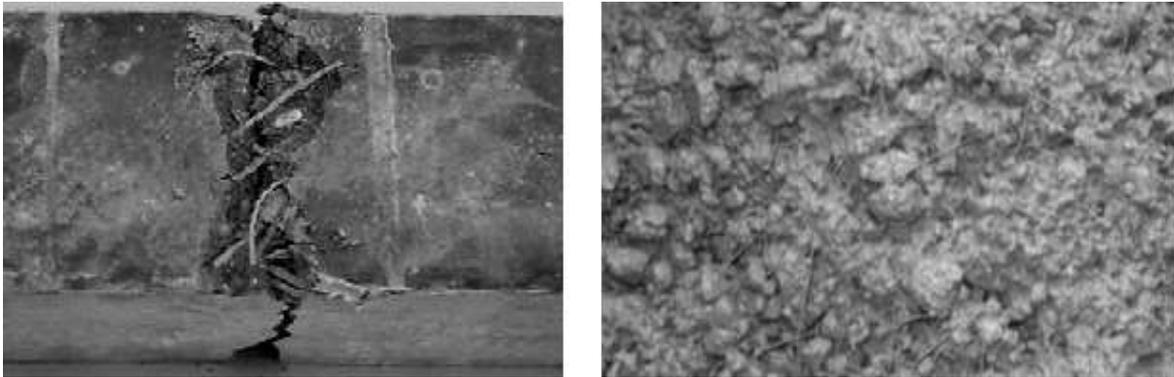


b- جائر عميق

الجوائز العادية

الشكل (2-1): نماذج من الجوائز البيتونية المسلحة.

وباعتبار البيتون مادة ضعيفة على الشد وتعاني غالباً من التشققات في الحالة اللدنة والمتصلبة، ومن التقلص عند التصلب، فإن هذه التشققات تتطور مع الزمن لتخترق البيتون وتضعف من خاصية مقاومته للماء وتعرض الجزء الداخلي منه للمواد المخربة، كالرطوبة، والكبريتات الحمضية، مما يسبب صدأ فولاذ التسليح وتآكله، وهذا ما زاد من الإهتمام مؤخراً بتحسين خواص البيتون على الشد، ومن أهم طرق تحسين خواص البيتون هو استخدام الإضافات بأنواعها المختلفة كما في الشكل (3-1)، ومن هذه الإضافات، الألياف الفولاذية، الألياف الكربونية، الألياف الزجاجية، الإضافات الكيماوية كرماد أفران التعدين وغيرها من المواد الأخرى، والتي يختلف تأثيرها على خواص البيتون.



الشكل (3-1): البيتون مع الإضافات.

من الأسس الهامة لتحسين خواص البيتون، هو اختيار الإضافة المثلى التي تلعب الدور الرئيسي في تحسين خواص البيتون ومدى انعكاس ذلك على تحسين أداء العناصر البيتونية، مع الحفاظ على كلفة مادية مقبولة ومنسجمة مع الجدوى التصميمية من استخدام هذه الإضافات.

2-1- مشكلة البحث وأهميته (Problem and Importance):

تعتبر الإضافات من العناصر المهمة والضرورية التي يمكن استخدامها في تصنيع البيتون، لدورها المهم في تحسين خواصه ومقاومته، ومن هنا برزت أهمية دراسة تأثير الإضافات المحلية على مقاومات البيتون المصنَّع محلياً، ودراسة تأثير هذه الإضافات على سلوك الجوائز البيتونية العادية، والعميقة.

3-1- الهدف من البحث (Objective of research):

يهدف البحث إلى القيام بدراسة تأثير الإضافات المحلية (الألياف الفولاذية- ألياف البولي بروبيلين- الألياف الزجاجية – البولي بروبيلين- السيليكافيوم)، على مقاومات البيتون، ودراسة تأثير تلك الإضافات على سلوك كل من الجوائز العادية، والعميقة، تجريبياً، وتحليلياً.

4-1 منهجية البحث (Methodology of research):

تتضمن الدراسة، دراسة مخبرية اجريت في مخبر البيتون ومواد البناء في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق، ودراسة تحليلية (experimental and analytical Studies)، وفق المراحل التالية:

١- الدراسة المخبرية: تضمنت:

- أ- الإختبارات التحضيرية، تشمل تحديد مواصفات المواد اللازمة لتصنيع البيتون (البص- الرمل- الاسمنت)، وكذلك الإضافات المستخدمة في البحث.
- ب- اختبار مقاومات البيتون على كل من الضغط، الشد الناجم عن الانعطاف، والشد الناجم عن الفلق.
- ت- اختبار سلوك الجوائز العادية باستخدام الإضافات المحلية.
- ث- اختبار سلوك الجوائز العميقة باستخدام الإضافات المحلية.

٢- الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method, FEM) بواسطة البرنامج الإنشائي (ABAQUS, V6.12-1)، والذي يأخذ بعين الاعتبار لاختطية المادة (Materially Nonlinear Analysis, MNA)، في بناء النموذج للجوائز العادي، والجوائز العميق، ودراسة سلوكهما تحت تأثير أحمال شاقولية مركزة في نقطتي ثلث المجاز، والمقارنة مع الدراسة التجريبية.

5-1- محتويات الأطروحة (Thesis contents):

تم تقسيم هذه الرسالة إلى سبعة فصول :

الفصل الأول: مقدمة عن هذا البحث، بالإضافة إلى مشكلة البحث، والهدف منه ومراحل الدراسة، ومحتويات هذه الأطروحة.

الفصل الثاني: تطرّق هذا الفصل إلى البيتون، ميزاته، مكوناته، والإضافات المستخدمة في البيتون وأنواعها، إضافة إلى خواص مكونات البيتون، تأثير المكونات وخواصها على خواص البيتون، وتصميم الخلطات البيتونية.

الفصل الثالث: يتحدث عن الجوائز البيتونية المسلحة بنوعها العادية، العميقة، وتصميمها.

الفصل الرابع: تعرّض للدراسات المرجعية والتجريبية السابقة.

الفصل الخامس: يتضمن القسم التجريبي من البحث والذي يشمل: دراسة خواص البحص والرمل كمكونات رئيسة للبيتون المصنّع محلياً، خواص الإضافات، دراسة خواص البيتون على الضغط وعلى الشد الناجم عن كل من الانعطاف والفلق لكل من البيتون العادي دون إضافات، والبيتون مع الإضافات المختلفة (الألياف الفولاذية- ألياف البولي بروبيلين – الألياف الزجاجية – بودرة السيليكا)، لدراسة تأثير الإضافات في تحسين خواص البيتون العادي، وكذلك دراسة تأثير الإضافات (الفولاذية – البولي بروبيلين – بودرة السيليكا) على سلوك كل من الجوائز العادية والعميقة، المسلحة بتسليح انعطاف وقص معاً، أو بتسليح انعطاف فقط، لدراسة مدى فاعليتها في تحسين مقاومات هذه الجوائز وتحسين سلوكها وإمكانية الاستغناء عن التسليح العرضي في الجوائز.

الفصل السادس: يتضمن التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة، حيث تم في البداية الحديث عن البرنامج الإنشائي المستخدم، والنماذج البنوية لكل من المواد المشكلة للجلمة، كالبيتون وفولاذ التسليح، واستعراض العناصر المحدودة المستخدمة في بناء النموذج، والطرق التي تم اختيارها لربط العناصر الممثلة للمواد المختلفة، ومن ثم تم اختيار التحليل المناسب والشروط المحيطة وشرح عملية بناء النموذج بمراحله المختلفة، كما تم في نهاية الفصل التحقق من صحة النموذج العددي بمقارنة نتائجه مع نتائج الدراسة التجريبية المعتمدة، واستخلاص النتائج.

الفصل السابع: يتضمن استعراض النتائج والتوصيات التي تم التوصل إليها من البحث.

الفصل الثاني

Chapter 02

البيتون ومكوناته

Concrete and its components

1-2- مقدمة:

البيتون هو مادة متصلبة تتكون من خلط الحصىيات مع الماء والإسمنت كرابط كيميائي يتفاعلان متحولين من الحالة السائلة إلى مادة متصلبة تقوم بمهمة ربط الحصىيات. ويعتبر البيتون العنصر الأساسي في عملية البناء، وذلك كونه يتمتع بجملة من الميزات أهمها توفر مواد الأولية محلياً بكثرة، إضافة إلى مقاومته العالية على الضغط.

2-2- مميزات البيتون:

- يتمتع البيتون بجملة من الميزات تجعله مادة البناء الأساسية منها: (رزوق وزين الدين, 1989)
- 1- إن مقاومة البيتون العالية نسبياً على الضغط تجعله ذو فاعلية جيدة في امتصاص قوى الضغط بأقل كلفة ممكنة مقارنة مع مواد البناء الأخرى .
 - 2- إن العناصر الأساسية المكونة للبيتون متوفرة، ويمكن تصنيعها محلياً دون اللجوء إلى شراء مواد أولية، كما أنها متوفرة بكميات كبيرة لا تنضب مع الزمن، وبذلك تبقى مادة البيتون مادة البناء المتوفرة دائماً.
 - 3- المرونة المعمارية للبيتون وإمكانية تشكيله في قوالب وفقاً للتصميم المطلوب.
 - 4- مقاومته للحرارة والمؤثرات الكيميائية، بشكل أفضل من عدد كبير من المواد الأخرى.
 - 5- مقاومة الحمولات الديناميكية، والهزات الأرضية، وذلك من خلال استخدام قضبان التسليح مع البيتون، مما يعطي عناصر البيتون المسلح مطاوعة تمكنها من تحمل الحمولات المتناوبة بشكل جيد.
 - 6- ديمومة البيتون، وازدياد مقاومته مع الزمن.
 - 7- قلة تكاليف الصيانة بالمقارنة مع المنشآت المنفذة من مواد بناء أخرى.

كما يوجد لمادة البيتون عدة مآخذ يمكن التغلب عليها باستعمال طرق حديثة في الإنشاء، أو مواد إضافية تحسن نوعية البيتون، ونذكر من هذه المآخذ :

- ١- زيادة الوزن الذاتي، وصعوبة إجراء التعديلات بعد تصلب البيتون.
- ٢- يعتبر البيتون بشكل عام مادة غير كتيمة، ولا بد من معالجتها بشكل خاص، أو طلائها بمادة كتيمة من أجل تخزين المواد السائلة.
- ٣- إمكانية ظهور التشققات، وضرورة حمايتها.
- ٤- ضعف مقاومته لقوى الشد، والقص.
- ٥- ظاهرتي الزحف والإنكماش.

لا بد من الإشارة إلى أن هذه المآخذ رغم أهميتها لا تشكل عائقاً أمام استخدام البيتون الذي أصبح واسع الانتشار.

2-3- مكونات البيتون:

ينتج البيتون من تصلب خليط محدد الصفات والكميات، مؤلف من حصويات (رمل وحبص) ذات تركيب حبي محدد مسبقاً ممزوج بشكل جيد ومتجانس مع العجينة الإسمنتية (ماء وإسمنت) بنسب محددة، حيث يتفاعل الإسمنت مع الماء ويشكل مركباً يتصلب مع الزمن، ويقوم بعملية الربط الجيد للحصويات.

ونذكر فيما يلي المواد المكونة للبيتون :

2-3-1- الإسمنت:

يدخل الإسمنت ضمن مجموعة المواد الرابطة المعدنية أو غير العضوية (Gambhir,1995)، ويقصد بالمواد الرابطة المعدنية بأنها مواد على شكل مساحيق ناعمة تتحول إلى عجينة لدنة عند خلطها مع الماء، حيث تتحول هذه العجينة إلى مادة حجرية قاسية بتأثير سلسلة من العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تطرأ عليها بعد الخلط مع الماء.

تعد المواد الأولية المستعملة في صناعة الإسمنت البورتلندي متوفرة في الطبيعة بكثرة وتعتمد عملية تصنيع الإسمنت بشكل أساسي على تسخين مزيج مطحون من مادتي الغضار والحجار الكلسية، ويتم ذلك في فرن خاص تتجاوز الحرارة فيه 1400°C ، مما يؤدي إلى تفكك المواد الأولية وتفاعلها مع بعضها لتشكل مزيجاً من عدة مركبات يدعى بالكلينكر، حيث يطحن هذا الناتج بعد مزجه بنسب معينة من الجص للحصول على الإسمنت البورتلندي.

يوجد عدة أنواع من الإسمنت (المواصفات القياسية السورية، 2004)، نذكر منها:

- ١- الإسمنت البورتلندي العادي.
- ٢- الإسمنت البورتلندي سريع التصلب.
- ٣- الإسمنت البورتلندي المنخفض الحرارة.
- ٤- الإسمنت البورتلندي المقاوم للكبريتات.
- ٥- الإسمنت البورتلندي الملون.
- ٦- الإسمنت البورتلندي الأبيض.
- ٧- الإسمنت البورتلندي الناتج الخبثي.
- ٨- أنواع أخرى من الإسمنت غير البورتلندي، (الإسمنت عالي الألومين - الإسمنت سوبر سلفات - أنواع أخرى من الإسمنت).

يستعمل في البيتون عادة الإسمنت البورتلندي العادي، ويمكن استعمال أنواع أخرى (سريع التصلب- المقاوم للكبريتات- الملون- الأبيض- خبث الأفران)، إذا توفرت المبررات والخبرة اللازمة لاستعماله بنجاح، وفي جميع الأحوال، يجب أن يحقق الإسمنت المستعمل الاشتراطات والمواصفات القياسية المعترف بها والمحددة في الشروط الخاصة بالمشروع.

2-3-2- الحصويات:

- تتكون الحصويات من خليط من الرمل والبص، والتي تشكل الكتلة الرئيسية في البيتون، ويجب أن تحقق الشروط التالية: (رزوق وزين الدين، 1989)
- ١- المتانة: يجب أن لا تقل مقاومة الحصويات عن مقاومة العجينة الإسمنتية التي تربط بين ذرات الحصويات، وعن ضعف مقاومة البيتون المطلوبة.
 - ٢- يجب أن تكون الحصويات خالية من الغضار والغبار، الذي قد يغلف ذراتها، مما يضعف تماسك الحصويات مع مونة الإسمنت.
 - ٣- يجب أن تكون الحصويات أقرب ما يمكن إلى التكور، ليكون سطح الحبيبات أقل ما يمكن، وبالتالي تقل كمية الماء والإسمنت اللازمة للتغليف، عكس الحصويات الصفائحية والإبرية.
 - ٤- يجب أن يكون التدرج الحبي للحصويات جيداً، بحيث يحوي أقل ما يمكن من الفراغات، وبالتالي لا يحتاج إلى كمية كبيرة من الماء.
 - ٥- يجب أن تكون الحصويات غير قابلة للتحلل بالماء، وخالية من الشوائب العضوية.

تصنف الحصىات من حيث المنشأ إلى : (سعود وسطاس، 1988)

- ١- الحصىات الطبيعية: وهي الحصىات الناتجة عن التفقت الطبيعي للصخور.
- ٢- الحصىات المكسرة: وهي الحصىات الناتجة عن تكسير الصخور والأحجار الطبيعية.
- ٣- الحصىات الصناعية: وهي الحصىات الناتجة عن المخلفات الصناعية.

وتصنف الحصىات من حيث أبعادها إلى: (Macginley and Choo, 1990)

- ١- الحصىات الخشنة (البحص): وهي الحبيبات المحجوزة على المنخل ذي الفتحة 5 mm .
- ٢- الحصىات الناعمة (الرمل): وهي الحبيبات المارة من المنخل ذي الفتحة 5 mm .

وتصنف الحصىات من حيث وزنها إلى: (رزوق وزين الدين، 1989)

- ١- الحصىات العادية: إن معظم الحصىات العادية ذات منشأ طبيعي، يتراوح وزنها الحجمي بين 22-28 kN/m³، ويمكن اعتبار القيمة 26 kN/m³ كقيمة وسطية، وتتراوح مقاومة الحصىات على الضغط 14- 60 Mpa .
- ٢- الحصىات خفيفة الوزن: تستعمل هذه الحصىات حين تكون المقاومة على الكسر ذات أهمية قليلة بالنسبة إلى وزن البيتون، يستعمل لهذا الحصىات حجر الخفان أو الكلينكر الفحمي أو الخبث الرغوي، ويتراوح وزنها الحجمي بين 14-16 kN/m³ .
- ٣- الحصىات الثقيلة الوزن: تستعمل هذه الحصىات للحصول على بيتون عالي الكثافة، كالمستعمل في جدران المفاعلات النووية، يستعمل لهذه الحصىات حجر الباريت أو شحف الحديد أو الفولاذ، ويتراوح وزنها الحجمي بين 30- 60 kN/m³ .

3-3-2- الماء:

يجب أن يكون الماء المستخدم نظيفاً، وخالياً من المواد الضارة، كالزيوت والأحماض والقلويات والأملاح التي تؤثر سلبياً على البيتون وحديد التسليح، ويعتبر الماء الصالح للشرب مناسباً في جميع الأحوال لتصنيع البيتون.

4-3-2- الإضافات:

هي مواد تضاف لتحسين خواص البيتون، أو إحداها ويتم ذلك أثناء الجبل، تلعب دوراً في تحسين مقاومات البيتون، مما ينعكس على سلوك العناصر الإنشائية، وعلى الإجهادات والتشوهات الناشئة فيها، كما تؤثر على الكلفة الاقتصادية للتنفيذ من خلال إمكانية تقليل الأبعاد الهندسية للعناصر الإنشائية.

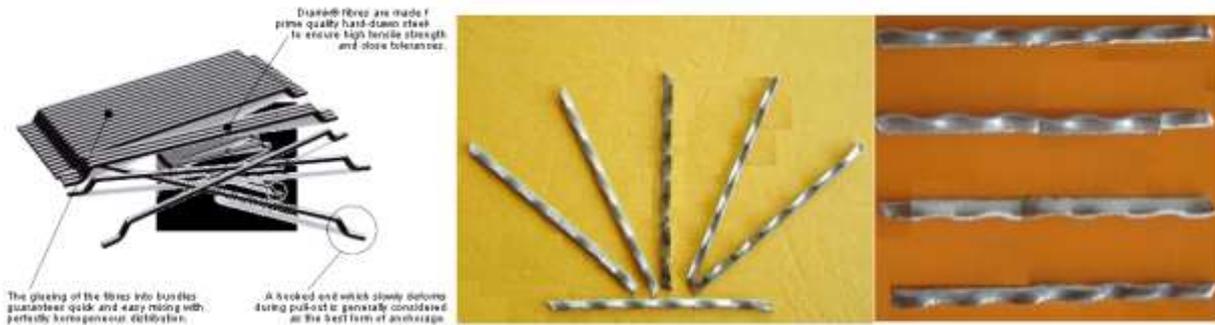
ومن هذه الإضافات :

- 1- المَدَنَات الكيماوية التي تعمل على تأمين درجة تشغيل عالية، مع المحافظة على نسبة منخفضة للماء إلى الاسمنت، وبالتالي رفع مقاومات البيتون، مثل: المسرعات - المثبطات - إضافات لتحسين خواص البيتون (السيلكافيوم) - مواد مضيئة للهواء.
- 2- الألياف الفولاذية.
- 3- الألياف الصناعية كالألياف الكربونية، الزجاجية، المطاطية، وغيرها.
- 4- الألياف الطبيعية.

1-4-3-2- الألياف الفولاذية: (Chanah,2010-Colin,2001)

تصنف هذه الألياف الفولاذية المبينة في الشكل (1-2) وفق ASTM- A 820، إلى عدة أنواع :

- 1- الألياف الناتجة عن بقايا قطع السلك الصناعي الناتج عن الحديد المسحوب.
- 2- الشفرات الفولاذية الناتجة عن الصاج .
- 3- القطع الفولاذية المعاد تصنيعها بعد صهر بقايا الحديد بأنواعه .
- 4- أنواع اخرى من الألياف الفولاذية .



الشكل (1-2): الألياف الفولاذية.

إن الدور الأساسي للألياف الفولاذية يتجلى بضبط عملية تشقق البيتون، وتحسين سلوكه، وتحويله من سلوك هش إلى سلوك لدن يزيد من عامل الأمان في الحالات الحدية للتحميل، وتحد من سعة التشققات الظاهرة فيه عن طريق تخييط طرفي الشق.

يحسن وجود الألياف في الخلطة البيتونية من مقاومة العناصر الإنشائية المسلحة للتشققات، بواسطة التماسك بين مكونات الخلطة البيتونية والألياف الفولاذية، بالإضافة لجعل تلك العناصر قادرة على تحمل الإجهادات الناجمة عن التقلص والانكماش، وبالتالي عدم حصول تشققات التقلص والانكماش فيها، كما أنها تزيد من مقاومة العنصر للصدم، فإذا كانت الألياف قوية ومرتبطة بالمادة بالشكل الكافي، فعندها تسمح بأن

يتحمل البيتون المقوى بتلك الألياف إجهادات ذات قيمة مهمة، وبالتالي قدرة تشوه كبيرة نسبياً خلال مرحلة ما قبل التشقق، وعندما تكون الألياف قصيرة ومنفصلة، تتصرف بشكل فعال، وكأنها محتوى صلب ضمن خليط البيتون، وبالتالي فإنها تملك فيزيائياً ذات الدور الذي تقوم به الحصى، ولذلك لا يمكن أن نعتبرها بديلاً مباشراً عن التسليح الطولي في العناصر البيتونية المسلحة والعناصر مسبقة الإجهاد.

من جهة أخرى فإن وجود الألياف الفولاذية ضمن البيتون ومقاومتها للشد تحسن من مقاومة العناصر البيتونية المسلحة للتشقق، والسهم، كما تحسن بعض الخواص الميكانيكية الأخرى، كما أن استخدام الألياف بتوزيع متجانس وبالاتجاهات الثلاث ضمن العناصر الإنشائية يزيد من مقاومة القص، والتحكم بالتشققات.

تضاف الألياف الفولاذية وتخلط مع مزيج الحصى المكونة من البحص والرمل، للحصول على توزيع جيد للألياف، وبعدها يضاف الاسمنت ويخلط مع المكونات السابقة، ومن ثم يضاف الماء ويستمر الخلط حتى التجانس الكامل مع الحفاظ على درجة التشغيل المناسبة، والتي تتأثر بعدة عوامل نذكر منها، نسبة الماء إلى الاسمنت W/C، والتدرج الحبي للحصى. ولتحسين درجة تشغيل الخلطة يفضل:

- 1- استخدام حصىات بتدرج حبي مستمر، وبقطر حصىات لا يزيد عن 25 mm حيث تنخفض درجة التشغيل مع ازدياد قطر الحصىات.
- 2- استخدام نسبة ماء إلى الاسمنت تتراوح بين (0.4 – 0.6) W/C .

2-4-3-2- الألياف الزجاجية (Fiber Mesh):

وهي ألياف صناعية، مكونة من مسحوق الزجاج عالي الأداء، معاد تشكيله كشبكة من الألياف عالية الأداء الشكل (2-2)، مصممة خصيصاً لاستخدامها مع البيتون، تتوفر بأطوال مختلفة 6- 12- 18- 20 mm، تستخدم لمنع حدوث التشقق الصغيرة الناجمة عن الانكماش اللدن، والجفاف المبكر، والتغيرات الحجمية الحرارية المبكرة للمواد الإسمنتية المتصلبة، كما يمكن استخدامها في عدة مجالات منها (Sodamco,2010):

تنفيذ الأرضيات الصناعية – البيتون مسبق الصنع – البيتون المقذوف – تنفيذ الخزانات والصوامع – أعمال الإكساء.



الشكل (2-2): الألياف الزجاجية (Sodamco-2010).

تتصف الألياف الزجاجية بما يلي:

- ١- خلوها من المواد القلوية والكبريتية و الكلورايد.
- ٢- يتراوح قطرها بين 18 – 30 micron وتتوافر بأطوال متعددة 6 - 20 mm.
- ٣- وزنها الحجمي 0.9 gr/cm^3 .

تتميز بسهولة انتشارها ضمن البيتون، وتضاف إلى البيتون بنسبة تتراوح بين $0.6 - 0.9 \text{ kg/m}^3$ في المرحلة الرطبة أو الجافة للبيتون، وفي أية مرحلة من مراحل تصنيعه، كما تتميز بمقاومتها للقلويات، وعدم تأثيرها على كمية الماء اللازمة للخلطة، كما تتميز بإمكانية التصاقها الكيماوي مع الاسمنت والتي تساهم بشكل فعال في تسليح البيتون.

3-4-3-2- ألياف البولي بروبيلين (Rheo-Fiber):

هي ألياف من البولي بروبيلين وقد تكون احادية الخيط أو مركبة (متعددة الخيط)، ويبين الشكل (3-2) شكل هذه الألياف، تورد بشكل احادي الخيط، أو مجموعة من الخيوط المترابطة بلاصق قابل للانحلال بالماء، وتستخدم لمنع تشكل الشقوق الصغيرة والتي يمكن أن تحدث خلال تشوهات البيتون اللدنة بعد الصب، كما تستخدم للسيطرة على ظهور التشققات في كل من الطينة والمونة الإسمنتية، والناجمة عن الجفاف والتغيرات الحرارية للبيتون بهدف تأمين الاستفادة من الخواص الحقيقية للمادة الإسمنتية المتصلبة، ويمكن أن تستخدم مع البيتون في العديد من المجالات نذكر منها : البلاطات – العناصر المستوية رقيقة المقطع كالجدران والجوائز العميقة – الخزانات – المنشآت البحرية – أرضيات الصناعات الثقيلة (Chemical Company,2010).



الشكل (2-3): ألياف البولي بروبيلين (Chemical Company-2010).

ومن ميزاتها :

- 1- تنتشر بشكل منتظم في الخلطة مما يساهم في المحافظة على تجانس الخلطة، وتحسين مقاومتها على التشقق.
- 2- يمكن أن تحل مكان شبكة التسليح المستخدمة لمنع التشققات في أرضيات المصانع والمستودعات.
- 3- تزيد من مقاومة البيتون للصدمات والتآكل، والتأثيرات القلوية، كما تحسن من لدونة البيتون.
- 4- تقلل من آثار الأضرار اللاحقة، فهي تحسن من مقاومة الحريق، حيث تقلل من حوادث التساقط الانفجاري لطبقة التغطية عند ارتفاع الحرارة.

وتتصف ألياف البولي بروبيلين بما يلي:

- 1- خالية من المواد القلوية، والكبريتية والكوريد، ومكونة بشكل رئيسي من البولي بروبيلين المتماثل.
- 2- قطر الألياف 18 micron، وطولها 12 mm.
- 3- وزنها الحجمي 0.91 g/cm^3 ، ولا يقل سطحها النوعي عن $230 \text{ m}^2/\text{kg}$.
- 4- لا تقل مقاومتها على الشد عن 35 Mpa، ويتراوح معامل مرونتها بين 3500 – 3900 Mpa.
- 5- درجة ذوبانها 160° C .
- 6- متوافقة مع مواصفات ASTM C-1116.

يمكن استخدام ألياف البولي بروبيلين مع جميع أنواع الاسمنت، ويتوافق مع جميع الإضافات الأخرى، ويضاف إلى الخلطات البيتونية بمعدل 600 gr/m^3 ، ويخلط على الجاف قبل إضافة الماء، ويؤدي استخدامه عادة إلى انخفاض قابلية التشغيل، وزيادة تماسك الخلطة البيتونية.

4-4-3-2- بودة السيلكا (Densified Silica fume):

هي مادة تضاف للبيتون مبيبة في الشكل (4-2)، فتغير البنية المسامية له، وتجعله أكثر كثافة، ومقاومة لأي من أنواع المؤثرات الخارجية، وهي متوافقة مع معايير الـ ASTM.



الشكل (4-2): بودة السيلكا.

تستخدم لإنتاج البيتون عالي المقاومة، طويل العمر، وفي عدة مجالات منها : البيتون المقذوف – البيتون مسبق الصنع – البيتون المصبوب بالمكان – البيتون عالي المقاومة – البيتون المصبوب تحت الماء – المونة المستخدمة لملى جدران الأنفاق، كما تستخدم لتحسين مقاومة البيتون والتقليل من الانفصال في مكونات الخلطة، وكذلك لتنفيذ طبقات سميكة نسبياً من البيتون، أو المونة القابلة للرش (Chemical Company,1996).

تتصف البودة بما يلي:

- 1- خفيفة القوام، لونها رمادي داكن.
- 2- لا تزيد نسبة الكلورايد فيها عن 0.1 %.
- 3- كثافتها $550 - 700 \text{ kg/m}^3$.

تستخدم بودة السيلكا بنسبة % 5 – 15 من وزن الإسمنت في الخلطة البيتونية العادية، وتضاف إلى البيتون أثناء الخلط وبزمن مزج أدنى مقداره 95 sec.

4-2- العوامل المؤثرة على خواص البيتون:

- يعد البيتون مادة غير متجانسة، تتأثر خواصه بجملة من العوامل نذكر منها:
- ١- العوامل المرتبطة بمكونات البيتون (الإسمنت- الحصىات- الماء- الإضافات).
 - ٢- تحضير البيتون وصبه (التحضير- النقل- الصب- الرص).
 - ٣- حفظ البيتون (الحرارة- الرطوبة).
 - ٤- معالجة البيتون الحرارية (الأوتوكلاف- بواسطة البخار- التسخين- الأشعة تحت الحمراء).

1-4-2- تأثير الإسمنت:

- يتجلى تأثير الإسمنت عبر طبيعة تركيبه الكيميائي، والمينولوجي، وعياره في المتر المكعب من البيتون، والتي تؤثر في خواص البيتون الطازج والمتصلب كما يلي :
- ١- تزداد سهولة تشغيل البيتون الطازج بزيادة عيار الإسمنت مع ثبات العوامل الأخرى ، بما فيها W/C .
 - ٢- يختلف الوزن النوعي للبيتون تبعاً لعيار الإسمنت ويصل إلى قيمته العظمى من أجل عيار إسمنت $300-400 \text{ kg/m}^3$.
 - ٣- تزداد مقاومة البيتون على الضغط كلما زاد عيار الإسمنت حتى حد معين $(300-400) \text{ Kg/m}^3$ ، بعده تثبت مقاومة البيتون مهما زاد عيار الإسمنت، وذلك وفق الجدول (1-2).

الجدول (1-2): تغير مقاومة البيتون تبعاً لعيار الاسمنت (رزوق وزين الدين، 1989)

عيار الاسمنت	100	200	300	400	600	800	1000
مقاومة البيتون	0.3	0.54	0.77	0.76	0.69	0.55	0.45
عيار الاسمنت							

- ٤- تزداد مقاومة البيتون على الضغط مع زيادة نعومة الإسمنت (زيادة السطح النوعي).

2-4-2- تأثير الحصىات:

إن الحصىات المستخرجة من المقلع تكون غالباً غير محققة لمتطلبات الشروط الفنية للحصىات المستخدمة في البيتون، لذلك لا بد من غربلتها ومن ثم تصنيفها، وخطها وفق نسب معينة للحصول على تدرج حبي مثالي يمكن استخدامه في الخلطات البيتونية.

إن العوامل الأساسية التي تؤثر في نوعية الحصىات، هي التدرج الحبي لها، ونسبة المواد العضوية العالقة بها، ونسبة الغضار، كما أن نوعية البيتون ومقاومته تتعلق، إضافة إلى النسبة W/C ، بالنسبة بين

وزن الرمل إلى وزن الحصى، حيث تعتبر النسبة 1/3 (أي كمية البحص ضعف كمية الرمل) هي النسبة المفضلة لبيتون عياره 350 kg/m^3 .

فعندما تحتوي الحصى على كميات كبيرة نسبياً من المواد الناعمة التي يقل قطرها عن 0.2mm تنخفض مقاومة البيتون، وذلك لأن السطح النوعي لهذه الحبيبات كبيراً جداً بالمقارنة مع حبيبات الرمل الأخرى، والتي تثبت كمية كبيرة من الماء الحر حول سطحها دون مشاركة هذه الكمية في عملية التفاعلات الكيميائية مع الإسمنت، ولتجنب ذلك لا بد من زيادة عيار الإسمنت عن القيمة الدنيا المحددة لتقوم العجينة بتغطية سطح كل حبيبة من الحبيبات.

يعد التدرج الحبي للحصى من أهم العوامل التي تؤثر في الخواص الميكانيكية والفيزيائية للبيتون، وتحدد الكودات مجالاً يسمح فيه بتغيير التركيب الحبي للحصى.

فإذا وقع المنحني الحبي تحت المجال الجيد فهذا يعني أن الحصى المدروسة فقيرة بالمواد الرملية، مما يعطي للبيتون حجماً كبيراً من الفراغات، وذلك كون الفراغات الكبيرة بين الحصى غير مملوءة جيداً بالمواد الرملية الناعمة، وعندها لا بد من استهلاك كمية كبيرة من الإسمنت، مما ينعكس على الكلفة الاقتصادية للبيتون.

وإذا وقع المنحني المدروس فوق المجال الجيد، فهذا يعني أن نسبة الأجزاء الناعمة عالية، مما يجعل الحصى الكبيرة غير مستندة إلى بعضها بشكل مباشر، ويصبح السطح النوعي للحصى كبيراً جداً، مؤدياً إلى استهلاك كمية كبيرة من الإسمنت، فإذا كان عيار الإسمنت محدداً فإن نعومة السطح تتطلب استهلاك كمية أكبر من الماء لتأمين درجة تشغيل مقبولة، وبالتالي تنخفض مقاومة البيتون.

أما إذا وقع المنحني المدروس ضمن المجال الجيد، فهذا يعني أن الفراغات المتوضعة بين الحبيبات الكبيرة تمتلئ بالحبيبات الصغيرة، وبالتالي نحصل على تراص مثالي، واستهلاك كميات اقتصادية من الإسمنت، والحصول على مقاومات عالية.

2-4-3- تأثير الماء:

إن كمية الماء اللازمة لتفاعل الإسمنت كيميائياً هي 30-35% من وزن الإسمنت المستخدم، إلا أنه يستخدم عملياً كمية أكبر من الماء وذلك لتأمين إماكنية صب البيتون الطازج بشكل جيد.

إن وجود كمية إضافية من الماء داخل الخلطة بعد انتهاء التفاعل يؤدي إلى تبخرها، وترك فراغات في البيتون، الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض مقاومة البيتون، ولذلك فإن النسبة الوزنية الأكثر استعمالاً من الناحية العملية هي $W/C = (0.4 - 0.65)\%$.

إن أهم أسباب ضعف مقاومة البيتون هو زيادة الماء المستعمل في عملية الخلط، ولذلك من الضروري أن نستخدم أقل ما يمكن من الماء اللازم لتأمين درجة تشغيل مقبولة للبيتون، وإعطائه اللدونة والتراسب اللازمين.

نذكر فيما يلي أهم الأضرار الناجمة عن زيادة الماء في الخلطة البيتونية:

- ١- انفصال ذرات الخلطة، وتجمع الروبة الإسمنتية على سطح البيتون.
- ٢- تشكل فراغات في البيتون مكان الماء المتبخر، وبالتالي انخفاض مقاومة البيتون.
- ٣- هبوط كبير في مخروط أبرامس.
- ٤- ضعف مقاومة البيتون للإهتراء والتماسك.
- ٥- زيادة تقلص البيتون، وبالتالي حصول تشققات في العناصر البيتونية.

4-4-2- تأثير الإضافات:

تستخدم في البيتون بعض الإضافات بنسب محددة، لتحسين الخواص الميكانيكية، والفيزيائية، والكيميائية للبيتون، مثل تحسين قابلية تشغيل الخلطات البيتونية- تقليل رشح الماء- زيادة أو إنقاص زمن الأخذ حسب الظروف المناخية- تقليل ظاهرة الإنكماش عند الأخذ والتصلب- رفع مقاومة العناصر للنفاذية- تحسين مقاومة التآكل والتحمل مع الزمن.

5-4-2- تأثير الشوائب:

يجب أن تخلو الحصىيات من الكربون، أو الغضار، أو الأملاح المنحلة، والزيوت والبتروول، والبقايا الحيوانية أو النباتية، كما يجب أن تخلو الخلطة البيتونية من أية مواد لا تدخل في تركيبها الأساسي، وذلك للحصول على بيتون ذي خواص ميكانيكية مرتفعة.

5-2- المقاومة الميكانيكية للبيتون على الضغط:

تعد المقاومة الميكانيكية من أهم الخواص التي تعبر بشكل واضح عن نوعية وطبيعة البيتون، ويجب أن لاتقل المقاومة الميكانيكية المميزة للبيتون عن مقاومة دنيا تتعلق بعيار الإسمنت ونوع الخرسانة (مراقبة، أو غير مراقبة).

1-5-2- حساب المقاومة الاسطوانية المميزة للبيتون:

تحدد المقاومة المميزة للبيتون نتيجة اختبارات الضغط على عينات اسطوانية بارتفاع 30Cm وقطر 15Cm، محفوظة في الشروط النظامية بدرجة حرارة $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ، ومغمورة بالماء لعمر الكسر بعد 28

يوم، وعند الضرورة لكسر العينات بعمر مختلف عن 28 يوم يتم تصحيح المقاومات على الضغط وفق القيم الواردة في الجدول (2-2).

الجدول (2-2): معامل تصحيح مقاومة الضغط للبيتون وفقا لعمر البيتون (الكود العربي السوري، 2013)

عمر البيتون باليوم	3	7	28	90	360 وأكثر
معامل التصحيح	2.5	1.5	1	0.9	0.8

وفي حال صب العينات المختبرة بشكل مخالف للعينات الاسطوانية 30*15 Cm، يتم تصحيح المقاومات الناتجة حسب شكل العينة وفق القيم الواردة في الجدول (3-2).

الجدول (3-2): معامل تصحيح مقاومة البيتون على الضغط وفقا لشكل العينات (الكود العربي السوري، 2013)

معامل التصحيح	أبعاد العينة بالمليمتر	شكل العينة
1.0	قطر 150* 300 ارتفاع	الاسطوانة
0.97	قطر 100* 200 ارتفاع	
1.05	قطر 250* 500 ارتفاع	
1.0	300*150*150	الموشور
1.05	450*150*150	
1.05	600*200*200	
0.78	100*100*100	المكعب
0.8	150*150*150	
0.83	200*200*200	
0.9	300*300*300	

تتعلق مقاومة البيتون بعدة عوامل نذكر منها: نسبة الماء الى الإسمنت- شروط التنفيذ والمراقبة بعد التنفيذ- ودرجة تراص البيتون والتي تمثل نسبة امتلاء حجم المادة، بالمادة الصلبة، وتمثل بمعامل تراص

$$\text{البيتون أو باكتناز البيتون. } \left(\gamma = \frac{\text{حجم المواد الصلبة بالمتر مكعب}}{1000} \right)$$

2-5-2- المعالجة الإحصائية لنتائج الاختبار:

الغاية من تصميم الخلطة البيتونية هو تحديد الكميات المثالية اللازمة من الاسمنت والماء والرمل والبحص(الناعم والخشن)، لإنتاج متر مكعب واحد من خرسانة ذات قابلية تشغيل معينة، وذات مقاومة متوسطة على الضغط f'cm تعطى بالعلاقة (2-1)، وتعطي مقاومة مميزة f'c اعتمادا على مبادئ الإحصاء

الرياضي، ولاتقل قيمها عن القيمة المتوقعة لها تبعاً لدرجة جودة الخرسانة، ونوع الخرسانة مراقبة أو غير المراقبة، حيث:

$$f'_{cm} = f'_c + k.S \quad (2-1)$$

حيث k معامل احصائي يتعلق بعدد الاختبارات، وباحتمال أن تكون نسبة % 10 من الاختبارات أقل من المقاومة المميزة، ويمكن اعتماد القيمة 1.31 لعدد اختبارات لا يقل عن الثلاثين، والقيمة 1.34 لعدد اختبارات لا يقل عن خمسة عشر.

S الإنحراف المعياري ويحسب من العلاقة (2-2).

$$S = \sqrt{\frac{\sum(fi - f_{cm})^2}{n-1}} \quad (2-2)$$

$$f'_{cm} = \frac{\sum fi}{n} \quad (2-3)$$

n عدد عينات الاختبار بحيث لا يقل عن 15 في حال تصميم العينات، ولا يقل عن 30 في حال ضبط الجودة خلال التنفيذ.

أما إذا كان عدد العينات أقل من 15، فعندها يجب أن تحقق المقاومة المتوسطة f'_{cm} العلاقة (2-4).

$$f'_{cm} \geq f'_c - 8 \quad (\text{MPa}) \quad (2-4)$$

وكبديل عن العلاقة (2-4)، يمكن اعتماد العلاقة (2-5):

$$f'_{cm} \geq 1.25 * f'_c \quad (2-5)$$

لتقييم نتائج اختبارات مراقبة الجودة، وقبول الخرسانة، وفق مايلي:

a- يجب أن تحقق كل ثلاث عينات متتالية، العلاقاتين (2-6)، (2-7).

$$f'_{cm} \geq f'_c + 1 \quad (C \leq 20) \quad \text{or} \quad f'_{cm} \geq f'_c + 2 \quad (C \geq 25) \quad (2-6)$$

$$f'_{min} \geq 0.85 * f'_c \quad (2-7)$$

b- إذا توفر عدد عينات لا يقل عن تسع عينات، فعندها يجب أن تحقق العينات العلاقاتين (2-6)، (2-8).

$$f'_{min} \geq 0.8 * f'_c \quad (2-8)$$

c- أما في المجابل المركزية ولعدد عينات لا يقل عن ثلاثين عينة فيجب أن تحقق العلاقتين (2-9)، (2-10) التاليين.

$$f'_{cm} \geq f'_c + 1.1*S \quad (2-9)$$

$$f'_{min} \geq 0.8*f'_c \quad (2-10)$$

حيث f'_c, f'_{cm}, S ، المقاومة الاسطوانية الدنيا، والمتوسطة، والانحراف المعياري للعينات المقبولة، بعد استبعاد المقاومات الواقعة خارج المجال $[f'_{cm}-2.33*S, f'_{cm}+2.33*S]$.

وبحيث لاتقل المقاومة الإسطوانية المميزة عن المقاومة المتوقعة لها تبعاً لدرجة جودة الخرسانة، ونوع الخرسانة مراقبة المبينة في الجدول (2-4)، أو غير المراقبة كما في الجدول (2-5).

- مقاومة الضغط المحتملة في حالة الخرسانة المراقبة:

يمكن اعتبار الخرسانة مراقبة عند تحقق ما يلي:

١- تقسيم الحصى إلى عدة حجوم: رمل- بحص ناعم- بحص خشن ...

٢- استخدام العيارات الوزنية.

٣- قياس رطوبة الحصى قبل استخدامها وأخذ هذه النسب بعين الاعتبار عند حساب كمية الماء في الخلطة.

٤- وجود إشراف دائم على عملية التصنيع.

عندها يمكن اعتماد القيم الواردة في الجدول (2-4).

الجدول (2-4): المقاومة المميزة للخرسانة المراقبة (الكود العربي السوري، 2013)

400	350	300	كمية الإسمنت Kg/m ³
C25	C20	C18	درجة جودة الخرسانة
250	200	180	المقاومة الإسطوانية المميزة Kg/Cm ²

- مقاومة الضغط المحتملة في حالة الخرسانة غير المراقبة:

تكون الخرسانة غير مراقبة عند إهمال واحد أو أكثر من إجراءات مراقبة الخرسانة الواردة سابقاً وعندها يمكن اعتماد القيم الواردة في الجدول (2-5).

الجدول (2-5): المقاومة المميزة للخرسانة غير المراقبة (الكود العربي السوري، 2013)

400	350	300	كمية الإسمنت Kg/m ³
C20	C18	C15	درجة جودة الخرسانة
200	180	150	المقاومة الإسطوانية المميزة Kg/Cm ²

2-6- المقومة الميكانيكية للبيتون على الشد: (الكود العربي السوري، 2013)

تحدد مقومة البيتون على الشد وفق الكود العربي السوري، بإحدى الطرق التالية:

2-6-1- اختبار البيتون على الشد الناجم عن الفلق:

يجري الاختبار على قوالب قياسية اسطوانية قطرها 150 mm، وطولها 300 mm وعمرها 28 يوماً، وذلك بتعريضها للانفلاق، بواسطة حملي ضغط متساويين، يعملان على رأسين متقابلين، على طول مولدي الاسطوانة، وتحسب مقومة الخرسانة على الفلق من العلاقة:

$$f_{sp}=2P/\pi.d.L \quad (2-11)$$

حيث P قوة الكسر الكلية – d قطر العينة الاسطوانية – L طول العينة الاسطوانية .

وتكون مقومة البيتون على الشد مساوية 85% من مقومة الفلق، وبذلك تكون مقومة الشد للبيتون:

$$f_{ct}=0.55P/d.L \quad (2-12)$$

وإذا كانت العينة المختبرة مكعبية طول ضلعها a تكون مقومة الفلق:

$$f_{sp}=2P/\pi.a^2 \quad (2-13)$$

ومقومة البيتون على الشد مساوية 85% من مقاومته على الفلق:

$$f_{ct}=0.55P/a^2 \quad (2-14)$$

2-6-2- اختبار البيتون على الشد الناجم عن الانعطاف البسيط:

يمكن استبدال الاختبار السابق على عينات موشورية أبعادها 100*100*550 mm أو 150*150*700 mm، تحمّل بحملين متساويين ومتماثلين يبعد كل منهما 150 mm أو 200 mm عن المسند ويبعد المسند مسافة 50 mm عن طرف العينة .
وتكون مقومة الإنعطاف لمقطع مربع، معطاة بالعلاقة:

$$f_{cb}=6M_u/b^3 \quad (2-15)$$

حيث M_u عزم الانعطاف اللازم لكسر العينة – b طول ضلع العينة .

وتكون مقومة البيتون على الشد 60% من مقاومته على الانعطاف:

$$f_{ct}=3.6M_u/b^3 \quad (2-16)$$

2-7- مراحل إنتاج البيتون:

تختلف طريقة إنتاج البيتون حسب أهمية المشروع، ونوعية البيتون المطلوب، وعلى العموم فإن السلسلة التكنولوجية لإنتاج البيتون، والتي يجب الاهتمام بها للحصول على بيتون بمواصفات جيدة تتألف من المراحل التالية:

- ١- تحضير المواد المكونة للبيتون وتخزينها.
- ٢- إعداد الخلطة البيتونية.
- ٣- خلط المواد البيتونية.
- ٤- نقل البيتون المجهز.
- ٥- صب البيتون في الأماكن المطلوبة.
- ٦- رج البيتون جيداً.
- ٧- العناية بالبيتون بعد صبه (الترطيب المائي)، وخلال تصلبه.

2-8- خواص الحصى واختباراتها :

تشكل الحصى الكتل الرئيسية في البيتون، ولذلك يجب أن تكون ذات مقاومة، وخواص جيدة من أجل الحصول على بيتون عالي المقاومة، كما أن التأثير الكبير لخواص الحصى على البيتون ومقاومته، يجعل من الضروري تحديد مواصفاتها، وإجراء العديد من التجارب عليها قبل تصميم الخلطة البيتونية.

من الخواص الهامة للحصى اللازمة لتصميم الخلطات البيتونية هي :

2-8-1- التدرج الحبي (Sieve analysis):

يقصد بالتدرج الحبي: تحديد نسب الحبيبات ذات الأحجام المختلفة الداخلة في تركيب نموذج من الحصى، وقد ثبت أن لتدرج الحصى، وشكلها، وأبعادها، تأثيراً هاماً على متانة البيتون الناتج، وقد يفوق أحياناً تأثير نوعية الحصى.

يقال عن التدرج الحبي لعينة أنه جيداً، إذا احتوى على نسب مقبولة من الذرات ذوات الأحجام المختلفة، دون زيادة في حجم معين على حساب الحجم الأخرى، ومن الواضح أن الحصى المتدرجة يمكن أن تملأ الفراغات في كتلة البيتون بشكل جيد، وتقلل من كمية الإسمنت والماء اللازمة لإعطاء البيتون اللزوجة اللازمة لتسهيل صبه وجبله.

يتم الحصول تجريبياً على التدرج الحبي لنموذج من الحصى، بإمرارها على سلسلة من المناخل ذات فتحات مختلفة، وقياس المتبقي وزناً على كل منخل، حيث تختلف أقطار الفتحات للمناخل المستخدمة حسب المواصفة المعتمدة.

تحدد المواصفة القياسية السورية المناخل القياسية كما هو مبين في الجدول (2-6).

الجدول (6-2): المناخل القياسية للمهزات وفق المواصفات السورية (المواصفات السورية , 2004)

فتحة المنخل	القياس	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1	3/4	1/2
	mm	100	90	75	63	50	37.5	25	19	12.5

فتحة المنخل	القياس	3/8	رقم 4	رقم 8	رقم 16	رقم 30	رقم 50	رقم 100	رقم 200
	mm	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075

كما تحدد المقاييس البريطانية المناخل النظامية المبينة في الجدول (7-2).

الجدول (7-2): المناخل القياسية للمهزات وفق المواصفات البريطانية (رزوق وزين الدين، 1989)

فتحة المنخل	القياس	3	1.5	1	3/4	3/8	3/16	7	14	25	52	100	200
	mm	76.2	38.1	25.4	19.05	9.52	4.76	2.38	1.2	0.6	0.3	0.15	0.07

2-1-8-1- التدرج الحبي للبحص:

يتم أخذ عينة وزنها 4kg من البحص، وتجفف بوضعها في فرن درجة حرارته 100°C لمدة 24 ساعة، ثم تمرر العينة على مجموعة مناخل: mm (القاعدة، 4.76, 9.52, 12.7, 19.05, 25.4, 38.1). بعد عملية الارج، وثبات المحجوز على المناخل، نقوم بوزن المحاجيز الجزئية، وننظم جدولاً بالنتائج، ونوجد نسبة المار الكلي، وذلك برسم مخطط التدرج الحبي، لتتم مقارنته مع منحنيات التدرج الحبي النظامي، والتي تحدد حسب ASTM-C33، وفق قيم المار الكلي في الجدول (8-2) حسب المقاس الأعظمي الاعتيادي:

الجدول (8-2): التدرج الحبي النظامي للبحص (ASTM C33,2000)

القطر الأعظمي (mm)	38.1- 4.76	25.4- 4.76	19.05- 4.76
المنخل (mm)			
38.1	95-100	100	100
25.4	-	95-100	-
19.05	35-70	-	95-100
14	-	25-60	-
9.52	10-40	-	30-60
4.76	0-5	0-10	0-10
2.38	-	0-5	-

أما وفق مواصفات المقاييس السورية فيجب أن يقع تصنيف الحصى ضمن حدود نسب التدرج الحبي المبينة في الجدول (9-2).

الجدول (9-2): التدرج الحبي النظامي للبحص وفق المواصفات السورية (المواصفات السورية , ASTM -2004 , (C33,2000

المقاس الاسمي mm	النسبة المئوية الوزنية للكمية المارة من كل منخل													
	100 mm 4 in	90	75	63	50	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	المقاس الاسمي mm
37.5-90	100	90-100	3	2.5	2	1.5	1	3/4	1/2	3/8	4 رفق	8 رفق	16 رفق	37.5-90
37.5-90			100	90-100	35-70	0-15	0-5	0-5						37.5-90
25-50				100	90-100	35-70	0-15		0-5					25-50
4.75-50				100	95-100	35-70	35-70		10-30	0-5	0-5	0-5	0-5	4.75-50
19-37.5					100	90-100	20-55	0-15		0-5				19-37.5
4.75-37.5					100	95-100		35-70		10-30	0-5	0-5	0-5	4.75-37.5
12.5-25						100	90-100	20-55	0-10	0-5				12.5-25
9.5-25							90-100	40-80	10-40	0-15	0-5			9.5-25
4.75-25							95-100		25-60	0-10	0-10	0-5	0-5	4.75-25
9.5-19							100	90-100	20-55	0-15	0-5			9.5-19
4.75-19							100	90-100		20-55	0-10	0-5	0-5	4.75-19
4.75-12.5								100	90-100	40-70	0-15	0-5	0-5	4.75-12.5
2.36-9.5									100	85-100	10-30	0-10	0-5	2.36-9.5

2-1-8-2- التدرج الحبي للرمل :

يتم أخذ عينة وزنها 1kg من الرمل، وتجفف العينة بوضعها في فرن درجة حرارته 100°C لمدة 24 ساعة، ومن ثم نضعها على مجموعة من المناخل ذات الفتحات: (القاعدة، 0.07، 0.15، 0.3، 0.6، 1.2، 2.38، 4.76)، بعد عملية رج مجموعة المناخل وثبات المحجوز عليها، نقوم بوزن المحاجيز الجزئية، وتنظم النتائج بجدول، ثم نوجد نسبة المار الكلي وذلك لرسم مخطط التحليل الحبي للرمل، والذي تتم مقارنته مع منحنيات التدرج الحبي النظامي والتي تحدد وفق ASTM-C33، كما في الجدول (10-2).

الجدول (10-2): التدرج الحبي النظامي للرمل (ASTM-C33,2000)

نوع الرمل المنخل mm	1	2	3	4
4.76	90-100	90-100	90-100	95-100
2.38	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

يعتبر الرمل من النوع (2) هو الأكثر ملائمة للحصول على بيتون ذي خواص جيدة، حيث أن الرمل (1) هو رمل خشن والرمل (3) هو رمل ناعم والرمل (4) هو رمل أكثر نعومة. يجب أن يقع تصنيف الحصى الناعمة وفق مواصفات المقاييس السورية، ضمن حدود نسب التحليل المنخلي المبينة في الجدول (11-2).

الجدول (11-2): التدرج الحبي النظامي للرمل وفق المواصفات السورية (المواصفات السورية ، 2004)

النسبة المئوية المارة	فتحة المنخل
100	(3/8in) 9.5mm
95-100	4.75mm (رقم 4)
80-100	2.36mm (رقم 8)
50-85	1.18mm (رقم 16)
25-60	0.6mm (رقم 30)
10-30	0.3mm (رقم 50)
2-10	0.15mm (رقم 100)

يجب ألا تتجاوز نسبة المحجوز من الحصى الناعمة أكثر من 45% بين أي منخلين متعاقبين من المناخل المبينة في الجدول (11-2).

2-8-2- الوزن الحجمي الردمي:

هو وزن واحدة الحجم الطبيعي للمادة مع المسامات والفراغات، يتم تحديده باستخدام قالب معدني معلوم الوزن (W_1) والحجم (V)، حيث يُملأ القالب بالرمل، أو البحص المراد تحديد وزنه الحجمي، وذلك باستخدام صفيحة تصنع زاوية 45 مع القالب المعدني، وبعد تسوية سطح القالب، مع الانتباه إلى عدم رصه أو رجه، يتم وزن القالب المملوء (W_2).

يحسب الوزن الحجمي من العلاقة:

$$(W_2 - W_1) / V \quad (2-17)$$

إن الوزن الحجمي لغالبية مواد البناء أقل من وزنها النوعي، باستثناء السوائل والمواد القابلة للانصهار حيث يتساوى وزنها الحجمي والنوعي.

3-8-2- الوزن النوعي والامتصاص:

يعرف الوزن النوعي بأنه النسبة بين وزن المادة إلى حجمها المطلق (حجم الأجزاء الصلبة)، والوزن النوعي الظاهري بأنه النسبة بين واحدة الحجم من المادة الخالية من الفراغات في الهواء إلى حجم مساوي من الماء المقطر الخالي من الغازات في الهواء، أما الوزن النوعي الكلي فهو النسبة بين وزن واحدة الحجم في الهواء، إلى وزن حجم مساوي من الماء المقطر الخالي من الغازات في الهواء (ASTM, 2000).

كما يعرف الامتصاص بأنه الزيادة في وزن الحصى نتيجة الماء المتواجد في مسامات المادة، ولا تشمل الماء الملتصق بالسطح الخارجي للحبيبات، وتعتبر الحصى جافة إذا احتفظ بها بدرجة حرارة 105-115°C لوقت كافي لإزالة كل الماء الغير متحد بالمادة.

يتم تحديد الوزن النوعي والامتصاص للحصى الخشنة وفق ما يلي :

١- يُزّن 5 kg من المواد الحصى من العينة المراد اختبارها، مع استبعاد جميع المواد

المارة من المهزة رقم 4 (4.75 mm)، ثم تغسل جيداً للتخلص من الغبار والمواد

العالقة، وتجفف العينة في الفرن لدرجة حرارة 105 – 110°C .

٢- تغمر العينة لمدة لا تقل عن 15 ساعة في الماء، ثم ترفع ويجفف سطحها بواسطة قطعة

قماش حتى تختفي جميع قطرات الماء الظاهرية، ويتم وزن العينة المشبعة الجافة السطح

في الهواء (W_2)، (تلغى الخطوة الخاصة بتجفيف سطح المواد إذا استعملت المواد في

تصميم الخلطات البيتونية حيث تستخدم المواد في حالة رطبة).

- ٣- توضع العينة المشبعة ذات السطح الجاف في السلة ذات الأسلاك، ويحسب وزن العينة المشبعة في الماء (W_3) بعد هزها أثناء الغمر لإزالة الهواء المحبوس منها.
- ٤- تجفف العينة بعد ذلك بدرجة حرارة $100-110^\circ$ ، ثم تترك لتبرد لمدة 1-3 ساعة، وتؤزن في درجة حرارة الغرفة (W_1).

يحسب الوزن النوعي الكلي للعينة من العلاقة التالية :

$$W_1/(W_2-W_3) \quad (2-18)$$

والوزن النوعي المشبع الجاف السطح من العلاقة :

$$W_2/(W_2-W_3) \quad (2-19)$$

أما الوزن النوعي الظاهري فمن العلاقة :

$$W_1/(W_1-W_3) \quad (2-20)$$

وتحسب النسبة المئوية للامتصاص من العلاقة التالية:

$$100*(W_2-W_1)/W_1 \quad (2-21)$$

يتم تحديد الوزن النوعي، والامتصاص للحصويات الناعمة (الرمل) بوزن 1000 gr من العينة المراد اختبارها، ثم تغمر بالماء، وتترك لمدة 15-19 ساعة، ثم تُفرش على سطح مستوي وتعرض لتيار هوائي ساخن مع التقليب المستمر حتى انفصال الحبيبات التام والوصول إلى حالة السطح الجاف، والتي يتم التأكد منها بوضعها في قالب مخروطي وتعريض السطح إلى 25 دقة، ومن ثم رفع المخروط عن العينة ففي حال انهيارها تكون الحبيبات قد وصلت إلى حالة السطح الجاف، (يمكن حذف الخطوة الخاصة بتجفيف سطح المواد إذا كانت القيم بالامتصاص والكثافات النوعية الرطبة هي التي ستؤخذ بالاعتبار في تصميم الخلطات البيتونية).

تتم التجربة وفق المراحل التالية:

- ١- يوزن 500gr من المادة المجهزة سابقاً، وتصب في الدورق مباشرة، ثم يملأ الدورق بالماء إلى 90% من سعته تقريباً، ويُعرض للدوران لإستبعاد الفقاعات الهوائية، ثم يوضع بدرجة حرارة $23^\circ C$ ، وبعد ساعة تقريباً يملأ حتى علامة السعة $500Cm^3$ ، ويوزن الدورق مع العينة والماء (W_3).
- ٢- تستخرج الحبيبات الناعمة من الدورق، وتجفف إلى وزن ثابت في درجة حرارة 100- $110^\circ C$ ، وتعرض للتبريد في مجفف بدرجة حرارة الغرفة، ثم توزن (W_1)، ونملئ الدورق بالماء حتى السعة $500Cm^3$ ونزنه (W_2).

يحسب الوزن النوعي الكلي من العلاقة:

$$W_1/(W_2+500-W_3) \quad (2-22)$$

والوزن النوعي الكلي الجاف المشبع السطح من العلاقة:

$$500/(W_2+500-W_3) \quad (2-23)$$

أما الوزن النوعي الظاهري فمن العلاقة:

$$W_1/(W_2+W_1-W_3) \quad (2-24)$$

وتحسب النسبة المئوية للامتصاص من العلاقة:

$$100*(500-W_1)/W_1 \quad (2-25)$$

4-8-2- المكافئ الرملي :

تعتبر قيمة المكافئ الرملي عن حجم المواد الغريبة كالغضار والشوائب والحبيبات الناعمة والمعلقات الموجودة في الرمل.

تلخص طريقة المكافئ الرملي كما يلي:

- تؤخذ كمية محددة من الرمل المراد فحصه وتوضع في إنبوب اختبار مدرج .
- تضاف إليه مادة منحلة مؤلفة من (40 liter ماء + 110 gr كلور كالسيوم + 480 gr غليسرين + 12 gr فورمالدهيد).
- يترك الخليط حتى يهدأ ويثبت، فنلاحظ أن جميع الشوائب والمواد العالقة والغضار قد ارتفعت إلى السطح العلوي للرمل، وشكلت طبقة على السطح.
- يحدد المكافئ الرملي من العلاقة:

$$E_s=100*h_2/h_1 \quad (2-26)$$

حيث: h_1 ارتفاع الرمل الكلي في الأنبوب.

h_2 ارتفاع الرمل الصافي المترسب في المنطقة السفلية للأنبوب.

يجب أن لا تقل قيمة المكافئ الرملي عن 70 للبيتون العادي، وعن 75 للبيتون العادي ذي المقاومة المرتفعة نسبياً، وعن 85 للبيتون عالي المقاومة.

9-2- تصميم الخلطات البيتونية :

الخلطة البيتونية هي المزيج من مكونات البيتون، وهي الحصىات (البحص والرمل) ذات التركيب الحبي المقبول والمحدد مسبقاً، مع الروبة الإسمنية (الماء والإسمنت)، وفق نسب معينة تؤمن الوصول للمقاومة التصميمية المطلوبة، ودرجة التشغيل المناسبة، ويمكن أن ترص بوسائط رج مناسبة لتحقيق سهولة تشغيل عالية عند صبها في مكانها، مع الحفاظ على المقاومة المناسبة عند تصلبها وثبات خواصها الفيزيائية والكيميائية أثناء عمرها التصميمي.

يقصد بتصميم الخلطة البيتونية تحديد القيم النسبية لمكونات البيتون، وهي البحص والرمل والماء والإسمنت.

وبشكل عام فإننا نحدد وفق طرائق التصميم المختلفة مايلي:

- ١- النسبة بين الماء والإسمنت W/C .
 - ٢- كمية الإسمنت اللازمة لمتر مكعب من البيتون وتقاس ب Kg/m^3 .
 - ٣- النسب بين الحصىات S/G أو $S/(S+G)$.
 - ٤- كمية الماء اللازمة لمتر مكعب من البيتون.
- يوجد طرق عدة لتصميم الخلطات البيتونية، منها الطريقة الوضعية، البريطانية، الفرنسية، والطريقة الأمريكية المعتمدة في تصميم الخلطة في هذه الإطروحة.

الطريقة الأمريكية:

تعتمد هذه الطريقة على المقاومة الإسطوانية المتوسطة، وتتميز عن غيرها من الطرق بأنها تحدد عيار الماء في الخلطة من المقاس الأعظمي للحصىات، كما أنها تعتمد على فرضية أساسية وهي ارتباط قابلية التشغيل لخلطة بيتونية ذات مقاس أعظمي معروف بشكل رئيسي بعيار الماء للخلطة مقدراً بالكيلو غرام للمتر المكعب، وبشكل مستقل عن نسب مكونات الخلطة البيتونية.

ولذلك أعدت خلطة بيتونية كمرجع أساسي، وهي خلطة ذات قوام لدن، ولتصميم خلطة ذات درجة قوام مختلفة لابد من تصحيح عيار الماء بنسب محددة للحصول على الشروط المطلوبة فعلاً، ويتم ذلك وفق المراحل التالية:

- ١- حسب قوام البيتون المطلوب ووفق الجدول (2-12) يتم تحديد هبوط أبرامس، ومنه تحدد نوع العينة وفق الجدول (2-13).

الجدول (12-2): العلاقة بين هبوط أبرامس ومعامل التراص ومجال استخدام البيتون (ASTM, 2000)

مجال الاستخدام	معامل الرص	هبوط أبرامس Cm	البيتون	
			قابلية تشغيله	قوامه
الأعمال البيتونية ذات المقاومة العالية جداً مع رج ميكانيكي قوي جداً	0.78	0-2.5	منخفضة جداً	جامد جداً
الأعمال البيتونية ذات المقاومة العالية مع رج ميكانيكي قوي	0.85	2.5-5	منخفضة	جامد
الأعمال البيتونية المسلحة العادية مع رج عادي	0.9- 0.92	5-10	متوسطة	مائع
الأعمال البيتونية المسلحة كثيفة تسليح أو الصغيرة مع رج يدوي	0.95	10-15	عالية	سائل

الجدول (13-2): هبوط أبرامس ومعامل التصحيح وفقاً لقوام البيتون (ASTM, 2000)

تصحيح الماء بالـ %	عامل الرص	تجربة فيب sec	هبوط المخروط		قوام البيتون
			in	mm	
78	-	18-32	-	-	جافة للغاية
83	0.7	10-18	-	-	قاسية جداً
88	0.75	5-10	0-1	0-30	قاسية
92	0.85	3-5	1-3	30-80	قاسية لدنة
100	0.91	0-3	3-5	80-130	لدنة(المرجع)
106	0.95	-	5-7	130-180	سانلة

٢- تحديد التدرج الحبي للحصويات ومقاسها الأعظمي، وتحديد عيار الماء الأولي للخلطة المرجعية (مائعة القوام) من الجدول (14-2)، وتبعاً لدرجة لدونة البيتون المطلوبة يتم تعديل العيار بمعامل التصحيح وفق الجدول (13-2).

الجدول (14-2): المقاس الأعظمي للحصويات تبعاً لعيار الماء ونسبة الفراغات (ASTM, 2000)

نسبة الفراغات بالـ %	كمية الماء Kg/m ³	المقاس الأعظمي للحصويات	
		in	Mm
3	225	3/8	10
2.5	215	1/2	12.5
2	200	3/4	20
2.5	195	1	25
1	175	1 1/2	40

٣- تحديد المقاومة الإسطوانية المتوسطة (f_{cm})

$$f_{cm} = f'_c / (1 - k \cdot \delta) \quad (2-27)$$

حيث f'_c المقاومة المميزة الإسطوانية (30*15) بعد 28 يوم.
ومنها يتم تحديد W/C من الجدول (15-2) وبالتالي عيار الإسمنت.

الجدول (15-2): تحديد نسبة الماء للأسمنت تبعاً للمقاومة المتوسطة المطلوبة (ASTM, 2000)

fc _m (PSI)	fc _m (kg/cm ²)	W/C وزنا
7000	490	0.33
6000	420	0.41
5000	350	0.48
4000	280	0.57
3000	210	0.68
2000	140	0.82

٤- تحديد معامل نعومة الرمل M_f ، وتبعاً للمقاس الأعظمي للحصويات ومعامل النعومة نحصل من الجدول (16-2) على حجم الحصويات الخشنة (البحص) النسبية في متر واحد من البيتون الطازج.

الجدول (16-2): حجم الحصويات الخشنة وفقاً لـ D_{max} ومعامل النعومة (ASTM, 2000)

معامل النعومة للرمل				المقاس الأعظمي للحصويات	
3	2.8	2.6	2.4	in	Mm
0.44	0.46	0.48	0.5	3/8	10
0.53	0.55	0.57	0.59	1/2	12.5
0.6	0.62	0.64	0.66	3/4	20
0.65	0.67	0.69	0.71	1	25
0.69	0.71	0.73	0.75	1 1/2	40

٥- يصحح الحجم النسبي للحصويات الخشنة بمعامل تصحيح يؤخذ من الجدول (17-2)، تبعاً للمقاس الأعظمي للحصويات ودرجة لدونة البيتون الطازج.

الجدول (17-2): معامل تصحيح الحصويات الخشنة (ASTM, 2000)

المقاس الاعتراري الأعظمي للحصويات					القوام
40mm 1 1/2in	25mm 1in	20mm 3/4in	12.5mm 1/2in	10mm 3/8in	
1.3	1.4	1.45	1.7	1.9	جافة للغاية
1.25	1.25	1.3	1.45	1.6	قاسية جداً
1.2	1.15	1.15	1.3	1.35	قاسية
1.09	1.06	1.04	1.06	1.08	قاسية لدنة
1	1	1	1	1	لدنة (المرجع)
1	1	1	0.98	0.97	سانلة

٦- تعين كمية البحص G ، المساوية لحجم الحصويات النسبي المصحح مضروباً بالوزن الحجمي الجاف للبحص.

٧- تعين مصروف الرمل من العلاقة:

$$S/\gamma_s + G/\gamma_g + W/\gamma_w + C/\gamma_c + 1000R = 1000 \quad (2-28)$$

حيث γ الأوزان النوعية للمواد .

٨- تحديد الأوزان الرطبة، ثم حساب النسب الوزنية والحجمية .

الفصل الثالث

Chapter 03

الجوائز البيتونية

Concrete Beams

3-1- مقدمة:

تعرّف الجوائز بأنها عناصر أفقية طولية، تُنمذج كعناصر خطية، تسند البلاطة، وتنقل حمولاتها إلى الأعمدة، التي تنقلها بدورها إلى الأساسات، فالتربة.

يختلف سلوك الجوائز وطبيعة إنهارها تبعاً للنسبة L/H (نسبة المجاز إلى ارتفاع الجائز)، ولذلك نميز بين الجوائز العميقة والجوائز العادية، حيث يعتبر الجائز عميقاً إذا لم تتجاوز النسبة L/H قيمةً محددة تختلف حسب الكودات، فيعتبر الكود العربي السوري الجائز عادياً إذا كانت $L/H > 2$ ، أما الكود ACI 318-08, 2008 فيعتبره عادياً إذا كانت النسبة $L/H > 4$.

3-2- الجوائز البيتونية المسلحة:

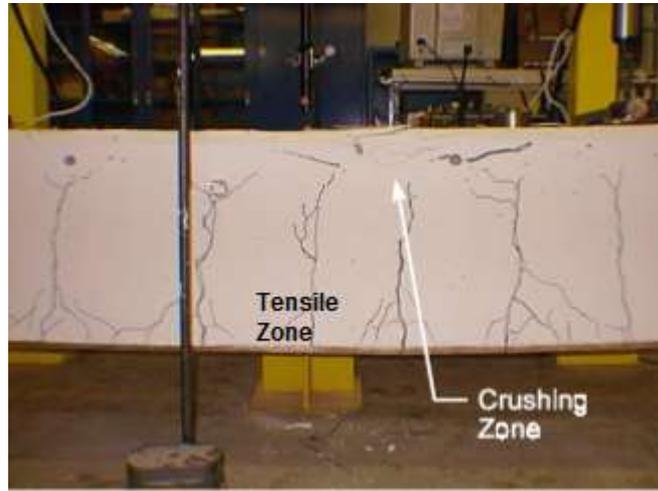
تُصمم الجوائز البيتونية المسلحة لتتحمل الإجهادات الناضمية الناجمة عن عزوم الإنعطاف، والإجهادات المماسية الناجمة عن القوى القاصة، وبما أن مقاومة البيتون على الشد ضعيفة، فإنه يتشقق في منطقة الشد ويخرج عن العمل، ويتحمل فولاذ التسليح قوى الشد الداخلية، بينما يبقى البيتون المضغوط مقاوماً للإجهادات الضاغطة المطبقة ضمن حدود مقاومته على الضغط.

ينهار الجائز البيتوني وفقاً لأنماط الإنهيار التالية:

- إنهيار الإنعطاف، وقد يكون على الشد (Tensile Failure)، أو على الضغط (Crushing Failure).
- إنهيار القص (Shear Failure).

1-2-3- إنهيار الإنعطاف:

يقسم إلى إنهيار على الضغط (Crushing Failure)، والذي يحدث تصميمياً عندما يصل البيتون إلى تشوه نسبي على الضغط 0.0035، وإنهيار على الشد (Tensile Failure) وسببه النقص في كمية فولاذ التسليح (Carpinteri et al., 2011)، كما في الشكل (1-3).



الشكل (1-3): انهيار الإنعطاف في وسط الجائز (Foley and Buckhouse, 1998)

لدراسة سلوك الجوائز البيتونية على الإنعطاف يجب الأخذ بعين الاعتبار المراحل التالية (Carino and Clifton, 1995):

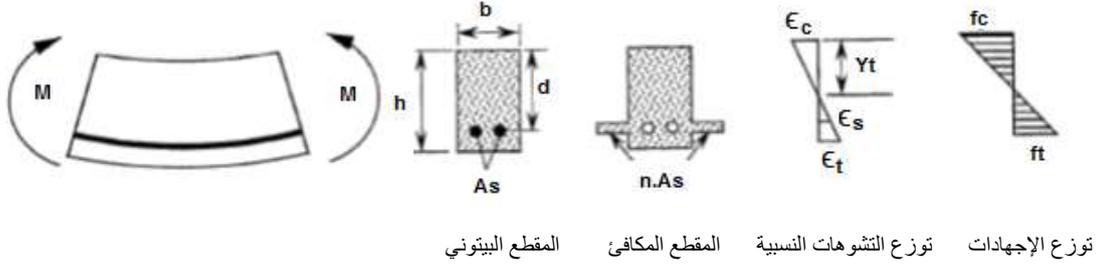
1- الجائز غير المتشقق.

2- الجائز متشقق، والإجهادات مرنة.

3- الحالة الحدية للجائز.

✓ الجائز غير المتشقق (Uncracked Section) (Carino and Clifton, 1995):

يوضح الشكل (2-3) جائزاً بيتونياً مسلحاً مقطعه العرضي مستطيل، معرض لعزم انعطاف M، كما يبين توزيع التشوهات والإجهادات النسبية في هذه المرحلة.



الشكل (2-3): تصرف الإنعطاف للجائز غير المتشققة (Carino and Clifton, 1995)

يُفترض التماسك كاملاً بين البيتون وفولاذ التسليح، ولهما نفس التشوه النسبي على الشد، وعندها سيقوم المقطع عزم الإنعطاف بافتراض أن إجهاد الشد الأعظمي للبيتون أقل من الإجهاد الأعظمي المسموح للبيتون على الشد، وبما أن معامل مرونة فولاذ التسليح (Elastic Modulus)، أكبر من معامل مرونة البيتون، ويكون إجهاد الشد لفولاذ التسليح أكبر من إجهاد الشد للبيتون الموجود على نفس الإرتفاع بالنسبة للمقطع البيتوني، و بما أن التسليح و البيتون لهما نفس قيمة التشوه فإنه يمكن الحصول على النسبة بين الإجهادات مساوية للقيمة n (Ratio Modular)، والذي يحسب من العلاقة (3-1):

$$n = E_s / E_c \quad (3-1)$$

عند التصميم، يجب استبدال حديد التسليح بمساحة مكافئة من البيتون المسلح تساوي إلى $n.A_s$ (الشكل 3-2)، وبتحويل الجائز المكون من مادتين مختلفتين إلى جائز بيتوني مكافئ، وتطبيق معادلة الإجهادات الأساسية (3-2)، يمكن حساب الإجهادات الأعظمية للبيتون على الضغط من العلاقة (3-3)، والإجهادات الأعظمية للفولاذ على الشد (3-4):

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot y \quad (3-2)$$

$$\sigma_c = \frac{M}{I_e} \cdot y_t \quad (3-3)$$

$$\sigma_s = \frac{n.M}{I_e} \cdot (d - y_t) \quad (3-4)$$

حيث :

E_s, E_c : معامل المرونة لكل من البيتون وفولاذ التسليح على الترتيب.

n : النسبة المعيارية، وتمثل نسبة عامل المرونة فولاذ التسليح إلى عامل مرونة البيتون.

σ_s, σ_t : إجهاد البيتون على الضغط، وإجهاد الفولاذ على الشد، على الترتيب.

M: عزم الإنعطاف المطبق.

y_t : بعد المحور السليم عن أقصى ليف مضغوط.

I_e : عزم عطالة المقطع البيتوني المكافئ.

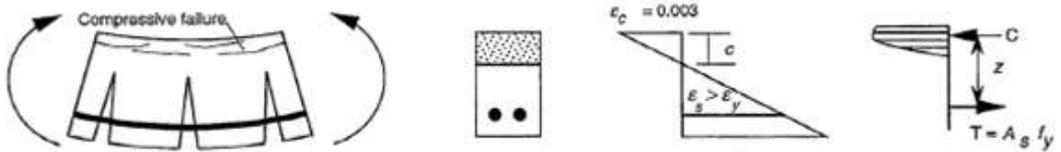
d: بعد مركز التسليح عن أقصى ليف مضغوط.

A_s : مساحة فولاذ التسليح.

✓ الجائز متشققة، والإجهادات مرنة (Carino and Clifton, 1995)
:Clifton, 1995

يعتبر البيتون متشققاً عندما تتجاوز إجهادات الشد في البيتون لقيمة الإجهاد الأعظمي المسموح للبيتون على الشد، حيث تزداد التشققات اعتباراً من أقصى ليف مشدود وصولاً إلى المحور السليم، عندها يهمل البيتون المشدود تحت المحور السليم (Neutral Axis)، مع الأخذ بعين الاعتبار التوزع الخطي للتشوهات على كامل ارتفاع الجائز.

عند التصميم، يجب استبدال حديد التسليح بمساحة مكافئة من البيتون المسلح تساوي إلى $n.A_s$ ، ويكون المقطع المتشقق كما في الشكل (3-3).



توزع الإجهادات توزع التشوهات النسبية المقطع المكافئ المقطع البيتوني المتشقق

الشكل (3-3): تصرف الإنعطاف للجائز المتشققة في المرحلة المرنة (Carino and Clifton, 1995)

مع تطور التشققات في الجائز، تزداد الإجهادات في كل من البيتون وفولاذ التسليح بشكل مفاجئ، مع بقاء الإجهادات في الحالة المرنة كما في الشكل (3-3)، حيث يمكن الإستعاضة عن الإجهادات الضاغطة بقوة ضغط مكافئة C مطبقة في مركز مثلث الإجهادات، أما إجهادات الشد فتستبدل بقوة الشد T المطبقة في مركز فولاذ التسليح، وبتطبيق معادلات التوازن (3-5, 3-6)،

يمكن الحصول على كل من ارتفاع منطقة الضغط، والعلاقة بين عزم الانعطاف والإجهادات الأعظمية في البيتون وفولاذ التسليح.

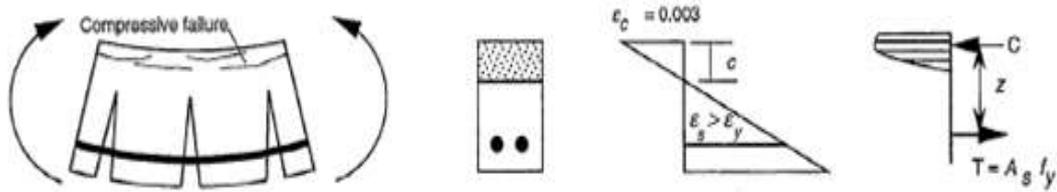
$$C = T \quad (3-5)$$

$$M = C.Z = T \quad (3-6)$$

حيث تحسب الإجهادات الأعظمية في كل من البيتون، وفولاذ التسليح، عند مقطع معين على عزم الإنعطاف الناجم عن الحمولات المطبقة.

✓ الحالة الحدية للجائز (Ultimate Strength) (Carino and Clifton, 1995):

يزداد عزم الإنعطاف، وينزاح معه المحور السليم باتجاه الليف المضغوط، عندها يصل تشوه البيتون الى التشوه الحدي ϵ_y (Ultimate Strain)، ويبدأ فولاذ التسليح بالسيلان، ومع استمرار ازدياد عزم الإنعطاف يصل التشوه النسبي للبيتون على الضغط للقيمة $\epsilon_c = 0.003$ ، حيث يبين الشكل (3-4)، توزيع التشوهات النسبية، والإجهادات على كامل ارتفاع المقطع.



توزيع الإجهادات توزيع التشوهات النسبية المقطع المكافئ المقطع البيتوني المتشقق

الشكل (3-4): تصرف الإنعطاف للجائز المتشقق في المرحلة الحدية (Carino and Clifton, 1995)

عندما يصل إجهاد فولاذ التسليح إلى إجهاد السيلان f_y ، تكون قوة الشد معطاة في العلاقة:

$$T = A_s.f_y \quad (3-7)$$

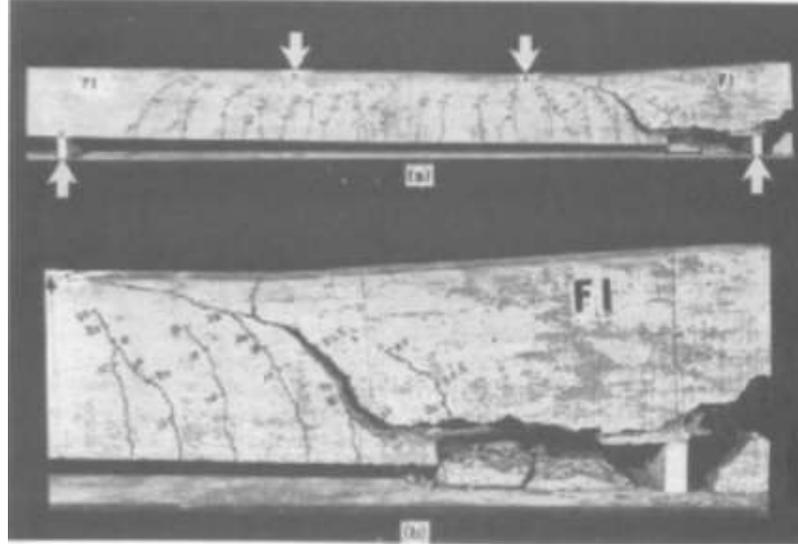
يتم تحديد موقع المحور المحايد بتطبيق معادلة التوازن (3-5) السابقة، ويحدد العزم المقاوم للمقطع من العلاقة :

$$M_U = A_s.f_y.Z \quad (3-8)$$

حيث Z المسافة بين القوتين C و T .

3-2-1- إنهاء القص:

ينهار الجائز بشكل مفاجئ، و تعتبر التشققات القطرية دلالة أساسية على هذا الإنهيار حيث تبدأ بالتشكل عند المسند و تمتد بزاوية 45° نحو المنطقة المضغوطة كما في الشكل (3-5).



a - منظر عام للجائز ، b - تفصيلة عند المسند اليميني

الشكل(3-5): انهيار القص (Nilson,1997)

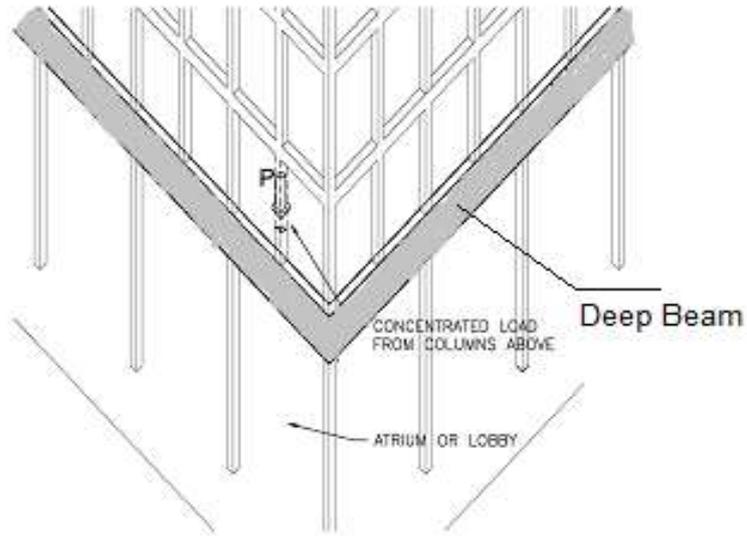
3-3- الجوائز العميقة:

تعرّف الجوائز العميقة وفق الكود العربي السوري 2013: بالعناصر المستوية الشاقولية المحملة في مستويها، والتي لا يزيد مجازها الصافي عن ضعفي ارتفاعها $L/H \leq 2$ للجوائز البسيطة، وعن $L/H \leq 2.5$ للجوائز المستمرة، أما في حساب القص فيعتبر الجائز عميقاً، اذا لم يزد المجاز عن خمسة أضعاف الإرتفاع $L/H \leq 5$.

وتعرّف وفق الكود 2008 , ACI 318- 08: بأنها جوائز مجازها الصافي لا يزيد عن أربعة أمثال عمقها $L \leq 4H$ ، أو هي جوائز معرضة لحمولات مركزة تبعد مسافة لاتزيد عن ضعفي عمق الجائز عن وجه استنادها.

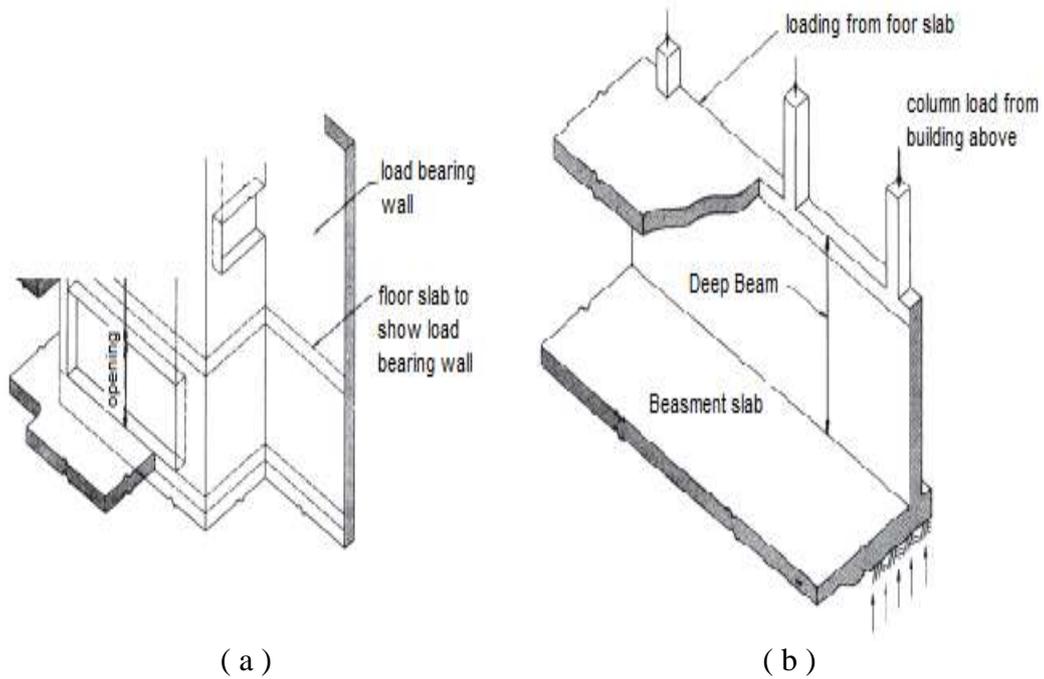
يوجد للجوائز العميقة العديد من الاستعمالات التطبيقية (Kong, 2003) في المباني والمنشآت البيتونية الخاصة، فهي تستعمل في المنشآت الخاصة كجدران للصوامع، أو جدران القص المحمولة على أعمدة، كما في الشكل (3-6)، كما تستعمل في المنشآت الهيكلية، كالجوائز

ذات المجازات القصيرة، أو الجدران الحاملة لأكثر من سقف ومحمولة على أعمدة، كما في الشكل (a-7-3).



الشكل (6-3): جائر عميق في مبنى متعدد الطوابق (Kong, 2003).

أو كجدران للأقبية محملة موضعياً بأعمدة أو كجزء من منشأ كما في الشكل (b-7-3).



الشكل (7-3): جائر عميق كجدار قبو، أو كجزء من مبنى (Kong, 2003).

كما يمكن للجائز العميق أن يستخدم لحمل كتلة بارزة علوية من بناء محمولة على كتلة سفلية مترابطة في البناء، حيث يعمل الجائز العميق كجائز ظفري، أو متعدد الفتحات محمول على مجموعة أعمدة سفلية، كما هو مبين في الشكل (8-3).

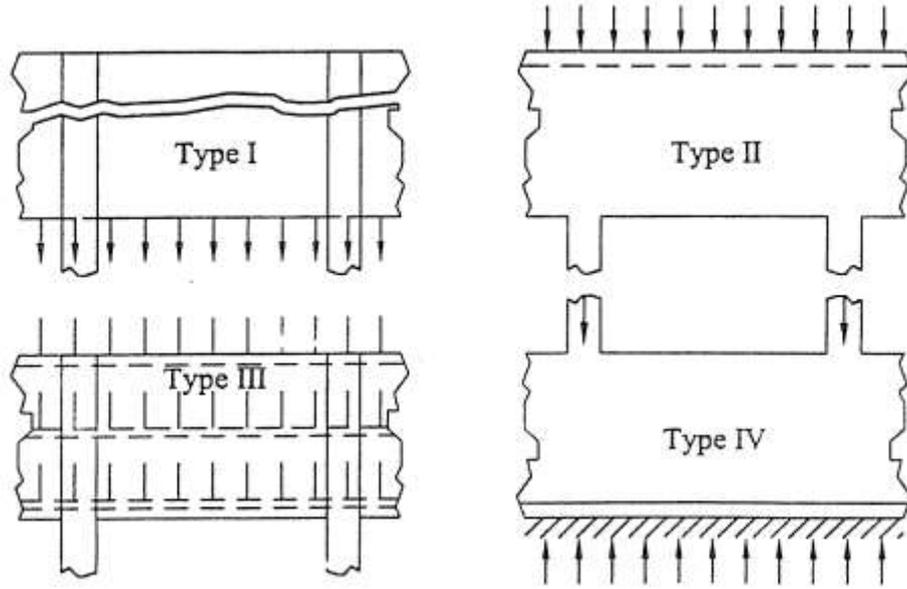


الشكل (8-3): مجموعة طوابق محمولة على جائز عميق ظفري (Kong, 2003).

وتتعرض الجوائز العميقة إضافة لوزنها الذاتي، إلى أحمال شاقولية علوية موزعة بانتظام من البلاطات المحمولة عليه، كما في الشكل (a-7-3) أو حمولة موزعة معلقة بأسفل الجائز العميق (b-7-3)، أو كحمولة مركزة من الأعمدة المحملة عليه الشكل (6-3)، أو كحمولة موزعة بانتظام من البلاطة مترابطة مع حمولات مركزة من الأعمدة المستندة عليه، كما في الشكل (8-3).

وبذلك نصادف الجوائز العميقة على عدة نماذج وفق الحالات التالية :

- 1- جدران الصوامع، إذ أن القسم الأعظم من الحمل معلق تحت الجائز، النموذج (I-9-3).
- 2- الجوائز ذات المجازات القصيرة والمحملة من الأعلى، النموذج (II-9-3).
- 3- الجوائز الحاملة لأكثر من سقف والمحملة على أعمدة، النموذج (III-9-3).
- 4- جدران الأقبية المحملة موضعياً بأعمدة، والتي تكون صلابتها كافية لتحمل رد فعل تربة التأسيس وقبول التوزيع الخطي لرد فعل التربة المنتظم تحت أساس الجدار، النموذج (IV-9-3).



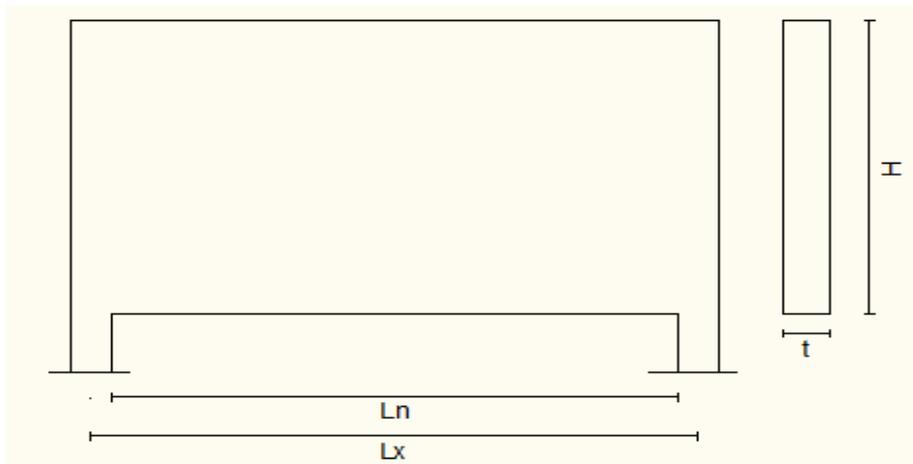
الشكل (9-3): نماذج الجوائز العميقة (الكود العربي السوري, 2013).

4-3- تصميم الجوائز العميقة وفق الكود العربي السوري 2013 :

1-4-3- تعاريف :

- ◆ إذا زاد ارتفاع الجائز H عن مجازه L ($L/H > 1$)، عندها يعتبر ارتفاع الجائز الحسابي مساوي لـ L ، أي يجب أن يكون $H \leq L$.
- ◆ يعتبر الارتفاع الفعال للجائز العميق $d = 0.9 H$.
- ◆ يعد مجاز الجائز العميق L هو المسافة بين محوري الركيزتين المتجاورتين L_x ، على ألا يزيد عن $1.05 L_n$ (المسافة بين وجهي الركيزتين المتجاورتين)، الشكل (10-3)

$$L = \min (L_x , 1.05 L_n)$$



الشكل (10-3): أبعاد الجائز العميق.

2-4-3- الاشتراطات البعدية للجائز العميق:

يجب أن يحقق السمك الأدنى للجائز العميق الشرطين التاليين (الكود العربي السوري، 2013) :

♣ شرط التحنيب العرضي .

$$t \geq 0.5 \cdot L \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{100} \cdot \frac{w}{0.3(f_c \cdot H)}} \quad (3-9)$$

♣ شرط مقاومة انضغاط الخرسانة تحت تأثير الانعطاف وقوى القص .

$$t \geq 1.5 \frac{w \cdot L}{0.3 f_c \cdot H} \quad (3-10)$$

حيث :

t السماكة الدنيا للجائز العميق.

w الحمل الكلي الموزع بانتظام على واحدة الطول من مجاز الجائز .

L المجاز الفعال للجائز حيث $L \leq h$.

f'_c المقاومة الاسطوانية المميزة للبيتون .

3-4-3- مساحات التسليح الدنيا والعظمى للجوائز العميقة :

♣ لا تقل مساحة تسليح الشد الرئيسي عن $0.9/f_y$ * مساحة المقطع الفعال .

♣ لا تزيد مساحة التسليح الرئيسي في المقاطع أحادية التسليح عن نصف المساحة التوازنية،

ويمكن زيادة مساحة تسليح الشد الرئيس إلى ثلاثة أرباع المساحة التوازنية شريطة

حساب السهم وعدم إجراء إعادة توزيع العزوم للجوائز المستمرة ووضع مساحة تسليح

ضغط دنيا لا تقل عن مقدار زيادة تسليح الشد المستخدم عن نصف المساحة التوازنية.

♣ لا تقل مساحات التسليح الدنيا في الجوائز العميقة في الاتجاه الأفقي عن $0.0025 \cdot A'_c$

للتسليح العادي، وعن $0.002 \cdot A'_c$ للتسليح عالي المقاومة .

♣ لا تقل مساحة التسليح الدنيا في الجوائز العميقة في الاتجاه الشاقولي عن $0.0015 \cdot A'_c$

للتسليح العادي، وعن $0.0012 \cdot A'_c$ للتسليح عالي المقاومة .

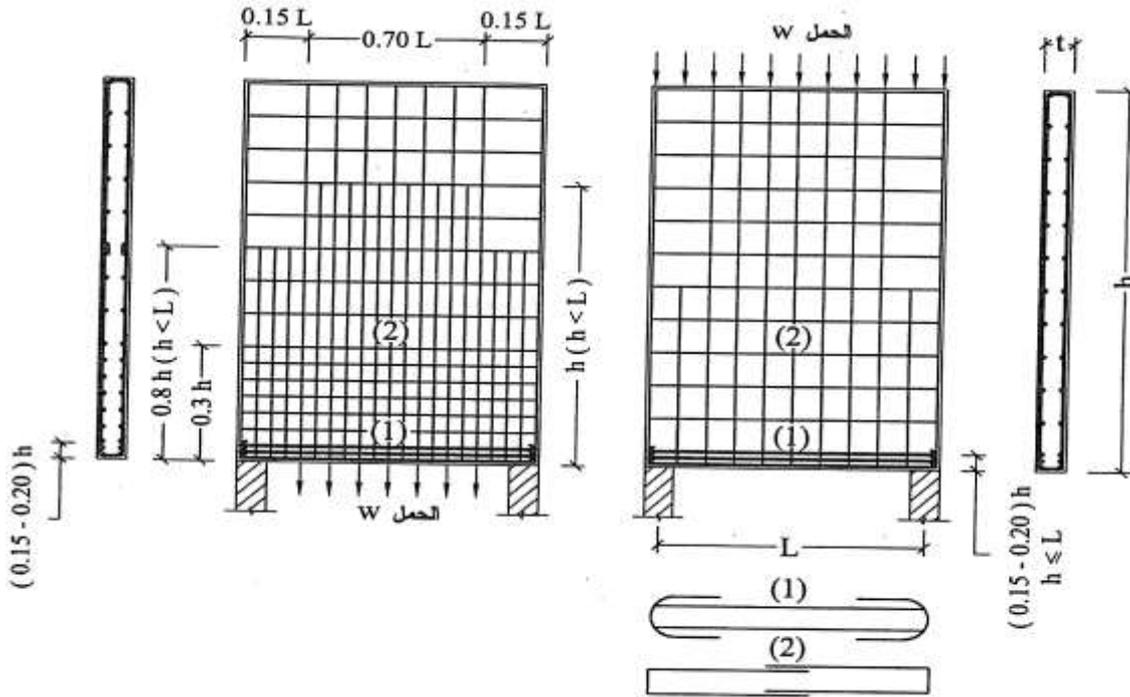
4-4-3- ترتيبات التسليح للجوائز العميقة :

عندما تكون الجوائز عميقة على القص فقط وغير عميقة على العزم $2.5 \leq L/H \leq 5$

(جوائز الحوائط)، يوضع التسليح العلوي والسفلي كما في الجوائز العادية .

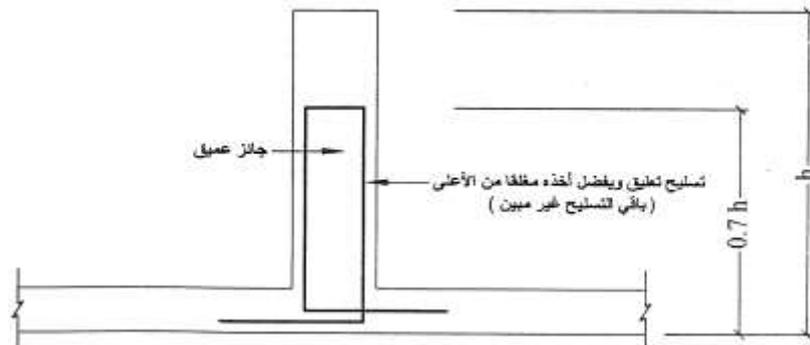
أما في حال الجوائز بسيطة الاستناد، والعميقة على العزم (والتي تكون عميقة على القص

أيضاً):



الشكل (11-3): توزيع التسليح في الجائز العميق بسيط الاستناد. (الكود العربي السوري، 2013)

- ▲ يوزع التسليح الأفقي الرئيسي (المحسوب من عزم الانعطاف) على مسافة % 15-20 من ارتفاع الجائز $(0.15-0.2)H$ ويمتد على كامل طول الجائز، ويمكن وضع التسليح الأفقي المحسوب بالنموذج 1 من الشكل (11-3) .
- ▲ يوزع باقي التسليح الأفقي والشاقولي (المحسوب من قوة القص)، على عمق الجائز H حيث $H \leq L$ ويمكن استعمال التسليح الأفقي بالنموذج (2) من الشكل (10-3) .
- ▲ إذا كانت الأحمال التي يتعرض لها الجائز العميق بمنسوب أسفل الجائز (الأحمال المعلقة)، عندها يجب إضافة تسليح شاقولي خاص لنقل هذه الأحمال في الشد كما في الشكل (12-3)، ويمتد على كامل ارتفاع الجائز $(H \leq L)$ بمسافة مقدارها $0.7H$ بوسط المجاز.



الشكل (12-3): تعليق الأحمال في الجائز العميق. (الكود العربي السوري، 2013)

5-4-3- تحليل الجوائز العميقة :

تحسب الجوائز العميقة اعتماداً على طرائق التحليل النظري للإجهادات والقوى الداخلية المتولدة فيها، وفق النظريات على الصفائح المحملة في مستوياتها، مع أخذ التوزيع الغير خطي للإجهادات بعين الاعتبار.

في حال تعرض الجوائز العميقة لأحمال موزعة بانتظام، وعدم وجود فتحات كبيرة ضمن الجوائز، يمكن اعتماد الطريقة المبسطة المعتمدة في الكود العربي السوري 2013.
 ▲ الطريقة المبسطة :

يتم حساب التسليح الطولي الرئيسي (الأفقي) A_S لمقاومة عزم الانعطاف وفق حالة تجاوز الإجهادات المسموح بها، للجوائز العميقة بسيطة الاستناد من العلاقة :

$$A_S = 0.9 \frac{w \frac{L^2}{8}}{0.55 f_y H} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{H}{L} \geq \frac{0.9}{f_y} \cdot t \cdot d \right) \quad (3-11)$$

أما التسليح الشاقولي (العرضي) لمقاومة القص A_{St} يحسب من العلاقة :

$$\frac{A_{St}}{S} \cdot \left(\frac{1 + \frac{Ln}{d}}{12} \right) \cdot \sigma_{st} + \frac{A_{Sl}}{S'} \cdot \left(\frac{11 - \frac{Ln}{d}}{12} \right) \cdot \sigma_s = (\tau - \tau_0) \cdot b_w \quad (3-12)$$

حيث: A_{St} مساحة التسليح الشاقولي (المتعامد على الطولي) لمقاومة القص.

A_{Sl} مساحة التسليح الموازي للتسليح الطولي (الأفقي).

S تباعد بين قضبان التسليح الشاقولي (العرضي).

S' تباعد بين قضبان التسليح الطولي (الأفقي).

σ_{st} الإجهاد المسموح للتسليح الشاقولي (العرضي).

σ_s الإجهاد المسموح للتسليح الطولي (الأفقي).

τ الإجهاد المماسي الناجم عن القوى القاصة .

$$\tau = \frac{Q}{0.85 t d} \quad (3-13)$$

τ_0 الإجهاد المماسي الذي يتحمله البيتون .

الفصل الرابع

Chapter 04

الدراسة المرجعية

Literature Review

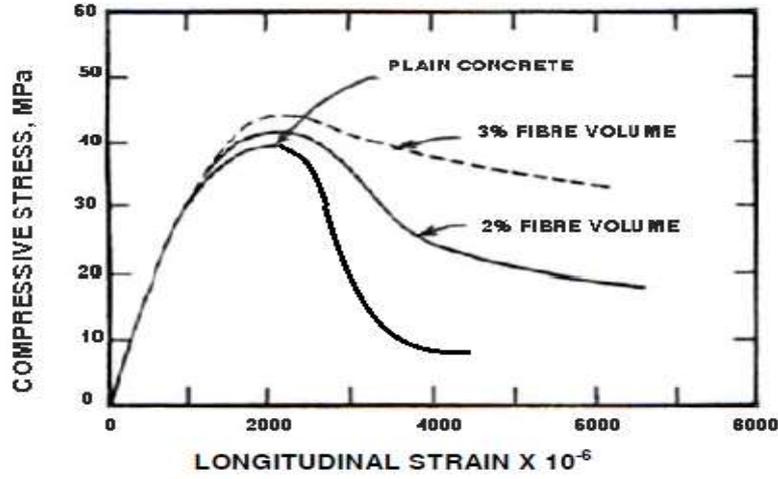
1-4- مقدمة:

يتناول هذا الفصل مراجعة بحثية للأدبيات العلمية السابقة التي أجريت حول استخدام الإضافات في تحسين مقاومات البيتون ومواصفاته، وكذلك الدراسات التي تناولت تأثير استخدام الإضافات على سلوك كل من الجوائز البيتونية المسلحة العادية والعميقة، كما تم في نهاية هذا البحث استعراض الجديد في هذه الإطروحة والذي يختلف عما ورد في الدراسات المرجعية.

2-4- تأثير الإضافات على خواص ومقاومات البيتون:

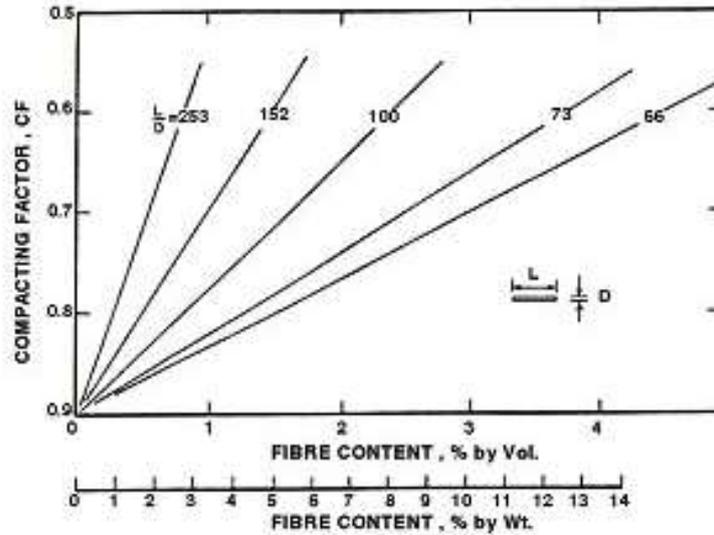
✓ درس (Endginton, et al,1997) تأثير نسبة الألياف الفولاذية على درجة تشغيل الخلطة البيتونية، وتوصل في دراسته إلى أن زيادة النسبة الحجمية للألياف تسبب انخفاض في درجة تشغيل الخلطة البيتونية، وتوصل الباحث إلى نسبة حجمية تتراوح بين % 0.5-1.5 من الخلطة، وتصل إلى % 2 مع استخدام تقنيات إضافية لتحسين درجة التشغيل، ويبين الشكل (1-4)، النتائج التجريبية لتأثير تغير نسبة حجم الألياف الفولاذية ضمن الخلطة على خواصها الميكانيكية، من خلال دراسة العلاقة $(\sigma-\epsilon)$ ، لألياف فولاذية بمعامل شكل ثابت $L/d=83$ ، حيث ارتفعت قيمة الاجهاد الأعظمية مع ازدياد النسبة الحجمية، إضافة إلى تحسين سلوك البيتون مابعد الذروة، وابتعادها عن الانهيار الهش، كما زادت من متانة المادة، والتي تتمثل بالمساحة تحت منحنى $(\sigma-\epsilon)$ ،

وبالتالي ازدياد دليل المتانة، والذي يعرف بأنه النسبة بين متانة الببتون المسلح بالألياف الفولاذية ومتانة الببتون العادي.



الشكل (1-4): تأثير النسبة الحجمية للألياف على منحنى $(\sigma-\epsilon)$ (Endginton, et al,1979)

✓ كما درس (Endginton, et al,1997) تأثير عامل الشكل l/d على درجة تشغيل الخلطة، وتوصل إلى أن ازدياد قيمة معامل الشكل للألياف الفولاذية يسبب انخفاض درجة تشغيل الخلطة، كما يبين الشكل (2-4)، كما أنه من الصعب تجريبياً الحصول على خلطة منتظمة بإزدياد معامل الشكل عن 100 .

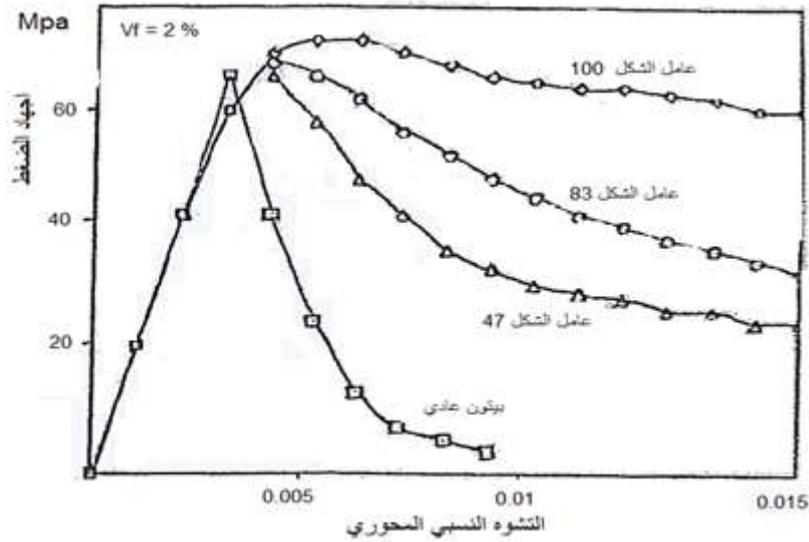


الشكل (2-4): تأثير عامل الشكل l/d على درجة تشغيل الخلطة (Endginton, et al,1979)

✓ توصل (Endginton, et al,1997)، إلى انخفاض درجة تشغيل الخلطة الببتونية مع استخدام الحصىيات الخشنة والألياف الفولاذية، وانخفاض كل من مقاومة الضغط والانعطاف مع ازدياد نسبة الحصىيات الخشنة في الخلطة المقواة بالألياف الفولاذية،

كما انخفضت درجة تشغيل الخلطة البيتونية مع ازدياد القطر الأعظمي للحصويات وكمية الحصويات الخشنة في الخلطة. ولوحظ ازدياد الزمن اللازم للخلط بشكل بطيء مع زيادة النسبة الحجمية للألياف، حتى قيمة حدية أصبح بعدها الازدياد متسارعاً، والذي يعبر بشكل مباشر عن درجة التشغيل والوقت اللازم للحصول على تجانس في الخلطة.

✓ قام (Fanella, et al,1985)، بدراسة تأثير تغير معامل الشكل l/d على المنحني ($\sigma-\epsilon$)، وذلك من أجل نسبة إضافة حجمية ثابتة 2% من الألياف الفولاذية، والذي أظهر ازدياد كل من اجهاد الضغط الأعظمي، ودليل المتانة، مع ازدياد عامل الشكل، كما هو مبين في الشكل (3-4).



الشكل (3-4): تأثير عامل الشكل l/d على المنحني ($\sigma-\epsilon$) (Fanella, et al,1985)

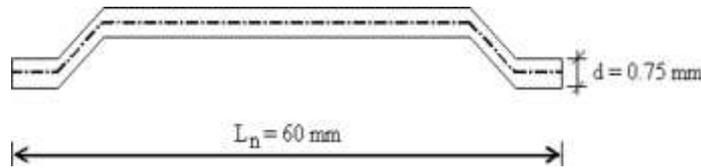
✓ كما توصل الباحث (Swamy and Mangat,1989)، إلى انخفاض نسبة الألياف في الخلطة مع ازدياد كمية الحصويات الخشنة فيها، وكذلك ازدياد كل من مقاومة البيتون المقوى بالألياف الفولاذية على كل من الضغط، والانعطاف، مع ازدياد نسبة الألياف الفولاذية، وازدياد هذه النسب مع ازدياد عمر البيتون.

✓ درس (Romualdi and Batsun,1963) تأثير التباعد بين الألياف الفولاذية على خواص البيتون، وتوصل إلى إمكانية التعبير عن النسبة الحجمية للألياف الفولاذية في الخلطة البيتونية من خلال دراسة التباعد بين الألياف، أو من خلال تحديد كثافة الألياف، والتي عبر عنها بعدد الألياف في واحدة المساحة من المقطع العرضي، حيث تبين بأنه

يمكن اعتبار التباعد بين الألياف متحولاً يمكن استخدامه لتحديد خواص البيتون المقوى بالألياف الفولاذية، حيث يتوافق تعبير ازدياد النسبة الحجمية للألياف في الخلطة مع كل من انخفاض التباعد بين الألياف، ومع ازدياد كثافة الألياف في الخلطة البيتونية، كما تبين بأن ازدياد كثافة الألياف في الخلطة يزيد من فاعليتها في إيقاف وإعادة توجيه التشققات، مما يؤدي إلى إمكانية اعتبار العدد المتوسط للألياف بوحدة المساحة دليلاً لفاعلية الألياف في زيادة مقاومة الشد بغض النظر عن اتجاه توجيه الألياف.

✓ كما قام الباحث (Shah and Rangan, 1971)، بدراسة تأثير توجيه الألياف من خلال اختبار الشد على عينات بيتونية مسلحة بألياف فولاذية طولها $l=25\text{ mm}$ ومعامل شكلها $l/d=100$ ، وبنسبة حجمية 0.5% ، من خلال دراسة ثلاث مجموعات اختلف فيها اتجاه الألياف، حيث لاحظ ازدياد مقاومة الشد بنسبة 17% في العينات ذات الألياف الموازية لاتجاه القوة، مقارنة بالعينات ذات الألياف العشوائية، كما فقدت العينات ذات الألياف المتعامدة على الحمولة المطبقة مقاومتها بعد التشقق، أما العينات بألياف موازية أو عشوائية فقد تحملت 40% من الحمولة المسببة للتشقق بعد مرحلة التشقق.

✓ درس (Altun, et al 2007)، الخواص الميكانيكية للبيتون بإستخدام ألياف فولاذية متغيرة المقطع، معكوفة النهايتين، طولها 60 mm وسماكتها المتوسطة 0.75 mm وعامل الشكل $l/d=80$ ، كما في الشكل (4-4)، وينسب إضافة مختلفة، حيث أظهرت التجارب أن النسبة المناسبة للألياف الفولاذية تتراوح بين $1-2.5\%$ حجماً، وهي تزيد من مقاومة البيتون على الضغط بسبب زيادة مقاومة أليافه على الشد، وتصبح الألياف غير كافية لتحسين المقاومة بنسبة أقل من 1% ، كذلك الأمر من أجل زيادة النسبة عن 2.5% حيث يصبح من الصعب توزيع الألياف بشكل متجانس ضمن الخلطة البيتونية، مما يؤثر سلباً على مقاومة البيتون.

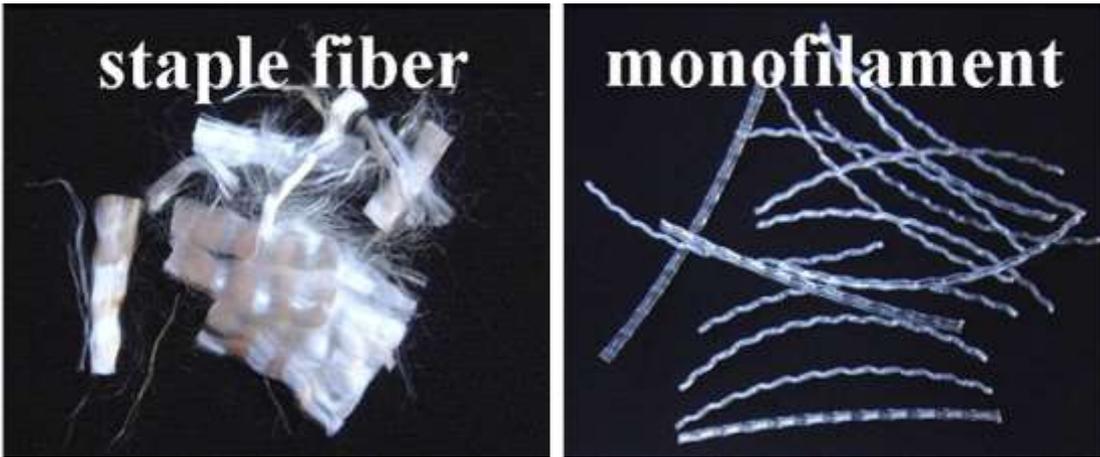


الشكل (4-4): الألياف الفولاذية (Altun, et al, 2007)

كما بينت التجارب انخفاض كل من مقاومة الضغط، ومعامل المرونة بشكل بسيط مع ازدياد نسبة الإضافة.

✓ قام (Chanh, 2010)، بدراسة خواص البيتون المسلح بالألياف الفولاذية، وتوصل إلى: تحسن مقاومة الضغط للبيتون بنسبة تصل إلى % 25 منها للبيتون دون ألياف، كما أن اتجاه الألياف يؤثر بشكل كبير على تحسن مقاومة البيتون على الشد، حيث تزداد مقاومة الشد المباشر إلى % 133 في العينات بألياف موازية لجهة الشد، وبنسبة % 60 في حال توزع الألياف بشكل عشوائي، عنها للعينات البيتونية دون ألياف فولاذية. كما توصل إلى أن الألياف المحلزنة، أو الألياف ذات النسبة $1/d$ الأكبر تعطي مقاومة أكبر منها للألياف الملساء.

✓ درس (Hsie, et al, 2008)، الخصائص الميكانيكية للبيتون المسلح بألياف البولي بروبيلين، من خلال دراسة تأثير إضافة ألياف البولي بروبيلين الخشنة أحادية الخيط الشكل (a-5-4)، بنسب $3-6-9 \text{ kg/m}^3$ ، وإضافة ألياف البولي بروبيلين المركبة الناعمة الشكل (b-5-4)، بنسبة 0.6 kg/m^3 .



b- الألياف المركبة الناعمة

a- الألياف الخشنة أحادية الخيط

الشكل (5-4): ألياف البولي بروبيلين (Hsie, et al, 2008)

لوحظ انخفاض هبوط أبرامس للخلطة البيتونية مع الألياف الخشنة أحادية الخيط بنسبة انخفضت مع ازدياد نسبة الإضافة، وتراوح بين % 7-20، وذلك لأن الألياف قامت بتشكيل شبكة إنشائية داخلية، تقوم بامتصاص كمية من الروبة الإسمنية، مما يخفض من درجة تشغيل الخلطة، بينما لم تتجاوز نسبة انخفاض هبوط أبرامس % 3 عند استخدام الألياف المركبة الناعمة.

كما لوحظ إزدياد المقاومة على الضغط مع إزدياد نسبة إضافة الألياف الخشنة أحادية الخيط، بسبب تشكيلها لشبكة إنشائية تقوم بتخفيض تركيز الإجهادات في البيتون عند طرفي الشق، مما يزيد من مقاومة البيتون على الضغط، كما ازدادت مقاومة البيتون

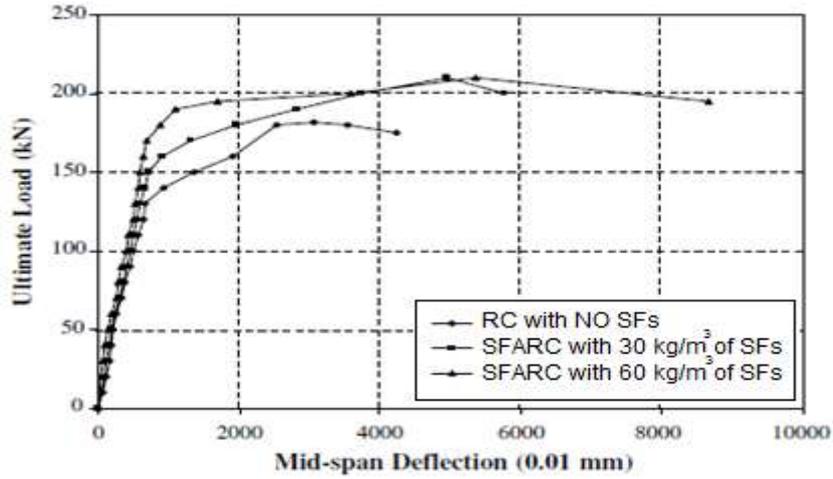
على الشد الناجم عن الفلق بنسبة % 8.88- 11.59- 13.35 على الترتيب، لنسب الإضافة 9 kg/m^3 - 6- 3، وكذلك ازدادت مقاومة الشد الناجم عن الإنعطاف بنسب % 8.99- 17.9- 24.6 على الترتيب، مع انخفاض التشوهات النسبية للبيتون نتيجة الإنكماش بنسبة تصل إلى % 15.

✓ كما درس (Sun and Xu, 2009)، تأثير ألياف البولي بروبيلين على خواص البيتون الميكانيكية، التي خفضت نسبة الفراغات، كما خفضت من تشوهات التقلص في البيتون، مما انعكس على رفع مقاومة البيتون على الضغط. كما قام بدراسة تأثير الإضافات الزجاجية، بنوعها الألياف، والصلب، بنسب تصل إلى % 2 في الجوائز البيتونية، وتوصلوا بتجاربهم، إلى إنخفاض قيمة السهم الحاصل من تأثير الأحمال الدورية، عنه للجوائز البيتونية المسلحة، و تحسين الخواص اللدنة للبيتون.

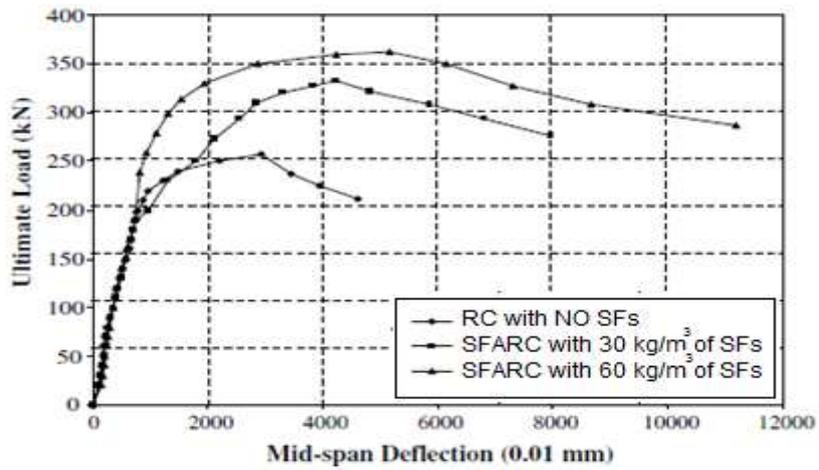
✓ كما قام (Song et al., 2005)، بدراسة تأثير ألياف النايلون والبولي بروبيلين على خواص البيتون، وأثبتت التجارب أن هذه الألياف رفعت مقاومات البيتون بنسب ازدادت مع ازدياد نسبة الألياف، فمن أجل نسبة ألياف 0.6 kg/m^3 ، ارتفعت مقاومة البيتون على الضغط بنسبة % 5.8- 12.4 لكل من ألياف النايلون والبولي بروبيلين على الترتيب، كما رفعت مقاومة البيتون على الشد الناجم عن الفلق بنسبة % 9.7- 17.1، وقللت من عدد الشقوق، وعرضها، مما يساهم في زيادة تحمل البيتون على القص، ويقلل من كثافة التسليح في العنصر.

3-4- تأثير الإضافات على الجوائز البيتونية المسلحة:

✓ قام العلماء (Altun, et al., 2007)، بدراسة تأثير الألياف الفولاذية، (متغيرة المقطع، بطول $L=60 \text{ mm}$ وقطر $d=0.75 \text{ mm}$ ومعامل شكلها $L/d=80$) مبينه في الشكل (4-4)، على الجوائز البيتونية من خلال إضافة نسبتين من الألياف الفولاذية بوزن 30، 60 kg/m^3 على جوائز بيتونية مسلحة منفذة ببيتون مقاومته الإسطوانية المميزة 20، 30 MPa، وبنتيجة الدراسة توصل الباحثون، إلى المنحني الذي يربط بين المقاومة والانتقال، لكل من عياري البيتون المدروسين، والمبينين في الشكل (4-6):



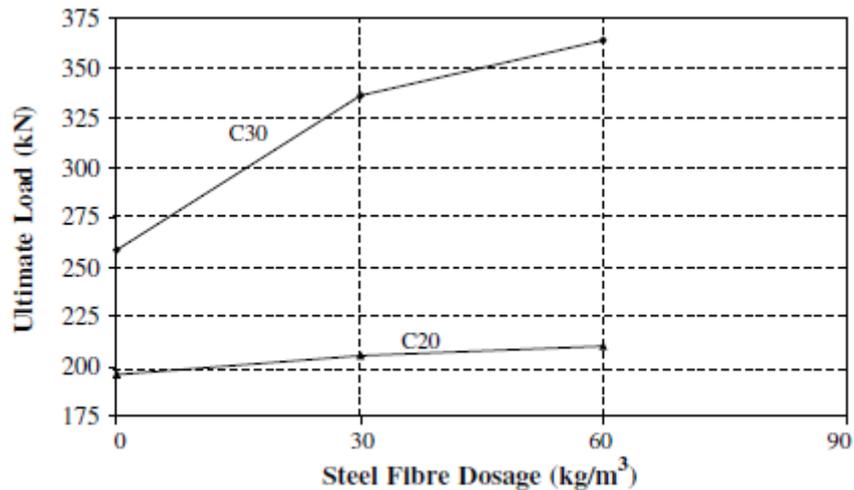
(a) العلاقة بين الانتقال والحمولة للجوائز المنفذة ببيتون C20.



(b) العلاقة بين الانتقال والحمولة للجوائز المنفذة ببيتون C30.

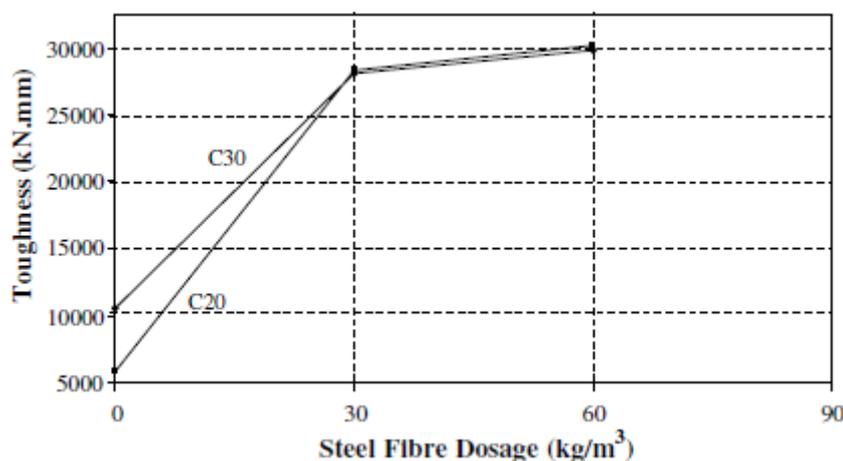
الشكل (4-6): العلاقة بين الانتقال والحمولة للجوائز البيتونية المدروسة (Altun, et al., 2007).

نتيجة الدراسة، تبين زيادة مقاومة الجوائز مع استخدام الألياف الفولاذية، وازدياد نسبة الزيادة مع زيادة كمية الألياف المضافة، وفق الشكل (4-7):



الشكل (4-7): تغير الحمولة تبعاً لنسبة الإضافة، ومقاومة البيتون (Altun, et al., 2007).

ويبين الشكل (4-7)، أن نسبة زيادة المقاومة كانت منخفضة لحالة البيتون بمقاومات منخفضة (C20)، كما أن نسبة زيادة المقاومة مع ازدياد نسبة الإضافة لم تتناسب وتلك النسبة، ولدراسة تأثير نسبة الإضافة على مطاوعة الجوائز، تم حساب مؤشر الطاقة لكل من الحالات السابقة وكانت النتائج مبينه في الشكل (4-8).



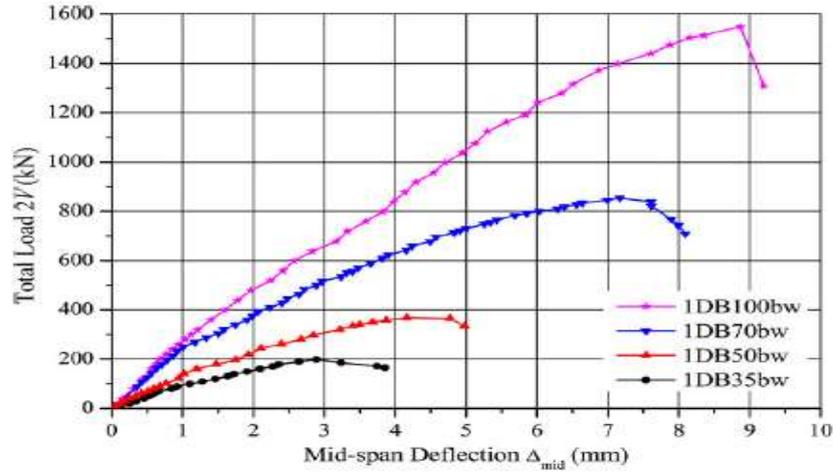
الشكل (4-8): تغير مؤشر الطاقة تبعاً لنسبة الإضافة، ومقاومة البيتون (Altun, et al., 2007).

حيث لاحظ الباحث ظهور تأثير زيادة المقاومة الاسطوانية المميزة للبيتون على مطاوعة البيتون في حال عدم استخدام الألياف، بينما يتلاشى هذا التأثير عند استخدام الألياف، مع ملاحظة ازدياد المطاوعة باستخدام الألياف الفولاذية.

✓ قام (Rashed and Kabir, 1996)، بدراسة سلوك الجوائز العميقة بتغير النسبة L/H، حيث لاحظ الباحث تشكل تشققات القص القطرية في الجوائز العميقة مع انخفاض النسبة L/H، وظهور تشققات الانعطاف مع ازدياد النسبة L/H، كما لاحظ ازدياد نسبة الحمولة الموافقة لشق القص إلى حمولة الإنهيار مع ازدياد النسبة L/H، و انخفاض نسبة عمق شق الإنعطاف إلى العمق الكلي للجوائز مع انخفاض النسبة L/H مع بقاء تشققات الإنعطاف ضمن النصف السفلي من عمق الجوائز، و الحفاظ على نمط الإنهيار الرئيسي نتيجة الشد القطري في الجوائز العميقة المسلحة بالتسليح الكافي.

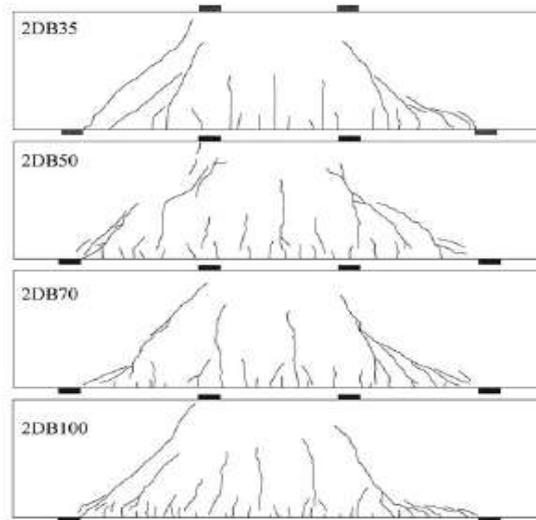
✓ قام (Zhang and Tan, 2007)، بدراسة تأثير تغير أبعاد الجوائز العميقة على سلوك الجوائز العميق، من خلال دراسة ثلاثة نماذج من الجوائز العميقة وبأبعاد مختلفة، وقام بدراسة تطور السهم مع زيادة الحمولة، وصولاً لشكل الإنهيار، وبالنتيجة تبين بأن، قدرة

تحمل الجائز وانهياره تأثرت بشكل كبير تبعاً لعرض الجائز، بالرغم من زيادة ارتفاعه الشكل (9-4).



الشكل (9-4): تغيير الحمولة تبعاً لعرض الجائز العميق المدروس (Zhang and Tan , 2007).

كما أن، زيادة النسبة h/b ، ووجود أساور القص لم تؤثر على شكل الانهيار للجائز العميق المدروس، وكان شكل الانهيار لجميع أنواع الجوائز متشابهاً، كما في الشكل (10-4).

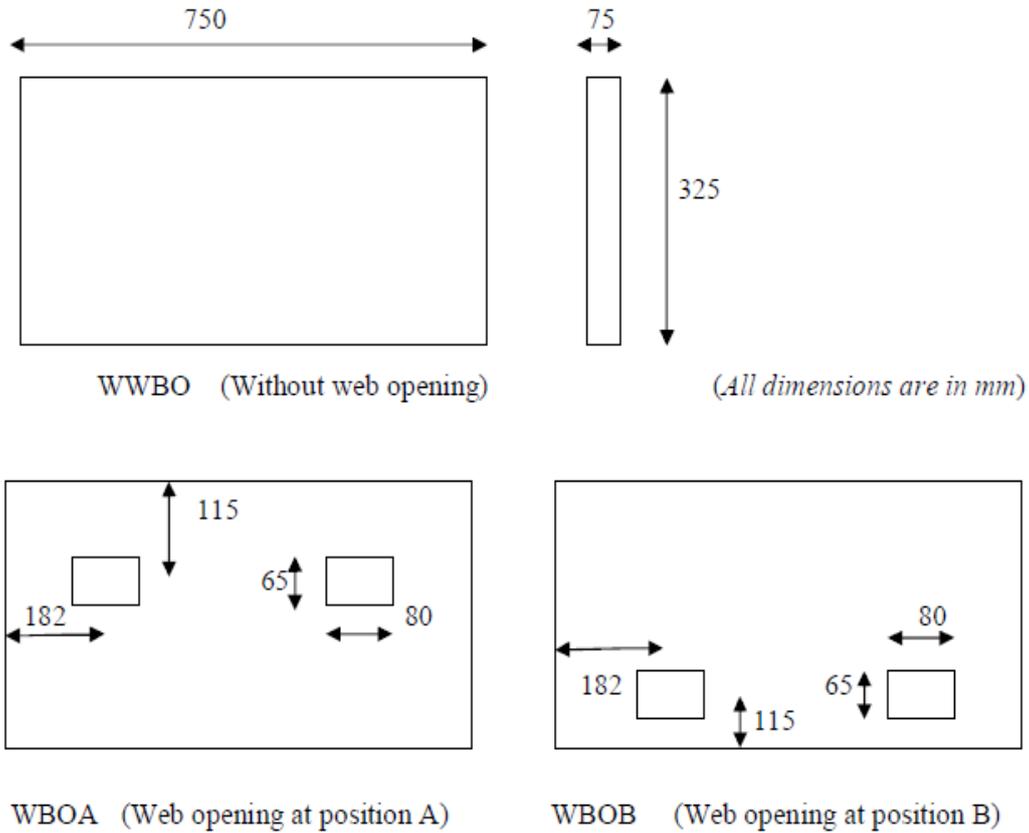


الشكل (10-4): التشققات في الجوائز العميقة المدروسة بتغيير عرضها (Zhang and Tan , 2007).

كما تبين من الدراسة، بأن سلوك المنطقة القطرية بين المسند وتطبيق الحمولة (مايسمى بالدعامة القطرية) بعد التشقق القطري مماثل لسلوك الإسطوانات البيتونية المعرضة للضغط، كما أن أبعاد كل من منطقة التحميل، وصفائح الإستناد، تؤثر بشكل مباشر على عرض الدعامة القطرية.

كما لوحظ بأن ظهور التشققات القطرية كان بعد حدوث تشققات الإنعطاف التي تتوسع بسرعة مع تزايد الحمولة أثناء توسع الشق القطري، كما أن تشققات القص تصل إلى كامل عمق الجائز بغض النظر عن أبعاد الجائز، أما تشققات الإنعطاف فتتطور بشكل أكبر مع ازدياد أبعاد الجائز.

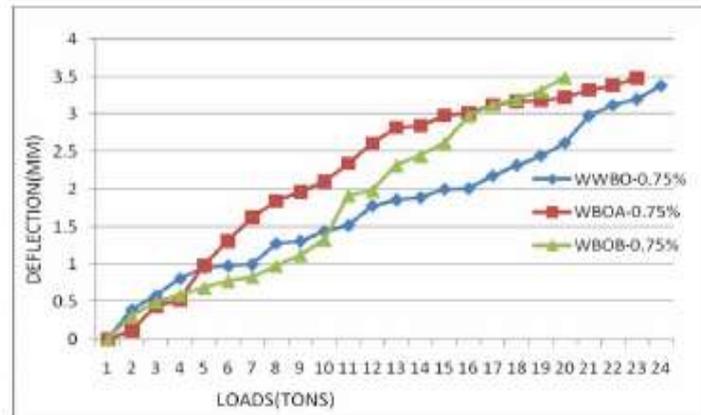
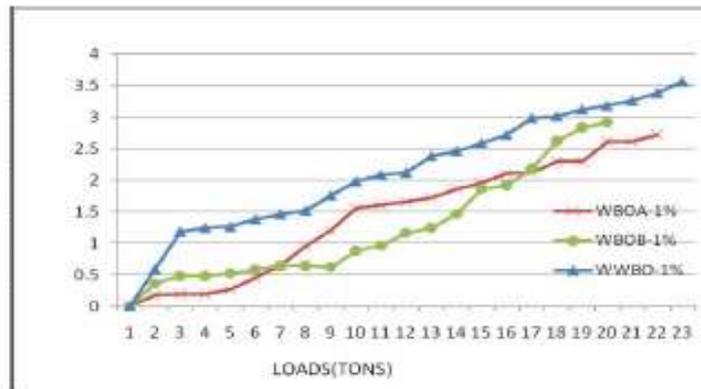
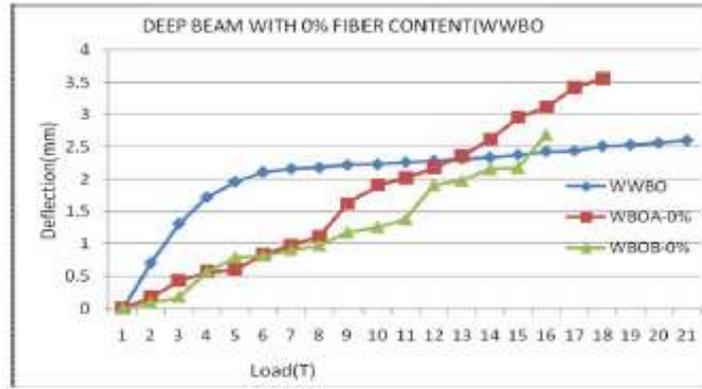
✓ كما قام (Vengatachalapathy and Ilangovan, 2010)، بدراسة سلوك الجوائز العميقة من البيتون المسلح بالألياف الفولاذية مع وبدون فتحات، بتغيير نسبة الألياف المضافة، من خلال دراسة ثلاثة نماذج من الجوائز العميقة، الأولى بدون فتحات، الثانية بفتحات في الموقع A، والثالثة بفتحات في الموقع B كما في الشكل (11-4).



الشكل (11-4): نماذج الجوائز العميقة المختبرة (Vengatachalapathy and Ilangovan, 2010).

أظهرت التجربة ظهور الشق المائل الرئيسي في الجوائز مع ألياف بشكل مفاجئ عند 50-60 % من الحمولة الحدية، بينما ظهر في الجوائز دون ألياف عند 40 % من حمولة الإنهيار، وظهرت جميع التشققات عند حمولة 70-80 % من الحمولة الحدية، وانهارت جميع الجوائز على القص.

كما يبين الشكل (4-12) العلاقة بين الحمولة والانتقال لنماذج الجوائز الثلاث:

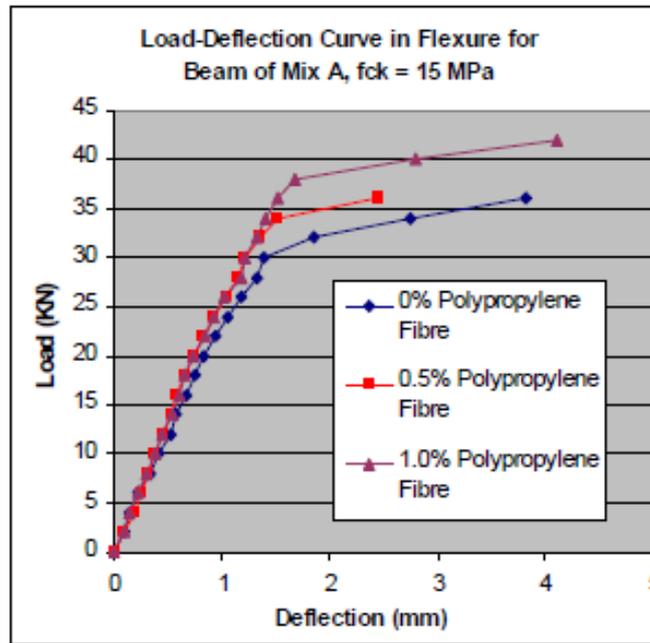


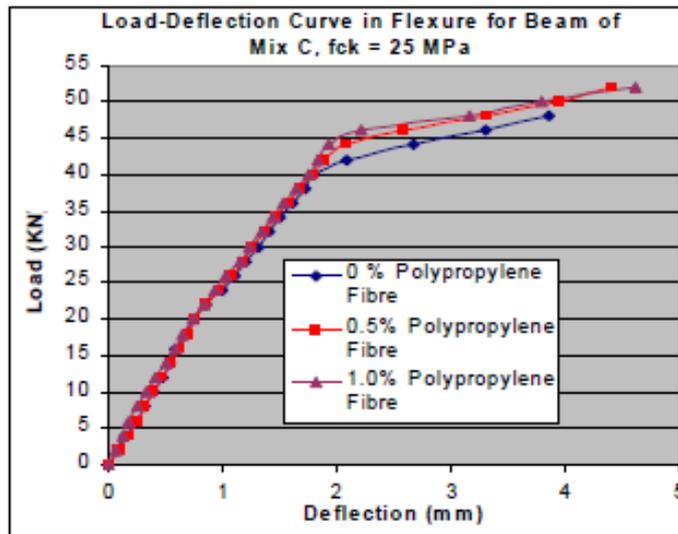
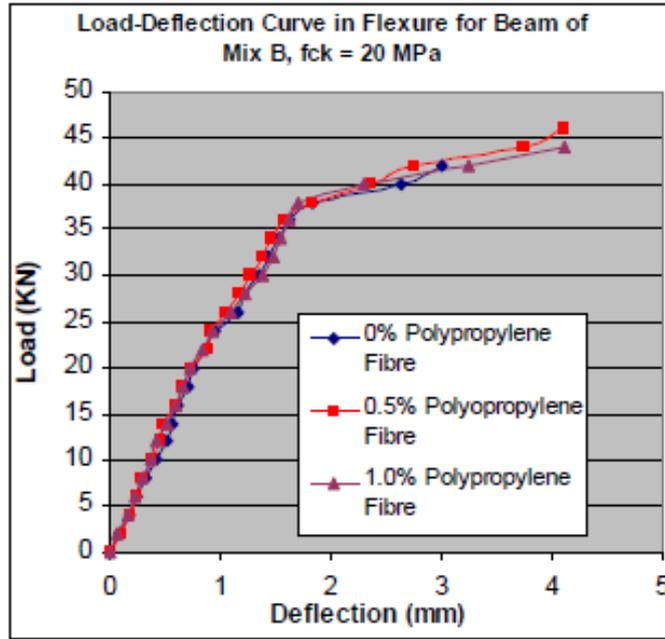
الشكل (4-12): منحنى السهم- الحمولة للجوائز العميقة المختبرة (Vengatachalapathy and Ilangovan, 2010).

تبين التجربة أن النسبة الأفضل للألياف الفولاذية 0.75 % حجماً، فهي تحسن كل من الحمولة القصوى للجوائز والحمولة الموافقة للشق الأول، أما النسبة الإضافية من الألياف فتزيد من مقاومة الخلطة البيتونية على الشد، وتزيد من مطاوعة الجوائز.

كما أن وجود الفتحات ضمن منطقة الضغط مع استخدام نسبة % 0.75 من الألياف الفولاذية يحسن من مقاومة الجائز، أما الفتحات ضمن منطقة الشد فتضعف من مقاومة الجائز، والتي اعتمدت بشكل كبير على درجة تعارض الفتحات مع مسار انتقال الحمولة.

✓ درس (Krishna. etal , 2011)، سلوك الجوائز العميقة المنفذة من البيتون المضاف إليه رماد أفران التعدين بنسبة % 20 من عيار الإسمنت، والمقوى بألياف البولي بروبيلين بنسب حجمية متغيرة % 0- 0.5- 1، وبتغير مقاومة الخلطة البيتونية (C15, C20, C25)، والتي توصل بنتيجتها إلى ازدياد كل من مقاومة البيتون على الضغط، والشد، والمقاومة القصوى للجوائز العميقة، مع ازدياد كل من مقاومة الخلطة، ونسبة الاضافة، فمن أجل مقاومة C25، زادت مقاومة البيتون على الضغط بنسبة % 8.78، وعلى الشد بنسبة % 9.84، وكذلك زيادة المقاومة القصوى على الانعطاف للجوائز بنسبة % 22.5، مع ظهور التأثير الأكبر للإضافات مع انخفاض مقاومة الخلطة المبيّن في الشكل (4-13).





الشكل (13-4): علاقة السهم – الحمولة للجوائز المدروسة (Krishna et al, 2011).

بالنتيجة توصل الباحث إلى: ازدياد المقومات على الإنعطاف للجوائز البيتونية العميقة مع رماد الأفران بشكل كبير مع استخدام ألياف البولي بروبيلين، كما ارتفعت الحمولة الموافقة للشق الأول بشكل هامشي باستخدام هذه الألياف، مع ملاحظة انهيار الجوائز العميقة من البيتون مع رماد الأفران والمسلحة بألياف البولي بروبيلين بشكل أكثر مطواعةً من البيتون العادي.

4-4 ملاحظات عن الدراسات السابقة:

من الدراسات السابقة التي تم استعراضها في هذا الفصل، نبين فيما يلي الجديد في هذا البحث:

- ١- استخدمت الدراسات السابقة الألياف الفولاذية بمواصفات أجنبية، بينما استخدم البحث الحالي الألياف الفولاذية محلية الصنع (الشركة السورية للأسلاك المعدنية)، والتي تم تطبيقها على البيتون المحلي.
 - ٢- قامت الدراسات السابقة بدراسة تأثير أنواع الإضافات على الجوائز البيتونية المسلحة بتسليح كامل، بينما قامت الدراسة الحالية بمقارنة تأثير الإضافات المحلية على سلوك كل من الجوائز البيتونية المسلحة بتسليح كامل، مع الجوائز البيتونية المسلحة بتسليح انعطاف فقط (بغياب التسليح العرضي).
 - ٣- قامت الدراسات السابقة بفرض التصرف المرن للبيتون، بينما سيتم في هذا البحث لحظ أثر لاخطية البيتون ضمن الدراسة التحليلية.
-

الفصل الخامس

Chapter 05

الدراسة التجريبية

Experimental Study

1-5- مقدمة :

إن الغاية الأساسية من الدراسة التجريبية في هذه الأطروحة، هو دراسة تأثير الإضافات المحلية على مقاومات البيتون المصنع محلياً لكل من الضغط والشد، وتأثير هذه الإضافات على سلوك كل من الجوائز البيتونية المسلحة العادية، والعميقة، وفق المراحل التالية:

- 1- تحديد مواصفات مكونات الخلطة البيتونية، والإضافات المستخدمة في تصنيعها.
- 2- اختبارات مقاومات البيتون على الضغط، والشد.
- 3- اختبار الجوائز البيتونية المسلحة العادية.
- 4- اختبار الجوائز البيتونية المسلحة العميقة.

2-5- تحديد مواصفات مكونات الخلطة البيتونية:

تم إعداد مكونات البيتون اللازمة لتنفيذ الخلطة البيتونية، وهي الحصويات (البحص - الرمل) اللازمة لتصنيع الخلطة البيتونية، الاسمنت، وكذلك الإضافات المقترحة للعمل التجريبي (الألياف الفولاذية - ألياف البولي بروبيلين - الألياف الزجاجية - بودرة السيليكا)، وتم اختبارها، وفق المراحل التالية:

1- تحديد الخواص الأساسية الحصى الكلسية المنشأ (مصدرها منطقة الضمير)، وكذلك رمل المزار الأحمر الكوارتزي (مصدره منطقة النبك)، والمستخدم في تصنيع البيتون، وكذلك تحديد مواصفات الإضافات المستخدمة في العمل التجريبي.

2- مقارنة التدرج الحبي لكل نوع من أنواع الحصى مع التدرجات الحبية النظامية، وتعديلها لتناسب موافقة لها، ومزجها مع بعضها البعض بنسب مدروسة تجريبياً، للوصول إلى التدرج الحبي المقبول للحصى المثالية.

3- تصميم الخلطات البيتونية.

1-2-5- الوزن النوعي والحجمي ونسبة الامتصاص للحصى:

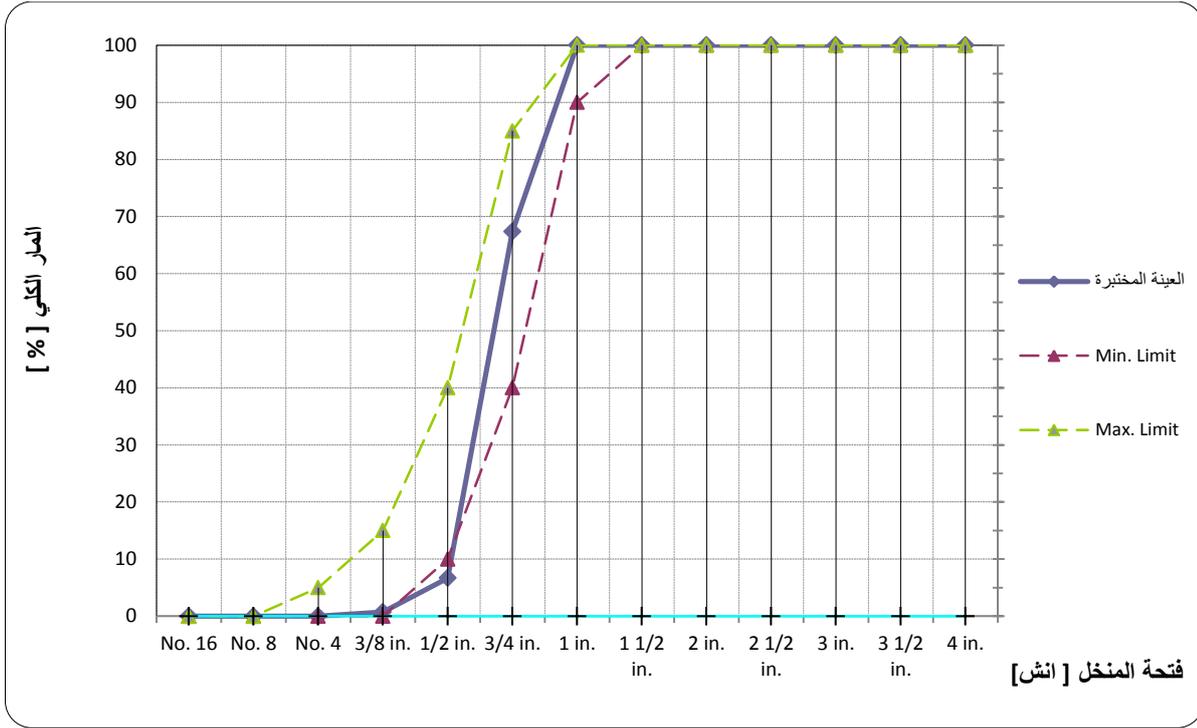
تم إجراء كل من تجربة الوزن الحجمي الردمي، والوزن النوعي، ونسبة الامتصاص، وفق ASTM-C127، وكما ورد في الفقرات، 2-8-2 و 3-8-2، لجميع أنواع الحصى، فكانت النتائج كما في الجدول (1-5):

الجدول (1-5): مواصفات الحصى المستخدمة.

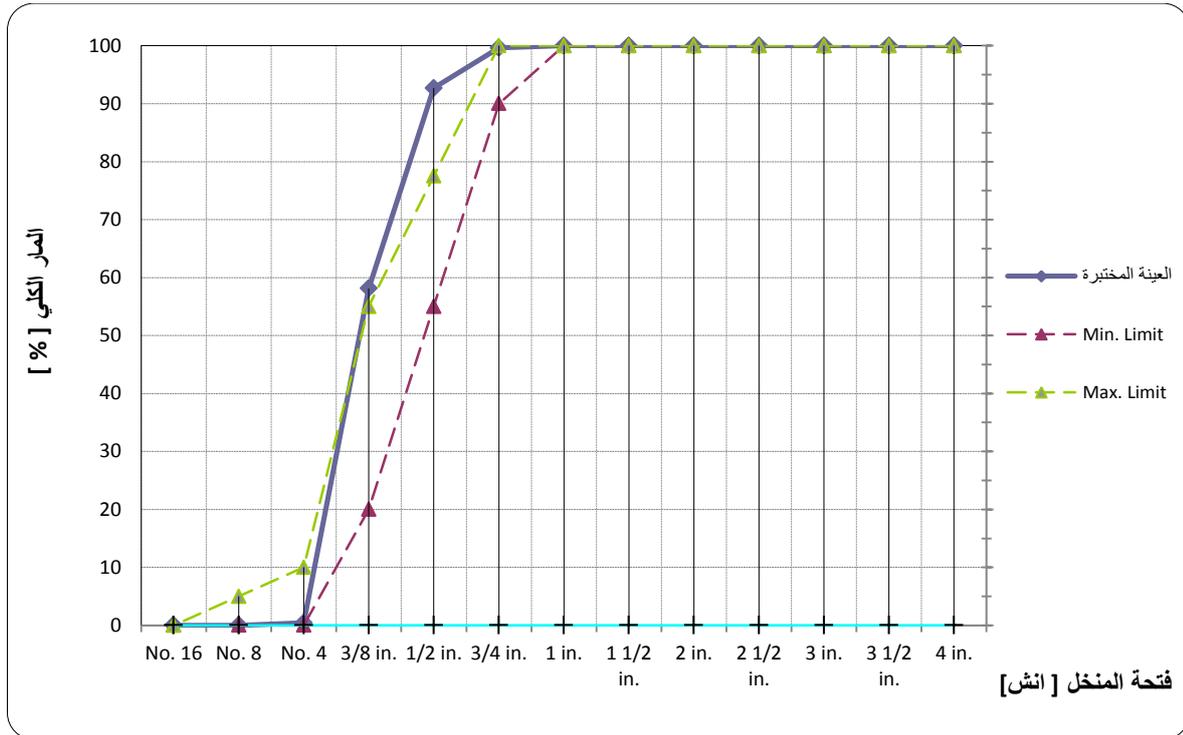
معامل النعومة M_f	المكافئ الرملي (%)	نسبة الامتصاص (%)	القطر الأعظمي D_{max} (mm)	الوزن النوعي (kN/m^3)	الوزن الحجمي (kN/m^3)	نوع الحصى
-----	-----	0.54	9.5	28.17	18.05	البحص الفولي
-----	-----	0.75	4.75	27.97	17.95	الحص العدسي
3.3	82	1.02	-----	27.10	17.07	رمل الصب
1.8	78	0.55	-----	25.60	15.82	رمل المزار

2-2-5- التدرج الحبي للحصى:

تم إجراء تجربة التدرج الحبي، وفق ASTM-C33، وكما ورد في الفقرة 1-8-2، لكل من عيني البحص، النوع الأول (الفولي، $D_{max}=10$ mm)، النوع الثاني (العدسي، $D_{max}=5$ mm)، فكان التدرج الحبي لها، مقارنة مع المجال المسموح للبحص، موضحاً في الشكل (1-5).



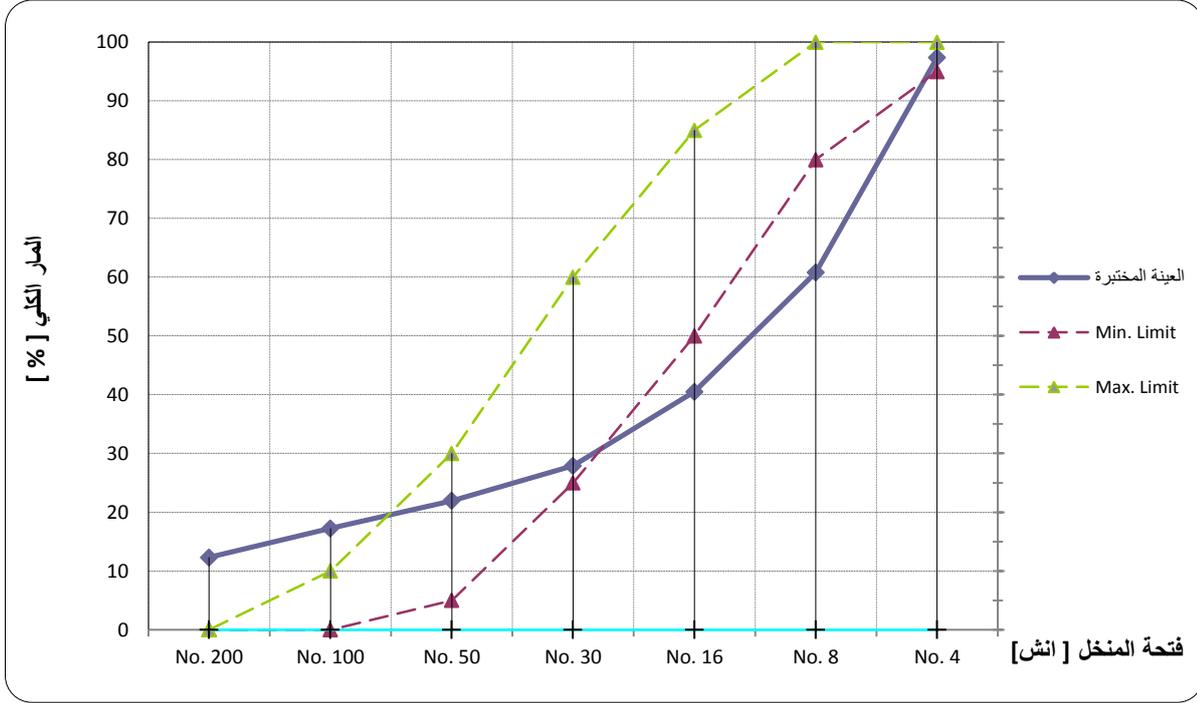
a : التدرج الحبي للبحص الأول (الفولي).



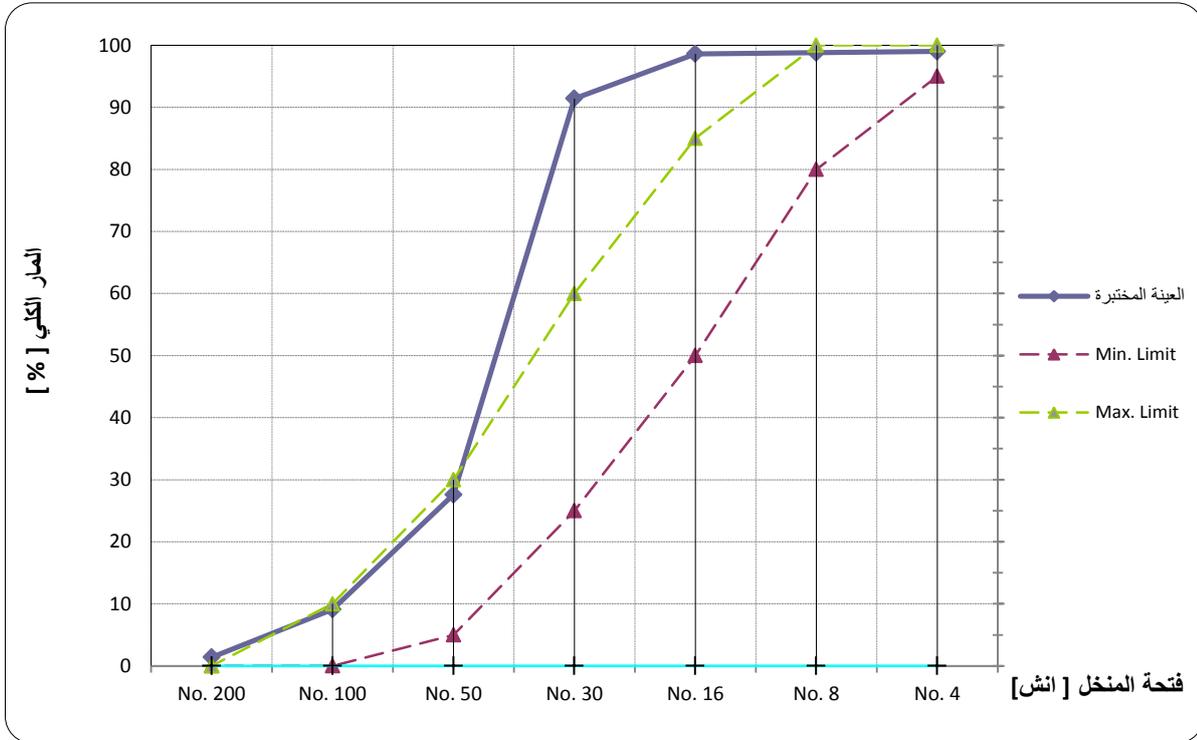
b : التدرج الحبي للبحص الثاني (العديسي)

الشكل (1-5): التدرج الحبي للبحص المستخدم

كذلك يبين الشكل (2-5)، التدرج الحبي لعينتي الرمل، الصب، والمزار، مقارنة مع المجال المسموح للرمل .



a : التدرج الحبي لرمل الصب.



b : التدرج الحبي لرمل المزار.

الشكل (2-5): التدرج الحبي للرمل المستخدم.

3-2-5- المكافئ الرملى للرملى المستخدم :

تم تحديد المكافئ الرملى، لكل من رمل الصب، ورملى المزار، ومقارنته مع القيم المطلوب تحقيقها لتنفيذ البيتون العادى، والعالى المقاومة، كما ورد فى الفقرة 2-8-4، فكانت قيم المكافئ الرملى مبينه فى الجدول (1-5).

4-2-5- الاسمنت البورتلندى :

تم استخدام اسمنت بورتلندى عادى، ماركة 42.5 Mpa، بمستوى يحقق المواصفة ASTM-C150، الخاصة بالاسمنت البورتلندى.

3-5- الإضافات المستخدمة :

1-3-5- الألياف الفولاذية :

تتميز الألياف الفولاذية المستخدمة والمبينة بالشكل (3-5) بالمواصفات التالية :

- مقطع عرضى مستطيل مع وجود التواء على طول الليف، (متغيرة المقطع، مع عكفة طرفية فى الدراسات الأخرى).
- مصنعة من سبائك فولاذية مطابقة لـ DIN 17100.
- إجهاد الشد 140– 240 MPa، (1050 MPa فى الدراسات الأخرى).
- عامل المرونة 210000 MPa.
- طول الألياف $L = 38 \text{ mm}$ وقطرها $d = 0.4 \text{ mm}$ ، ومعامل الشكل $l/d = 95$.



الشكل (3-5): الألياف الفولاذية المستخدمة.

2-3-5- الألياف الزجاجية :

تتصف الألياف الزجاجية المستخدمة في البحث، والمبينة بالشكل (4-5)، بما يلي:

- 1- خلوها من المواد القلوية والكبريتية والكلورايد.
- 2- يتراوح قطرها بين 18 – 30 micron، وبطول 20 mm.
- 3- وزنها الحجمي 0.9 gr/cm^3 .
- 4- مقاومتها على الشد 2000 Mp، ومعامل مرونتها 80000 Mpa.



الشكل (4-5): الألياف الزجاجية المستخدمة.

3-3-5- ألياف البولي بروبيلين :

تتصف ألياف البولي بروبيلين المركبة الناعمة، المبينة بالشكل (5-5)، بما يلي:

- ١- مكونة من البولي بروبيلين المتماثل، وخالية من المواد القلوية والكبريتية والكلورايد، درجة ذوبانها 160°C ، (140°C في الدراسات الأخرى).
- ٢- قطر الألياف 18 micron، وطولها 12 mm.
- ٣- وزنها الحجمي 0.91 g/cm^3 ، ولا يقل سطحها النوعي عن $230 \text{ m}^2/\text{kg}$.
- ٤- لا تقل مقاومتها على الشد عن 35 Mpa، ويتراوح معامل مرونتها بين 3500 – 3900 Mpa.
- ٥- متوافقة مع مواصفات ASTM C-1116.



الشكل (5-5): ألياف البولي بروبيلين المستخدمة.

4-3-5- بودرة السيليكا :

تتميز البودرة المستخدمة، الشكل (5-6) بما يلي :

- 1- خفيفة القوام بلون رمادي داكن.
- 2- لا تزيد نسبة الكلورايد فيها عن % 0.1.
- 3- كثافتها $550 - 700 \text{ kg/m}^3$.



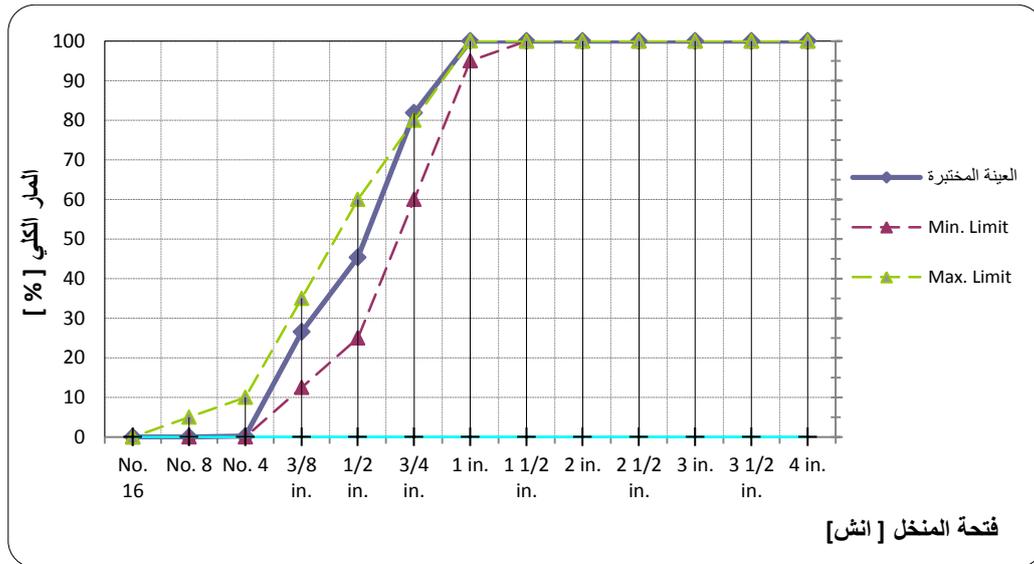
الشكل (5-6): بودرة السيليكا المستخدمة.

4-5- تعديل (تنسيب) الحصويات :

بعد رسم مخططات التدرج الحبي لكل من نوعي البحص الفولي والعدسي، الشكل (5-5) ونوعي رمل الصب والمزار الشكل (5-6)، نلاحظ بأن المخطط لا يقع ضمن المجال المقبول للتدرج الحبي النظامي في جزء منه وفق ASTM-C33، ولذلك توجب مزج نوعي البحص الأول (الفولي)، والثاني (العدسي) بنسب معينة، للحصول على بحص ذو تدرج حبي مقبول، حيث تم تجريب عدة نسب للمزج وصولاً إلى النسبة التي تحقق المنحني المقبول، وتم اعتماد معادلة المزج الناتجة تجريبياً التالية :

$$\text{التدرج الحبي للبحص الخليط} = 55\% \text{ من البحص الأول} + 45\% \text{ من البحص الثاني.}$$

حيث يبين الشكل (5-7) التدرج الحبي للبحص الخليط والذي يقع ضمن المجال المقبول للبحص.

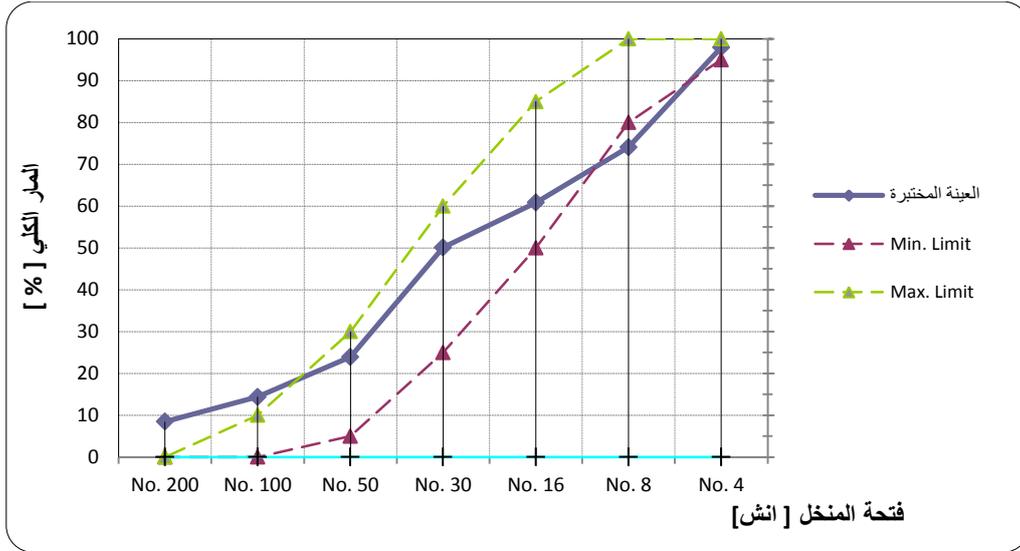


الشكل (5-7): التدرج الحبي للبحص الخليط.

وبنفس الطريقة السابقة، تم تجريباً تحديد نسب مزج نوعي الرمل المستخدم، وتم اعتماد نسب المزج التالية :

$$\text{التدرج الحبي للرمل الخليط} = 65\% \text{ من رمل الصب} + 35\% \text{ من رمل المزار}$$

ويبين الشكل (5-8) التدرج الحبي للرمل الخليط والذي يقع ضمن المجال المقبول :



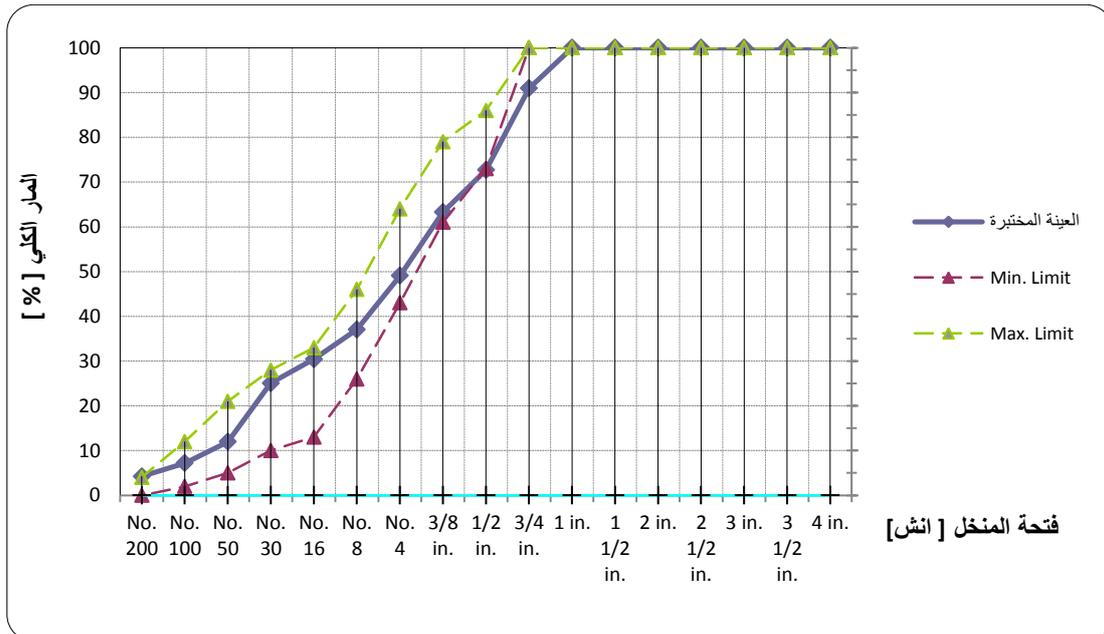
الشكل (8-5): التدرج الحبي للرمل الخليط.

وللحصول على تدرج حبي مثالي ومقبول للحصويات قمنا بتجريب عدة نسب وصولاً الى معادلة المزج، لكل من البحص الخليط، والرمل الخليط، فكان:

التدرج الحبي للحصويات = 50 % من البحص الخليط + 50 % من الرمل الخليط

= 27.5 % البحص الأول + 22.5 % البحص الثاني + 32.5 % رمل صب + 17.5 % رمل مزار.

ويبين الشكل (9-5) التدرج الحبي الحقيقي للحصويات، وفق معادلة المزج السابقة، والذي يقع بدوره ضمن المجال المسموح للحصويات المثالية:



الشكل (9-5): التدرج الحبي الحقيقي للحصويات المستخدمة.

بذلك نجد أن الإحصارات الموجودة من الحصويات محققة للتدرج الحبي المثالي، وفق ASTM-C33، وكذلك الرمل محقق للمكافئ الرملي المطلوب، (≤ 75) للبيتون العادي بمقاومات عالية نسبياً.

5-5- تصميم الخلطات البيتونية :

تم اعتماد الطريقة الأمريكية ACI 211.1-91، في تصميم الخلطة البيتونية بمقاومة اسطوانية مميزة مقدارها 22 MPa، باستخدام الإحصارات المختبرة والمحددة مواصفاتها سابقاً، وتم تصميم مجموعة أولى من العينات منفذة من خلطة بيتونية عادية (الخلطة الأولى)، وخلطة بيتونية مع رمل مزار (الخلطة الثانية)، بدون إضافات، وأخرى مع الألياف الفولاذية، بنسبتين مختلفتين وفق النماذج التالية :

a - الخلطة البيتونية الأولى (بدون رمل مزار) - خلطة مرجعية أولى.

b - الخلطة الأولى مع ألياف فولاذية بنسبة 30 kg/m^3 .

c - الخلطة الأولى مع ألياف فولاذية بنسبة 60 kg/m^3 .

d - الخلطة البيتونية الثانية (مع رمل مزار) - خلطة مرجعية ثانية.

e - الخلطة الثانية مع ألياف فولاذية بنسبة 30 kg/m^3 .

f - الخلطة الثانية مع ألياف فولاذية بنسبة 60 kg/m^3 .

وكانت الكميات والنسب الوزنية للمواد اللازمة لمتر مكعب من الخلطة مبيته في الجدول (2-5).

الجدول (2-5): الأوزان والنسب الوزنية التصميمية لتصميم نماذج الخلطات البيتونية مع الألياف الفولاذية.

الخلطة	اسمنت	البحص الفولي		البحص العدسي		رمل الصب		رمل المزار		الماء		ألياف فولاذية
		kg/m^3	G_1/C	kg/m^3	G_2/C	kg/m^3	S_1/C	kg/m^3	S_2/C	kg/m^3	W/C	
a	350	1.27	445.13	1.04	364.20	2.83	989.18	----	----	0.55	193.67	----
b	350	1.27	445.13	1.04	364.20	2.83	989.18	----	----	0.55	193.67	30
c	350	1.27	445.13	1.04	364.20	2.83	989.18	----	----	0.55	193.67	60
d	350	1.27	446	1.05	366.25	1.83	639.17	0.99	347.08	0.55	193.67	----
e	350	1.27	446	1.05	366.25	1.83	639.17	0.99	347.08	0.55	193.67	30
f	350	1.27	446	1.05	366.25	1.83	639.17	0.99	347.08	0.55	193.67	60

كما تم تصميم مجموعة ثانية من العينات من الخلطين السابقتين (بدون، ومع رمل المزار)، مع الإضافات الصناعية (ألياف البولي بروبيلين – الألياف الزجاجية – السيليكافيوم)، وفق النماذج التالية :

aa - الخلطة البيتونية الأولى (بدون رمل مازار) – خلطة مرجعية أولى.

bb - الخلطة الأولى مع ألياف بولي بروبيلين بنسبة 0.6 kg/m^3 .

cc - الخلطة الأولى مع ألياف زجاجية بنسبة 0.6 kg/m^3 .

dd - الخلطة الأولى مع بودرة السيليكا بنسبة (10% من وزن الاسمنت) 0.1C kg/m^3 .

ee - الخلطة البيتونية الثانية (مع رمل مازار) – خلطة مرجعية ثانية.

ff - الخلطة الثانية مع ألياف بولي بروبيلين بنسبة 0.6 kg/m^3 .

gg - الخلطة الثانية مع ألياف زجاجية بنسبة 0.6 kg/m^3 .

hh - الخلطة الثانية مع بودرة السيليكا بنسبة (10% من وزن الاسمنت) 0.1C kg/m^3 .

وكانت كمية المواد اللازمة للمتر المكعب الواحد من الخلطة مبيته في الجدول (3-5).

الجدول (3-5): الأوزان والنسب الوزنية التصميمية لتصميم نماذج الخلطات البيتونية مع الإضافات الصناعية.

الإضافة المستخدمة	الماء		رمل المزار		رمل الصب		البحص العدسي		البحص الفولي		اسمنت	الخلطة	
	kg/m ³	W/C	kg/m ³	S ₂ /C	kg/m ³	S ₁ /C	kg/m ³	G ₂ /C	kg/m ³	G ₁ /C	kg/m ³		
----	----	193.67	0.55	----	----	989.18	2.83	364.20	1.04	445.13	1.27	350	aa
0.6	بولي بروبيلين	193.67	0.55	----	----	989.18	2.83	364.20	1.04	445.13	1.27	350	bb
0.6	زجاجية	193.67	0.55	----	----	989.18	2.83	364.20	1.04	445.13	1.27	350	cc
35	سيليكافيوم	193.67	0.55	----	----	989.18	2.83	364.20	1.04	445.13	1.27	350	dd
----	----	193.67	0.55	347.08	0.99	639.17	1.83	366.25	1.05	446	1.27	350	ee
0.6	بولي بروبيلين	193.67	0.55	347.08	0.99	639.17	1.83	366.25	1.05	446	1.27	350	ff
0.6	زجاجية	193.67	0.55	347.08	0.99	639.17	1.83	366.25	1.05	446	1.27	350	gg
35	سيليكافيوم	193.67	0.55	347.08	0.99	639.17	1.83	366.25	1.05	446	1.27	350	hh

6-5- الإختبارات على البيتون :

تم القيام بالإختبارات على البيتون، وفق المراحل التالية :

1- تم تنفيذ الخلطات البيتونية المصممة أعلاه، وباستخدام الإحضارات المختبرة سابقاً، وصب مجموعة من العينات المكعبية $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ لاختبارها على الضغط، ومجموعة من

العينات الموشورية أبعادها 100*100*400 mm لاختبارها على الشد الناجم عن الانعطاف، ومجموعة اخرى من العينات الإسطوانية 150*300 mm لاختبارها على الشد الناجم عن الفلق.

2- كسر العينات المصبوبة سابقاً في المرحلة 1، والمحافظة في الشروط النظامية لمدة 28 يوماً، على كل من الضغط، والشد الناجم عن الانعطاف، والشد الناجم عن الفلق، وحساب المقاومات بعد إجراء المعالجة الإحصائية وفق البند 2-5-2.

3- مقارنة نتائج العينات المختبرة، لدراسة تأثير كل نوع من أنواع الإضافات على مقاومات البيتون على الضغط، والشد الناجم عن الانعطاف، والشد الناجم عن الفلق.

1-6-5- اختبار البيتون على الضغط :

تم صب 12 عينة مكعبية 150*150*150 mm، لكل نموذج من نماذج الخلطات البيتونية مع الألياف الفولاذية (72 عينة)، وحفظت في ظروف المخبر وفقاً للشروط النظامية حسب ASTM-C39، وكسرت بعد 28 يوماً، فكانت قوة الكسر لكل منها N، وتم حساب المقاومة المكعبية من العلاقة :

$$\sigma = N/A \quad (5-1) \quad \text{حيث } A \text{ مساحة المقطع العرضي للعينة.}$$

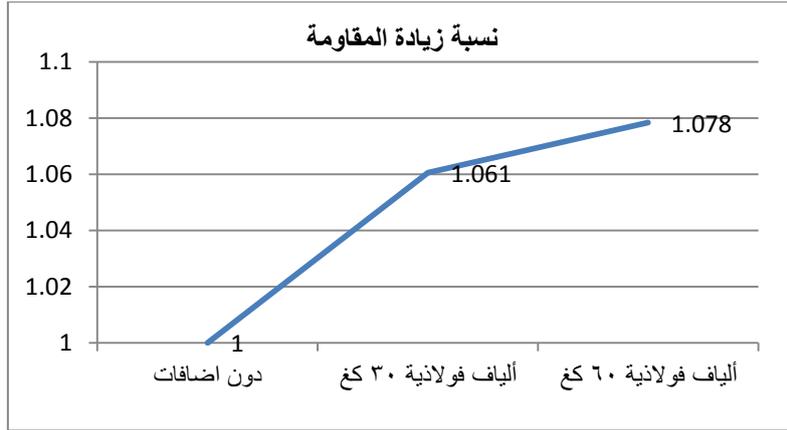
فكانت المقاومة المتوسطة وفق نماذج الخلطات المدروسة مبينه في الجدول (4-5).

الجدول (4-5): مقاومات العينات لنماذج الخلطات البيتونية الأولى مع الألياف الفولاذية.

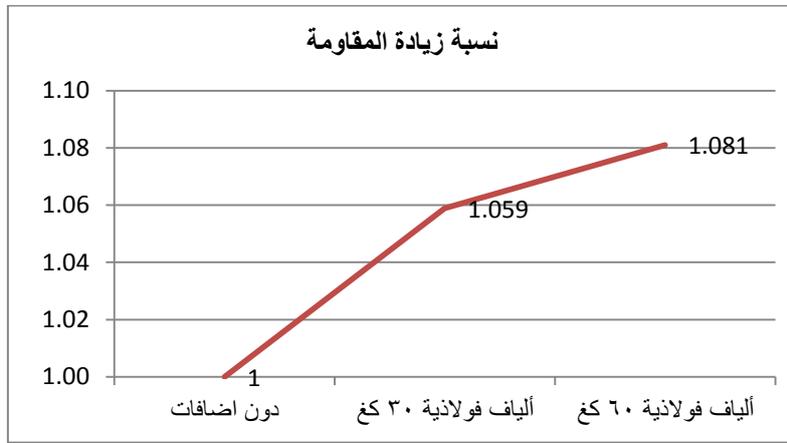
مقاومة البيتون على الشد الناجم عن الفلق MPa	مقاومة البيتون على الشد الناجم عن الانعطاف MPa	المقاومة المكعبية (الاسطوانية) المتوسطة على الضغط MPa	الخلطة
1.89	2.88	39.81 (31.85)	a
2.56	3.95	42.22 (33.78)	b
2.64	4.28	42.93 (34.34)	c
1.92	2.96	44.30 (35.44)	d
2.60	4.01	46.91 (37.53)	e
2.69	4.28	47.89 (38.31)	f

ويبين الشكل (5-10) مخططاً لنسب زيادة مقاومة البيتون على الضغط لنماذج الخلطات الست المدروسة، حيث يظهر ارتفاع مقاومة البيتون على الضغط بنسبة % 10، % 6، عند استخدام ألياف فولاذية بنسبة إضافة $30, 60 \text{ Kg/m}^3$ ، على الترتيب.

وذلك نتيجة لدور الألياف الفولاذية في الربط بين مكونات البيتون ومقاومة انفصال مكونات البيتون، والعمل على زيادة مقاومته.



a- الخلطات البيتونية دون رمل مزار.



b- الخلطات البيتونية مع رمل مزار.

الشكل (10-5): نسب زيادة المقاومة على الضغط باستخدام الألياف الفولاذية.

كما يبين الشكل (11-5)، شكل الانهيار للعينات المختبرة على الضغط، والتي نلاحظ من خلالها تشابه شكل موشور الانهيار للعينات على الضغط، لكل من البيتون العادي بدون أو مع ألياف فولاذية.



b- مع ألياف فولاذية

a- دون ألياف فولاذية

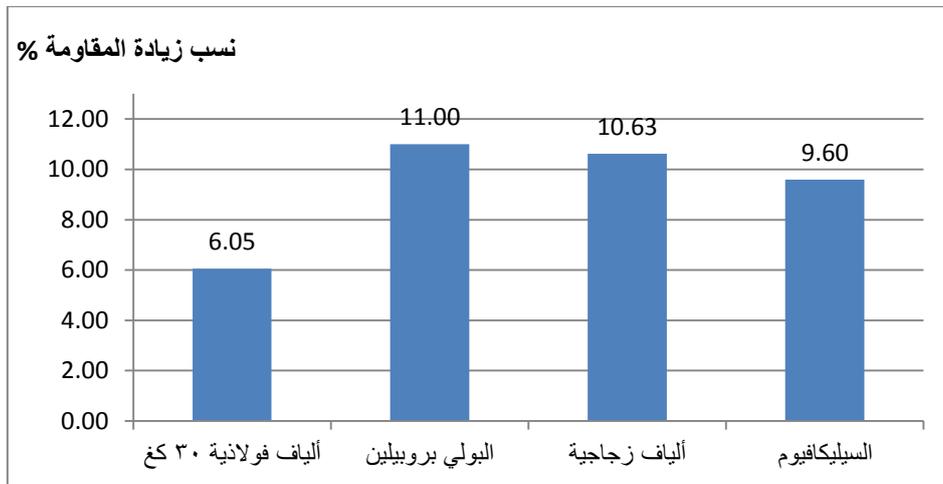
الشكل (11-5): شكل الانهيار للعينات البيتونية الأولى المختبرة على الضغط.

كما تم صب 12 عينة مكعبية $150 \times 150 \times 150$ mm، لكل من خلطات المجموعة الثانية مع الإضافات الصناعية (72 عينة)، وحفظت في ظروف المخبر وفقاً للشروط النظامية حسب ASTM-C39 وكسرت بعد 28 يوماً، فكانت المقاومة المكعبية المتوسطة وفق نماذج الخلطات المدروسة، مبينه في الجدول (5-5).

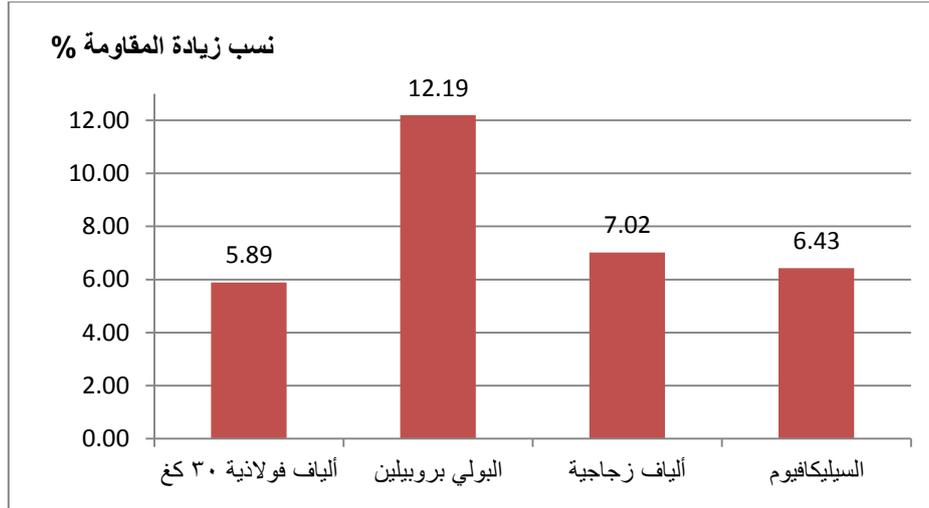
الجدول (5-5): مقاومات العينات لنماذج الخلطات البيتونية الثانية مع الألياف الصناعية.

مقاومة البيتون على الشد الناجم عن الفلق MPa	مقاومة البيتون على الشد الناجم عن الانعطاف MPa	المقاومة المكعبية (الاسطوانية) المتوسطة على الضغط MPa	الخلطة
1.89	2.88	39.81 (31.85)	aa
2.04	3.18	44.19 (35.35)	bb
1.98	3.07	44.04 (35.23)	cc
1.95	3.01	43.63 (34.90)	dd
1.92	2.96	44.30 (35.44)	ee
2.07	3.24	49.70 (39.76)	ff
2.03	3.12	47.41 (37.93)	gg
2.04	3.13	47.15 (37.72)	hh

يبين الشكل (5-12)، مخططاً لنسب زيادة مقاومة الضغط باستخدام أنواع الاضافات المدروسة، حيث يبين ارتفاع مقاومة البيتون على الضغط بنسب 6%, 11-12%, 7-11%, 10-6%، لكل من الألياف الفولاذية، ألياف البولي بروبيلين، الألياف الزجاجية، السيليكافيوم، على الترتيب.



a- الخلطات البيتونية دون رمل مزار.



b - الخلطات البيتونية مع رمل مزار .

الشكل (5-12): نسب زيادة المقاومة على الضغط باستخدام الإضافات.

كما يبين الشكل (5-13) شكل انهيار العينات المختبرة على الضغط لكل من العينات بدون إضافة، والعينات مع كل نوع من أنواع الإضافات الصناعية المستخدمة.



(b) العينة البيتونية مع ألياف بولي بروبيلين

(a) العينة البيتونية دون إضافات



(d) العينة البيتونية مع بودرة السيليكا

(c) العينة البيتونية مع الألياف الزجاجية

الشكل (5-13): شكل الانهيار للعينات البيتونية الثانية المختبرة على الضغط.

نلاحظ بأن، استخدام ألياف البولي بروبيلين كان أفضل أنواع الإضافات المستخدمة بتحسين مقاومة البيتون على الضغط، إضافة إلى دور ألياف البولي بروبيلين بتشكيل شبكة نسيج داخلي ضمن البيتون، ربط بين مكونات الخلطة بشكل قوي، زاد من مقاومتها، وجعلها تحافظ على شكلها بعد الإنهيار (الشكل 5-13-b)، بينما تشابه شكل إنهيار كل من العينات الأخرى (الشكل 5-13-a,c)، والذي كان مشابهاً لموشور الانهيار المعروف للعينات على الضغط.

5-6-2- اختبار البيتون على الشد الناجم عن الانعطاف :

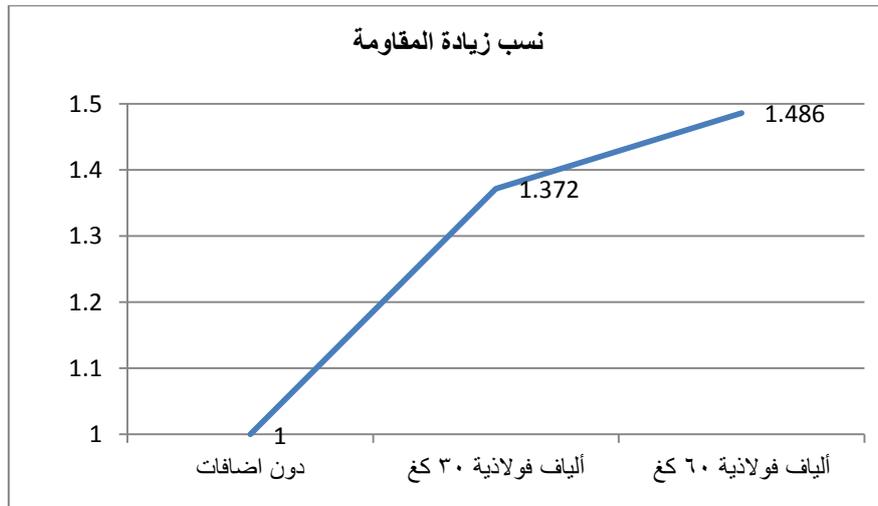
تم صب 6 عينات موشورية 100*100*400 mm، لكل نموذج من نماذج الخلطات البيتونية الأولى (36 عينة) وفق ASTM-C348، وكسرت تحت تأثير تعرضها لقوة مركزة P في منتصف المجاز، وتم حساب اجهاد الشد للبيتون على الانعطاف من العلاقة (2-6) بتعويض قيمة العزم الأعظمي لجائز بسيط طوله L، ومعرض لحمولة مركزة P في منتصفه

$$M_u = P.L/4 \quad (5-2)$$

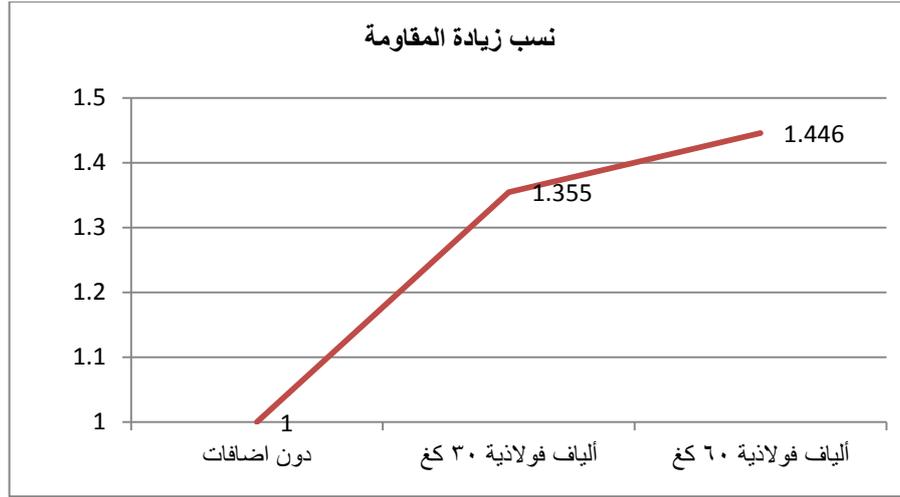
بتعويض العلاقة (5-2) بالعلاقة (2-6) نجد:

$$F_{ct} = 0.9 PL/b^3 \quad (5-3)$$

حيث L مجاز العينة و b عرض المقطع العرضي للعينة، وكانت مقاومة البيتون الوسطية على الشد الناجم عن الانعطاف، وفق نماذج الخلطات المدروسة (6 عينات لكل خلطة) مبيته في الجدول (4-5)، كما ويظهر الشكل (5-14) مخططاً يبين نسب زيادة مقاومة البيتون على الشد الناجم عن الانعطاف لنماذج الخلطات البيتونية مع الألياف الفولاذية المدروسة .



a- الخلطات البيتونية دون رمل مزار .



b- الخلطات البيتونية مع رمل مزار.

الشكل (5-14): نسب زيادة المقاومة على الشد الناتج عن الانعطاف باستخدام الألياف الفولاذية. نلاحظ من الشكل السابق، ارتفاع مقاومة البيتون على الشد بنسبة 35-37 %، 44-49 % لكل من البيتون بألياف فولاذية بنسبة 30, 60 Kg/m³ على الترتيب، كما نلاحظ بأن نسبة زيادة المقاومة لم تتناسب ونسبة زيادة الإضافة من 30 Kg إلى 60 Kg.

كما يبين الشكل (5-15)، شكل الإنهيار للعينات المختبرة على الشد الناتج عن الانعطاف.



b- مع ألياف فولاذية

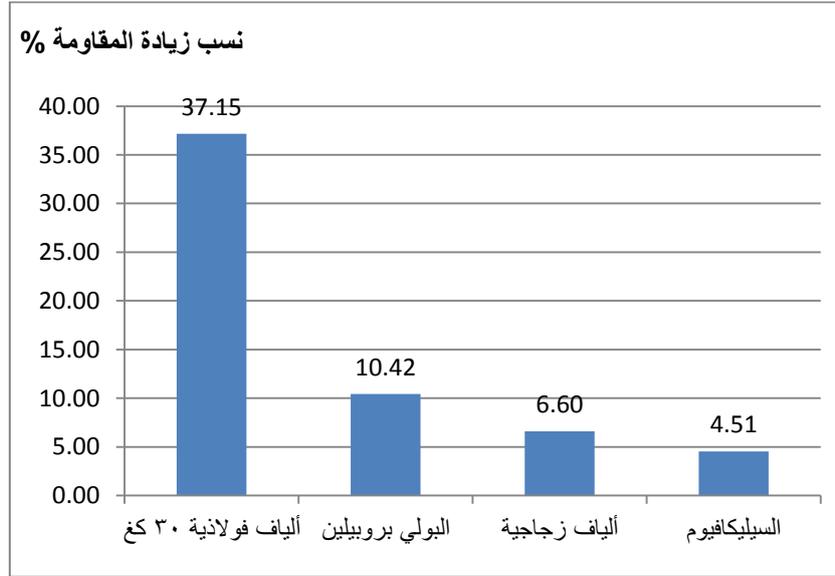


a- دون ألياف فولاذية

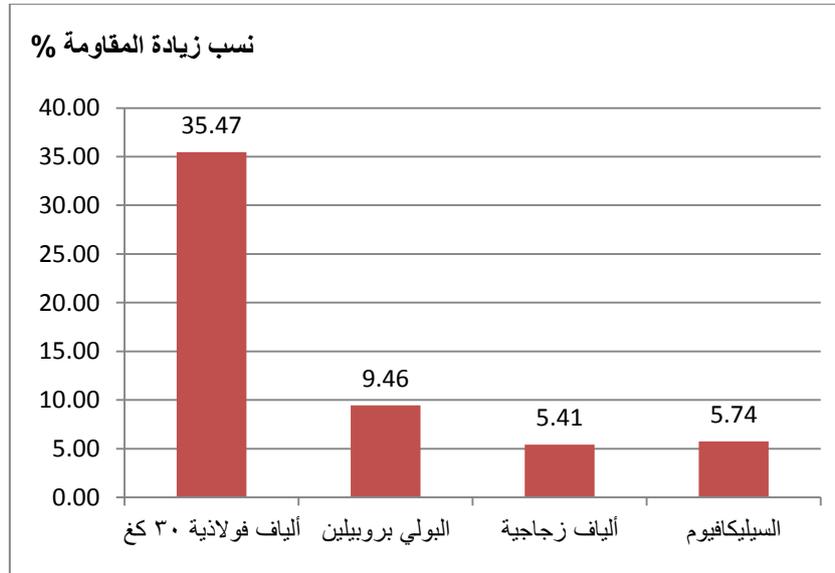
الشكل (5-15): شكل الانهيار للعينات المختبرة على الشد الناتج عن الانعطاف للخلطات البيتونية الأولى.

حيث نلاحظ قيام الألياف الفولاذية بدور مشابه نسبيا لدور التسليح الطولي في الحفاظ على شكل الجائز المختبر (الشكل 5-15-b)، بسبب قيامها بالربط بين مكونات الخلطة البيتونية، كان شكل انهيار الجائز مفاجئ وهش، ولم يحافظ على شكل العنصر بعد الانهيار (الشكل 5-15-a).

كما تم صب 6 عينات موشورية $100*100*400$ mm، لكل من الخلطات السابقة (48 عينة) وفق ASTM-C348، وكسرت تحت تأثير تعرضها لقوة مركزة P في منتصف المجاز. فكانت مقاومة البيتون الوسطية على الشد الناجم عن الانعطاف، وفق نماذج الخلطات الثانية المدروسة (6 عينات لكل خلطة) مبينه في الجدول (5-5)، كما يبين الشكل (5-16) مخططا لنسب زيادة مقاومة البيتون على الشد الناجم عن الانعطاف لنماذج الخلطات الثانية المدروسة.



a- الخلطات البيتونية دون رمل مزار .



b- الخلطات البيتونية مع رمل مزار .

الشكل (5-16): نسب زيادة المقاومة على الشد الناجم عن الانعطاف باستخدام الإضافات.

يبين الشكل (5-16)، ارتفاع مقاومة البيتون على الشد الناجم عن الإنعطاف بنسبة 4-6%، 5-7%، 9-11%، 35-38% لكل من الألياف الفولاذية، ألياف البولي بروبيلين، الألياف الزجاجية، السيليكافيوم، على الترتيب. نلاحظ الدور المهم للألياف الفولاذية في تحسين مقومات البيتون على الشد بنسبة أعلى بكثير من باقي أنواع الإضافات.

كما يبين الشكل (5-17)، شكل الانهيار للعينات المختبرة على الشد الناجم عن الانعطاف، والتي نلاحظ فيها بأن ألياف البولي بروبيلين تحافظ على شكل العينة عند الانهيار (5-17-b)، أما باقي العينات (5-17-a,c,d) فتتهار بنفس الشكل مع اختلاف قيمة إجهاد الانهيار تبعاً لنوع الإضافة ودورها في الربط بين مكونات الخلطة البيتونية.



(b) العينة البيتونية مع ألياف البولي بروبيلين

(a) العينة البيتونية دون إضافات



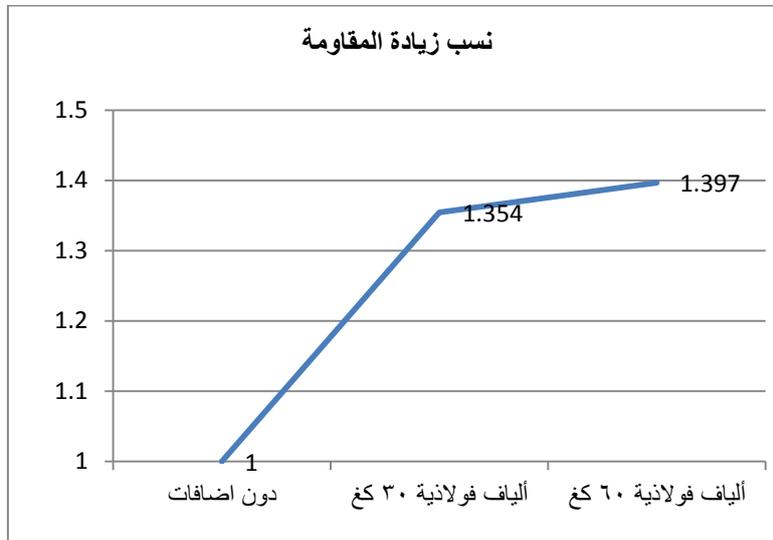
(d) العينة البيتونية مع بودرة السيليكافيوم

(c) العينة البيتونية مع الألياف الزجاجية

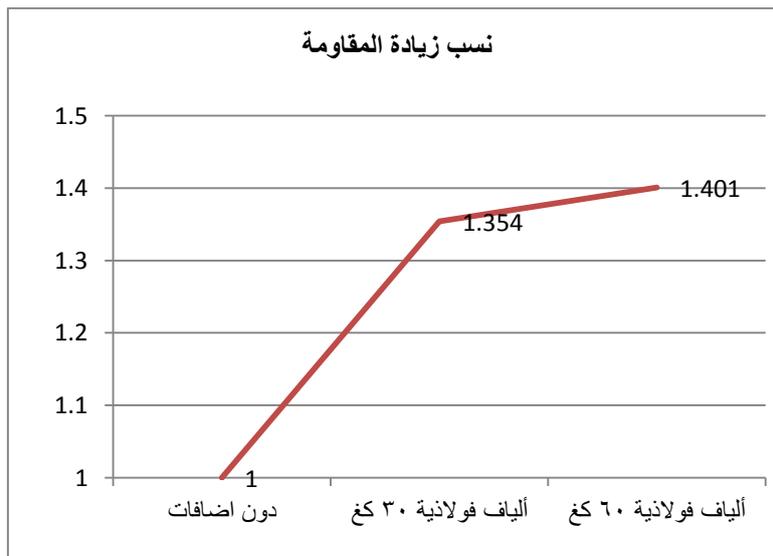
الشكل (5-17): شكل الانهيار للعينات المختبرة على الشد الناجم عن الإنعطاف للخلطات البيتونية الثانية.

3-6-5- اختبار البيتون على الشد الناجم عن الفلق :

تم صب 6 عينات اسطوانية 150*300 mm، لكل نموذج من نماذج الخلطات السابقة (36 عينة) وفق ASTM-C496، وكسرت تحت تأثير تعرضها لقوة موزعة p مطبقة على طول مولد الإسطوانة، وتم تحديد اجهاد الشد للبيتون على الفلق من العلاقة (2-2). فكانت مقاومة البيتون الوسطية على الشد الناجم عن الفلق، وفق نماذج الخلطات المدروسة (6 عينات لكل خلطة) مبينه في الجدول (4-5). كما ويظهر الشكل (5-18) مخططا لنسب زيادة مقاومة البيتون على الشد الناجم عن الانعطاف لنماذج الخلطات الأولى المدروسة .



a- الخلطات البيتونية دون رمل مزار .



b- الخلطات البيتونية مع رمل مزار .

الشكل (5-18): نسب زيادة المقاومة على الشد الناجم عن الفلق باستخدام الألياف الفولاذية.

والذي نلاحظ منه، ازدياد مقاومة البيتون على الشد الناجم عن الفلق بنسبة 35%،
40% للألياف الفولاذية بنسبة 30, 60 Kg/m³ على الترتيب.

كما ويبين الشكل (5-19)، شكل الانهيار للعينات المختبرة على الشد الناجم عن الفلق،
والذي يبين دور الألياف الفولاذية بالربط بين مكونات البيتون والمحافظة على شكل العينة
المختبرة بعد الانهيار، من خلال الحفاظ على نصفي العينة المنهارة مرتبطين مع بعضهما
البعض خلافاً لشكل الانهيار للعينة دون ألياف، مما ينعكس على زيادة مقاومة البيتون على الشد.

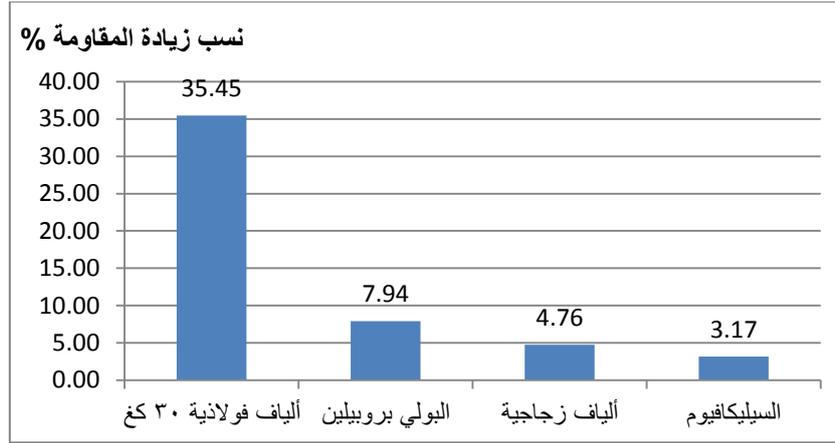


b- مع ألياف فولاذية

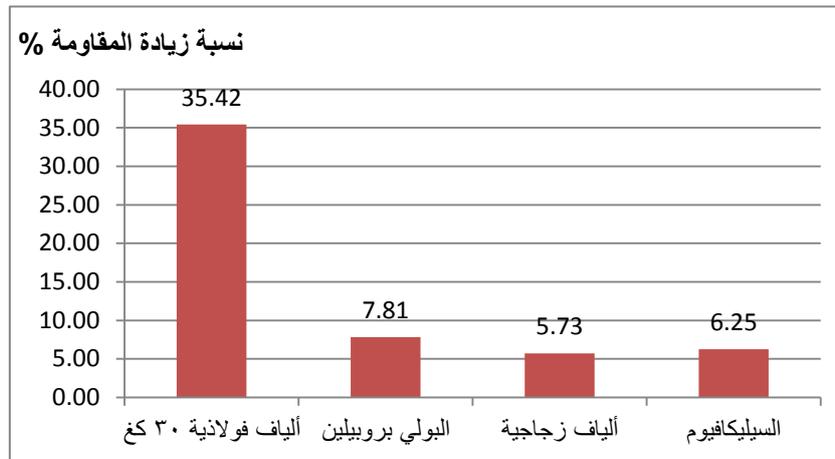
a- دون ألياف فولاذية

الشكل (5-19): شكل الانهيار للعينات المختبرة على الشد الناجم عن الفلق للخلطات البيتونية الأولى.

كما تم صب 6 عينات اسطوانية 150*300 mm، لكل من الخلطات الثانية (48 عينة)
وفق ASTM-C496، وكسرت تحت تأثير تعرضها لقوة موزعة p مطبقة على طرفي العينة
طولياً، فكانت مقاومة البيتون الوسطية على الشد الناجم عن الفلق وفق نماذج الخلطات الثانية (6
عينات لكل خلطة) مبيته في الجدول (5-5)، كما ويظهر الشكل (5-20) مخططاً لنسبة زيادة
مقاومة البيتون على الشد الناجم عن الانعطاف لنماذج الخلطات الثانية المدروسة.
الذي يظهر ارتفاع مقاومة البيتون على الشد الناجم عن الفلق بنسبة 3-35%، 4-7%، 8%،
6% لكل من الألياف الفولاذية، ألياف البولي بروبيلين، الألياف الزجاجية، السيليكا فيوم، على
الترتيب.



a- الخلطات البيتوتية دون رمل مزار .



b- الخلطات البيتوتية مع رمل مزار .

الشكل (5-20): نسبة زيادة المقاومة على الشد الناتج عن الفلق باستخدام الإضافات.

كما ويبين الشكل (5-21) شكل انهيار العينات على الشد الناتج عن الفلق للخلطة الثانية ويظهر تأثير ألياف البولي بروبيلين في الحفاظ على الارتباط بين نصفي العينة المنهارة على الفلق، خلافاً لشكل الانهيار العينات باستخدام أنواع الإضافات الصناعية الأخرى.



(b) العينة البيتوتية مع ألياف البولي بروبيلين

(a) العينة البيتوتية دون إضافات



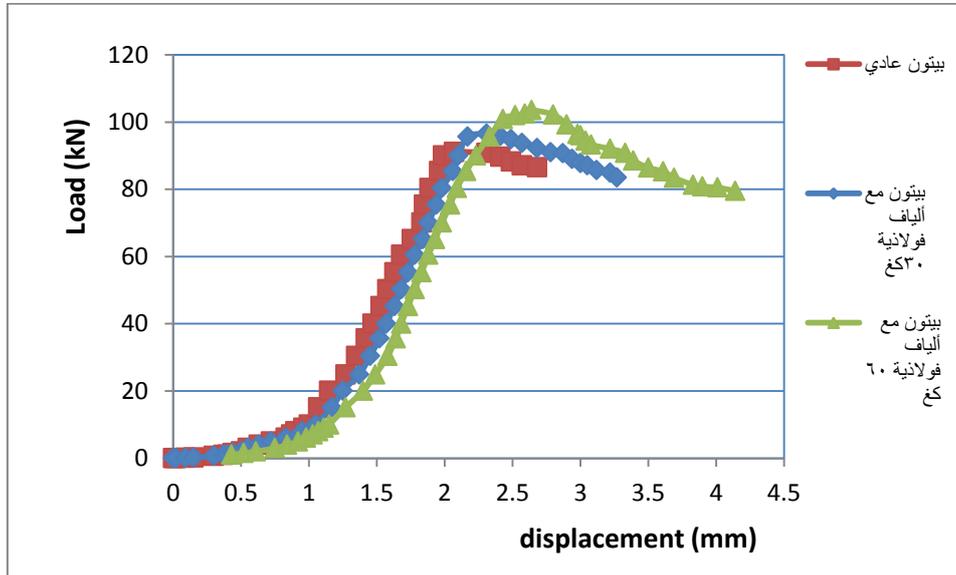
(d) العينة البيتونية مع بودة السيليكيا

(c) العينة البيتونية مع الألياف الزجاجية

الشكل (5-21): شكل الانهيار للعينات المختبرة على الشد الناجم عن الفلق للخلطات البيتونية الثانية.

4-6-5- العلاقة بين القوى الناظمية والانتقالات (P-Δ):

تم قياس الانتقالات الشاقولية للعينات المكعبية المدروسة في الخلطات البيتونية الأولى والموافقة لكل حمولة ضغط مطبقة P خلال مراحل اختبارها على الضغط ، وكانت المنحنيات (P-Δ) لكل نموذج من الخلطات الأولى المدروسة مبينة في الشكل (5-22) الذي يربط بين القوة الناظمية المطبقة بالـ kN وبين الانتقال الشاقولي للعينة بالـ mm.

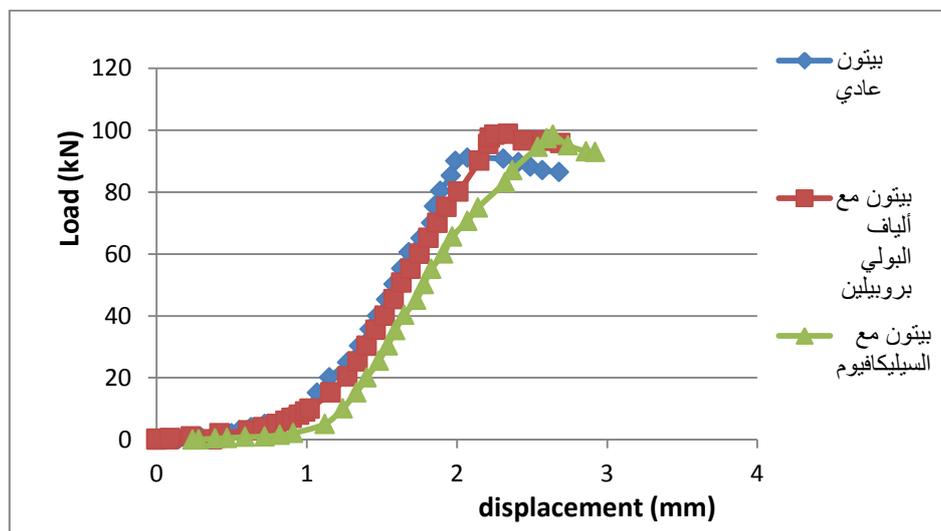


الشكل (5-22): العلاقة بين القوة والانتقال الشاقولي لنماذج الخلطات مع الألياف الفولاذية.

نلاحظ من دراسة المخططات السابقة، أن قوة الانهيار على الضغط كانت أكبر في الخلطات مع الألياف الفولاذية، كما أن وجود الألياف زاد من مطاوعة البيتون بعد نقطة

الإنهيار، كما نلاحظ زيادة مطاوعة البيتون بعد حمولة الإنهيار، مما ينعكس إيجاباً على سلوك البيتون.

كما تم إجراء نفس الدراسة السابقة لتحديد العلاقة (P-Δ) لعينات الخلطات الثانية مع الألياف الصناعية فكان شكل منحنى القوة - الانتقال مبيّن في الشكل (5-23).



الشكل (5-23): العلاقة بين القوة والانتقال الشاقولي لنماذج الخلطات مع الألياف الصناعية.

حيث نجد من المخططات السابقة بأن العلاقة بين القوة والانتقال كانت متشابهة في كل من الخلطات البيتونية مع ألياف البولي بروبيلين أو بودرة السيليكا، ومتقاربة مع الخلطة المرجعية البيتونية دون إضافات.

كما نلاحظ تحسن طفيف في قوة الانهيار للخلطة البيتونية مع ألياف البولي بروبيلين أو السيليكا فيوم عنها في الخلطة البيتونية المرجعية، وهذا يتطابق مع نتائج اختبار البيتون على الضغط، كما تبين المخططات تشابه وتقارب سلوك البيتون بعد مرحلة الانهيار. مما يوضح بأن الإضافات الصناعية (ألياف البولي بروبيلين و السيليكا فيوم) لم تحسن من مطاوعة البيتون بعد نقطة الانهيار.

بنتيجة الاختبارات السابقة لدراسة تأثير الإضافات المستخدمة على مقاومات البيتون، ظهر الدور الأفضل لاستخدام الألياف الفولاذية في تحسين مقاومات البيتون على كل من الشد والضغط معاً، ولا سيما بأن تأثيرها في رفع مقاومة البيتون على الشد زاد عن تأثير الإضافات الأخرى بحوالي الأربعة أضعاف، بينما تقارب مع باقي الإضافات في تحسين مقاومة البيتون على الضغط.

7-5- الإختبارات على الجوائز البيتونية المسلحة العادية:

تم اجراء التجارب على عينات جوائز منفذة بمقياس 1/4 لجوائز طولها 4800 mm وبمقطع عرضي أبعاده 300*600 mm، وذلك باستخدام مجموعتين من العينات الأولى بتسليح كامل للجوائز (تسليح انعطاف + تسليح تعليق + أساور قص)، أما الثانية فبتسليح انعطاف فقط، حيث تم تنفيذ العينات باستخدام بيتون عادي دون إضافات كعينات مرجعية، واخرى باستخدام بيتون مع كل نوع من أنواع الإضافات المدروسة سابقاً (ألياف فولاذية بنسبة 30 kg/m^3 ، ألياف البولي بروبيلين، بودرة السيلكا)، وفق مايلي :

- 1- صب عينات جائزية مرجعية، منفذة من البيتون العادي دون إضافات، وباستخدام تسليح كامل (2 عينة)، وأخرى بتسليح انعطاف فقط (2 عينة) .
- 2- صب عينات جائزية، منفذة من البيتون باستخدام كل نوع من الإضافات المدروسة، وباستخدام تسليح انعطاف وقص معاً (2 عينة لكل إضافة)، وأخرى بتسليح انعطاف فقط (2 عينة لكل إضافة).
- 3- إختبار العينات الجائزية البيتونية المسلحة المنفذة في المرحلتين 2, 1 أعلاه، بتعريضها لقوتين مركزتين في ثلثي المجاز، ودراسة تطور السهم الأعظمي ومراحل ظهور التشققات مع زيادة الحمل حتى الوصول الى الانهيار.
- 4- مقارنة نتائج الإختبارات السابقة، لدراسة تأثير كل نوع من الإضافات على كل من قوة الإنهيار للجوائز العادية، وعلاقة القوة بالسهم، وشكل التشققات والإنهيار، وتأثير الإضافات في غياب تسليح القص.

1-7-5- وصف الجوائز العادية المختبرة :

تم تحضير مجموعتين من عينات الجوائز البيتونية المسلحة العادية، طولها 1200mm ومقطعها العرضي 75*150 mm، باستخدام تسليح قطره 6, 8, 10 mm مبينه مواصفاته في الجدول (6-5).

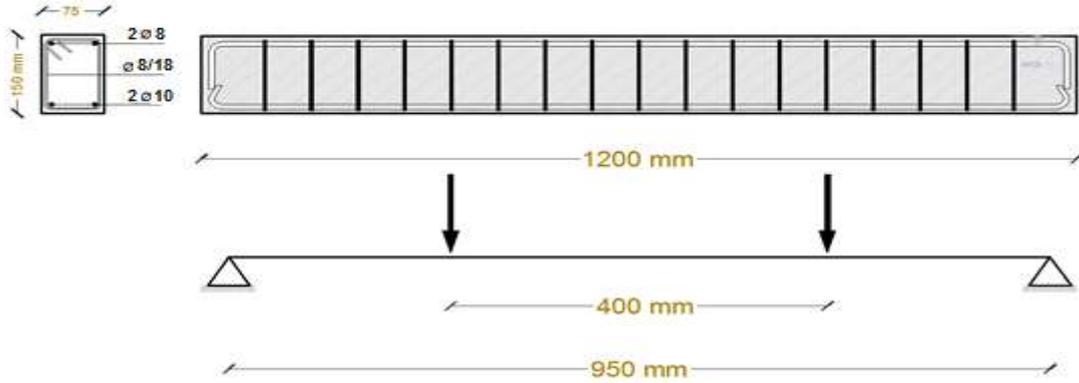
الجدول (6-5): مواصفات فولاذ التسليح المستخدم.

قطر التسليح mm	وزن المتر الطولي kg/m'	نسبة الاستطالة %	حد المرونة Mpa	حد الانقطاع Mpa
6	257.5	25	307.7	431.5
8	387	30.08	471.5	569.7
10	598	31.25	491.8	582.4

المجموعة الأولى B_1 : مسلحة بتسليح انعطاف سفلي $2\phi 10$ ، وتسليح تعليق علوي $2\phi 8$ وتسليح عرضي $\phi 8/18$ Cm.

المجموعة الثانية B_2 : مسلحة بتسليح انعطاف سفلي فقط $2\phi 10$ ، دون تسليح عرضي.

حيث تم تنفيذ قضبان التسليح بأطول تماسك نظامية كافية لتأمين طول الإرساء الكافي واللازم لمنع انسحاب القضبان مع تأمين مسافة تغطية بيتونية 1.5 Cm، ويبين الشكل (5-24) مقطعا تنفيذياً لعينة الجائز وشكل التحميل المعتمد.



الشكل (5-24): شكل التحميل وتسليح الجائز العادي المختبر.

كما تم تنفيذ الجوائز المختبرة باستخدام الخلطات البيتونية المكونة من الببتون العادي مع رمل مزار، وباستخدام الإضافات المدروسة، ويبين الجدول (5-7) نماذج العينات المنفذة.

الجدول (5-7): عينات الجوائز العادية المختبرة.

المجموعة	وصف العينة	نوع الإضافة
B_1-0	جائز من الببتون بتسليح كامل	ببتون عادي دون اضافات (عينة مرجعية)
	جائز من الببتون بتسليح انعطاف فقط	
B_1-1	جائز من الببتون بتسليح كامل	ببتون مع ألياف فولاذية بنسبة حجمية % 1.5 (32 Kg/m^3)
	جائز من الببتون بتسليح انعطاف فقط	
B_1-2	جائز من الببتون بتسليح كامل	ببتون مع ألياف البولي بروبيلين بنسبة 600 gr/m^3
	جائز من الببتون بتسليح انعطاف فقط	
B_1-3	جائز من الببتون بتسليح كامل	ببتون مع بودرة السيليكا فيوم بنسبة 35 Kg/m^3
	جائز من الببتون بتسليح انعطاف فقط	

يرمز (B₁) للجائز بتسليح كامل، (B₂) للجائز بتسليح إنعطاف فقط، أما الأرقام 0، 1، 2، 3 فترمز للعينة المرجعية (دون إضافات)، وللعينات مع الألياف الفولاذية، وألياف البولي بروبيلين وبودرة السيليكافيوم، على الترتيب بالنسب الواردة في الجدول (5-7).
ويبين الشكل (5-25) مراحل تنفيذ الجوائز العادية المختبرة .



a- تسليح الجائز العادي بتسليح كامل.



b- صب الجوائز .

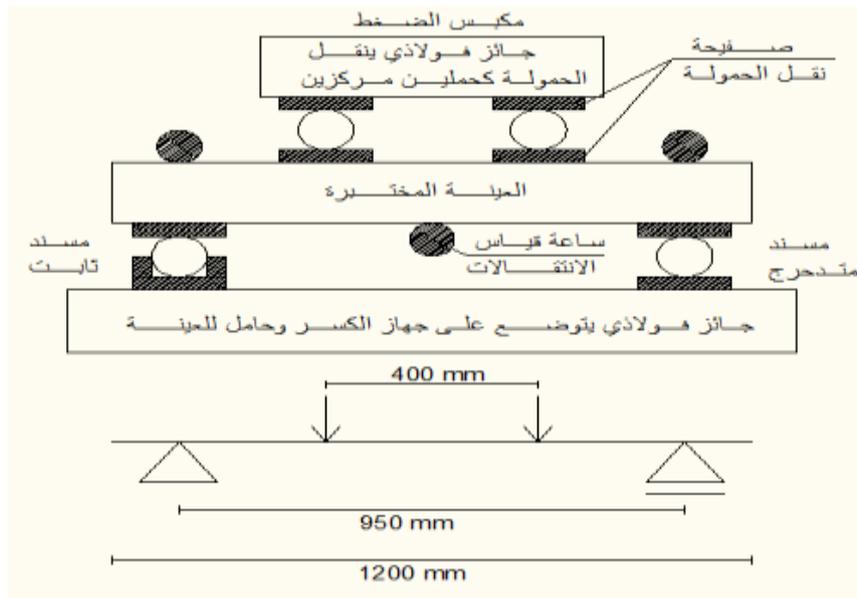


c- الجائز العادي بعد الاختبار .

الشكل (5-25): مراحل تنفيذ الجوائز العادية المختبرة.

2-7-5- وصف التجربة :

تم إجراء التجربة في مخبر البيتون ومواد البناء في كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق، على جهاز ضغط، تم وصله على قارئ الكتروني يقوم بقراءة الحمولة التي تنتقل عن طريق المكبس، الذي ينقل حمولته إلى منتصف جائر معدني المسافة بين مسنديه 40 Cm، يقوم بنقلها عن طريق المسندين المستندين إلى صفائح معدنية المسافة بينها 40 Cm متوضعة على ثلاثي المجاز للجائر، والمستند بدوره على مسندين أحدهما ثابت وتم تأمينه عن طريق قضيب فولاذي قطره 4 Cm ملحوم ومثبت على صفيحه سماكتها 2 Cm مع حاجز افقي يمنع الانتقال ويسمح بالدوران لتأمين المسند الثابت، أما المسند الآخر متدرج ويسمح له بالتدرج بسبب عدم وضع حاجز يمنع انزياحه، وثبتت هذه المساند على جائر معدني سفلي مقوى بصفائح لمنع التحنيب الجانبي لجسده يستند بدوره على قاعدة جهاز الاختبار، الشكل (5-26).



الشكل (5-26): كروكي للجائر العادي المختبر مع أجهزة قياس الانتقالات على جهاز الاختبار.

كما تم تثبيت الساعات الرقمية على مبسطات معدنية ملصقة على العينة المختبرة في المكان المراد قياس الانتقال عندها في أسفل ومنتصف الجائر كما هو مبين في الشكل (5-27).



الشكل (5-27): توضع الجائر العادي على جهاز الاختبار.

تم تصوير مجريات التجربة، ورصد حمولة الشق الأول لكل من حالتي الإنعطف، والقص، ورسم تطور مسار التشققات وتحديد الحمولات الموافقة لتطور الشق حتى حمولة الإنهيار .

3-7-5- نتائج التجارب على الجوائز العادية :

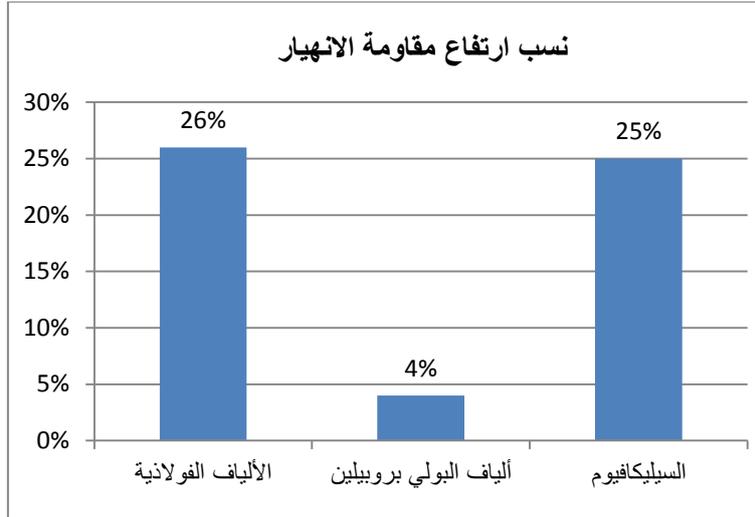
بعد متابعة مجريات التجربة بتطبيق حمولة متزايدة، مروراً بالحمولة الموافقة لظهور الشق الأول لكل من العزم، والقص، وصولاً لحمولة الإنهيار، ومن خلال التصوير الكامل للتجارب، نلخص قيم كل من حمولة الإنهيار N_U ، والحمولة الموافقة للشق الأول لكل من الانعطاف N_{mcr} ، والقص N_{scr} ، لكل مجموعة من المجموعات المدروسة، في الجدول (5-8).

الجدول (5-8): حمولة الانهيار وحمولة الشق الأول لكل من الانعطاف والقص للجوائز العادية المدروسة.

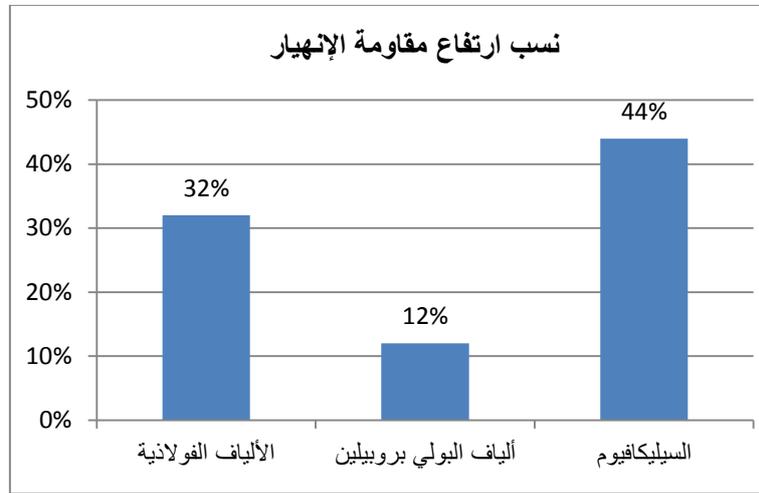
المجموعة	التسليح المستخدم	الإضافة المستخدمة	N_U (kN)	N_{mcr} (kN)	N_{scr} (kN)
B ₁ -0	انعطاف+قص	بيتون عادي (عينة مرجعية)	53	15	20
B ₂ -0	انعطاف	بيتون عادي (عينة مرجعية)	43	19	14.5
B ₁ -1	انعطاف+قص	ألياف فولاذية	67	21.5	30
B ₂ -1	انعطاف	ألياف فولاذية	57	35	22.5
B ₁ -2	انعطاف+قص	ألياف البولي بروبيلين	55	19	25
B ₂ -2	انعطاف	ألياف البولي بروبيلين	48	27	22
B ₁ -3	انعطاف+قص	السيلكافيوم	66	25	35
B ₂ -3	انعطاف	السيلكافيوم	62	40	25

4-7-5- حمولة الإنهيار :

من دراسة مقاومات الانهيار لعينات الجوائز العادية المختبرة، نلخص نسب تحسن المقاومات نتيجة استخدام الإضافات عنها لمقاومة العينات المرجعية، في الشكل (5-28):



a- الجوائز العادية المسلحة بتسليح انعطاف وقص معاً.



b- الجوائز العادية المسلحة بتسليح انعطاف فقط.

الشكل (5-28): نسب تحسن مقاومات الانهيار لعينات الجوائز العادية المسلحة مع الإضافات.

كما بينت النتائج أن استخدام الألياف الفولاذية (الإضافة 1) زادت من حمولة الانهيار بنسبة 26% للجوائز البيتونية المسلحة بتسليح كامل (B_1)، وبنسبة 32% للجوائز البيتونية المسلحة بتسليح انعطاف فقط بدون تسليح عرضي (B_2).

كما نلاحظ بأن حمولة الانهيار للجوائز بدون تسليح عرضي باستخدام الألياف الفولاذية وصلت لحمولة الجوائز البيتونية المسلحة بتسليح كامل دون استخدام إضافات، وهذا ما يظهر الدور الواضح للألياف الفولاذية في الربط بين الشقوق والمساهمة في امتصاص الإجهادات الشادة وقيامها بدور مماثل للدور التي تقوم به الأساور العرضية في الجوائز العادية .

أما ألياف البولي بروبيلين (الإضافة 2) فلم تقم بالدور المهم في زيادة حمولة الانهيار حيث لم تتجاوز نسبة الزيادة 4% و 12% لكل من نوعي الجوائز البيتونية المسلحة بتسليح كامل (B_1) وبتسليح طولي فقط دون تسليح عرضي (B_2) على الترتيب، وإنما حافظت على تماسك منطقة الانهيار في الجائز، وساهمت في تحسين سلوك البيتون على الشد ومنعه من التشطي، بسبب الشبكة الداخلية الذي تشكلها ألياف البولي بروبيلين مع البيتون.

فيما ظهر الدور المهم لبودرة السيليكافيوم (الإضافة 3) في رفع نسبة زيادة حمولة الإنهيار إلى 25% ، 44%، لكل من الجوائز البيتونية المسلحة بتسليح كامل (B_1) والمسلحة بتسليح طولي فقط دون تسليح عرضي (B_2) على الترتيب، وذلك بسبب تفاعل السيليكافيوم مع ماعات الكالسيوم الناجمة عن تفاعل الأليت C3S مع الماء، مما يشكل عامل إضافي في تحسين مقاومة البيتون.

مع التتويه لظهور أثر السيلكا فيوم بشكل واضح في اختبار الجوائز البيتونية المسلحة، وذلك لأنه تم اختبار الجوائز بعمر حوالي 75 يوماً، وهي مدة تسمح بظهور تأثير السيليكافيوم بشكل واضح، وأكثر من نتائجها على العينات المكعبية والاسطوانية والموشورية المختبرة سابقاً على الضغط والانعطاف، والتي اختبرت بعمر 28 يوم، حيث لم يظهر فيها تأثير السيليكافيوم بشكله الواضح.

كما تبين النتائج أن حمولة الانهيار للجوائز البيتونية المسلحة دون أساور عرضية باستخدام كل من الألياف الفولاذية والسيليكافيوم كانت أعلى من مقاومة الجوائز المرجعية مع تسليح كامل وبدون إضافات، مما يظهر الدور المهم لاستخدام كل من الألياف الفولاذية أو السيليكافيوم كبديل للأساور العرضية في الجوائز.

5-7-5- تشققات الجوائز العادية :

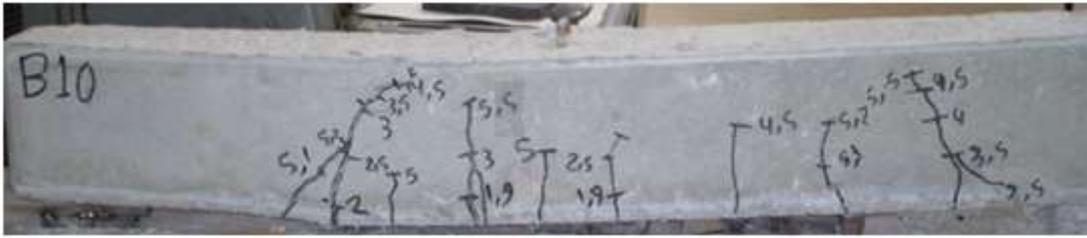
تم رسم مسار ظهور التشققات، وتطورها لكل من الجوائز البيتونية المسلحة، بتسليح كامل (بدون إضافات، ومع كل من الإضافات المدروسة)، وكذلك للجوائز المسلحة بتسليح طولي فقط دون أساور (بدون إضافات، ومع كل من الإضافات المدروسة)، كما تم تسجيل الحمولة الموافقة لتطور التشققات فيها وصولاً للإنهيار، ويبين الشكل (5-29) شكل التشققات لجائز من المجموعة الأولى (بتسليح كامل) باستخدام كل من الإضافات المدروسة .



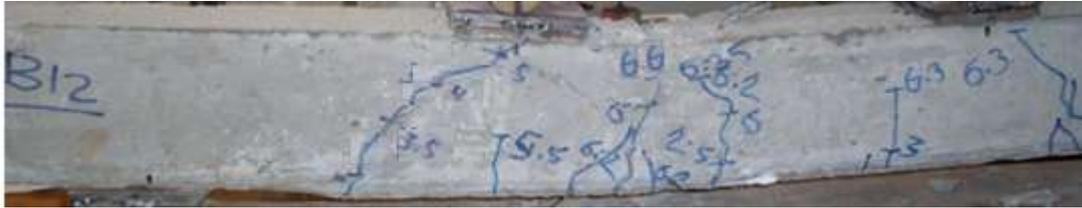
جائز بيتوني عادي دون إضافات وبتسليح كامل (B₁-0).



جائز بيتوني عادي مع ألياف فولاذية وبتسليح كامل (B₁-1).



جائز بيتوني عادي مع ألياف البولي بروبيلين وبتسليح كامل (B₁-2).



جائز بيتوني عادي مع بوردرة السيلكا وبتسليح كامل (B₁-3).

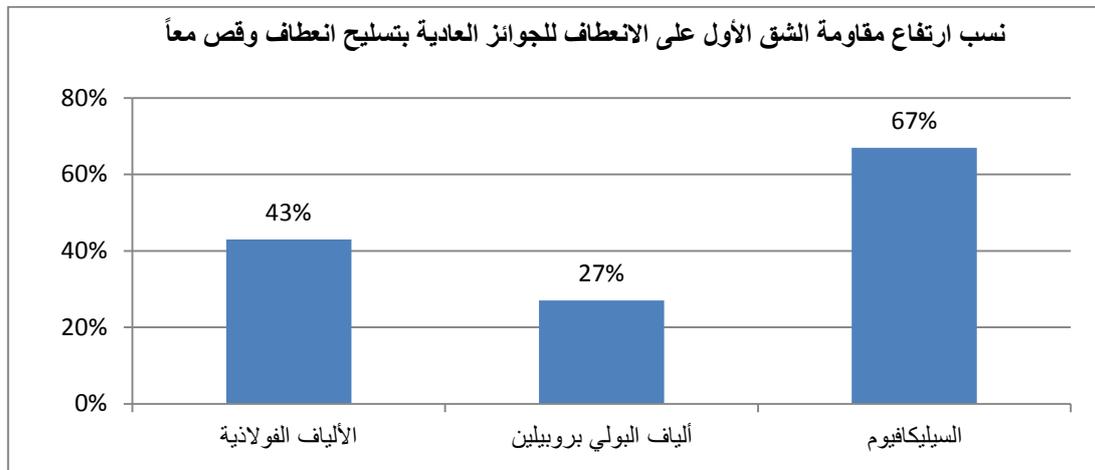
الشكل (5-29): مواقع خريطة التشققات لنماذج الجوائز العادية المسلحة بتسليح كامل.

في الجوائز ذات التسليح الكامل B₁ ظهرت أولاً تشققات الإنعطاف بين نقاط التحميل عند الحمولة N_{mcr} الموافقة لظهور الشق الأول فيها، والمبينه في الجدول (5-8)، وتلاها ظهور التشققات المائلة على القص عند الحمولة N_{scr} المبينة في نفس الجدول.

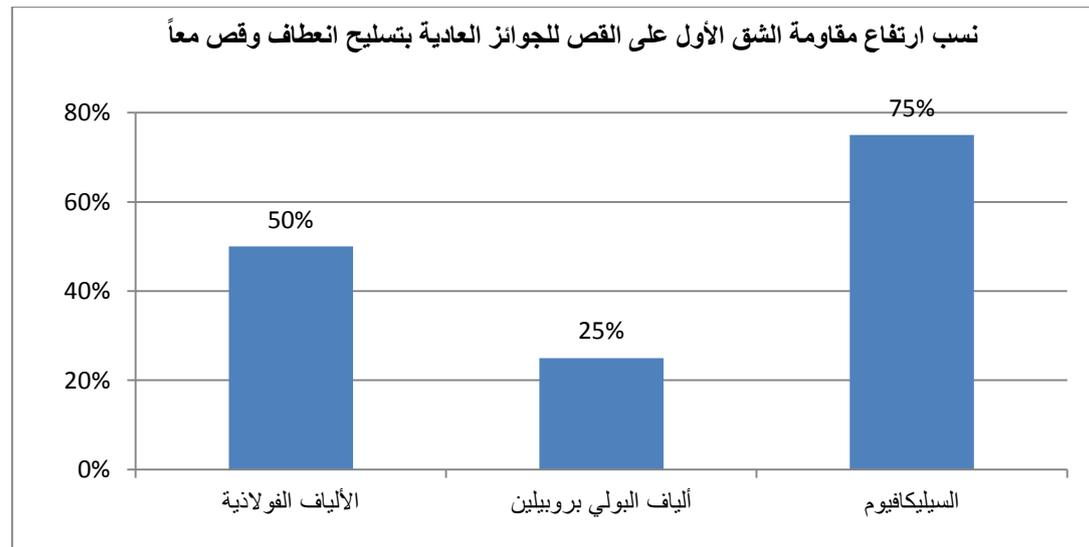
تبين النتائج ظهور شق الإنعطاف الأول على حمولة نسبتها 28%، 32%، 35%، 38% من حمولة الإنهيار لكل من الجوائز بتسليح كامل (B₁) بدون إضافات (0) ومع ألياف فولاذية (الإضافة 1) وألياف البولي بروبيلين (الإضافة 2) وبوردرة السيلكا (الإضافة 3) على الترتيب. أما شق القص الأول فكان عند نسبة حمولة 38%، 45%، 45%، 53% من حمولة الإنهيار لكل مجموعة من الجوائز المدروسة على الترتيب.

كما تبين النتائج زيادة الحمولة المسببة للشق الأول لكل من الإنعطاف والقص في الجوائز العادية المسلحة بتسليح كامل ومع استخدام الإضافات عنها في الجوائز المرجعية، وفقاً للنسب المبينة في الشكل (5-30)، مما يظهر دور الإضافات المستخدمة في زيادة مقاومة البيتون لظهور التشققات.

كما لوحظ عند استخدام الإضافات، ازدياد كثافة توزع الشقوق، وظهور تشققات شعرية، للجوائز B₁-1-2-3 في الشكل (5-29)، وقلة عرض الشقوق، مقارنة بالجوائز دون إضافات، مما يظهر الدور المهم لهذه الإضافات في التحكم والحد من ظهور التشققات في الجوائز المدروسة.



a- الشق الأول على الإنعطاف.

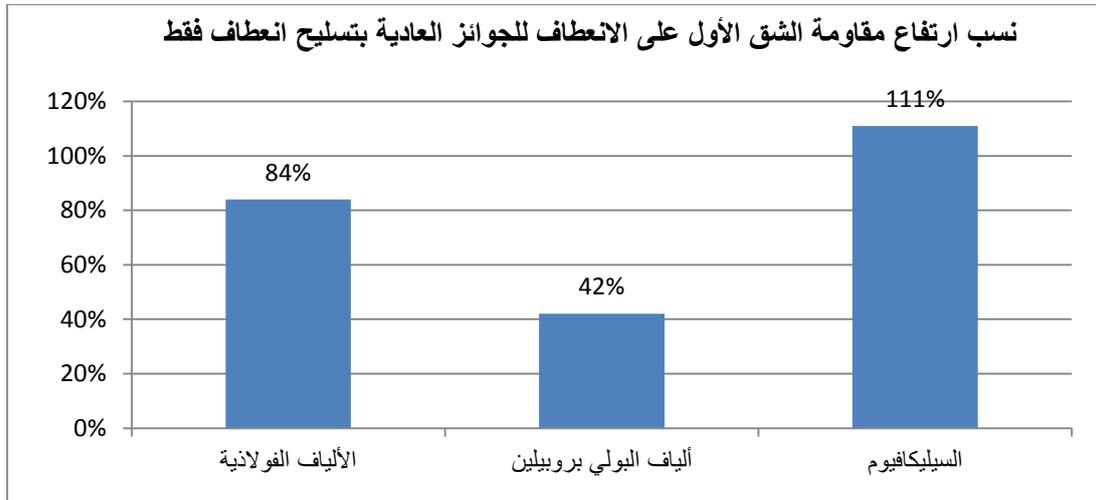


b- الشق الأول على القص.

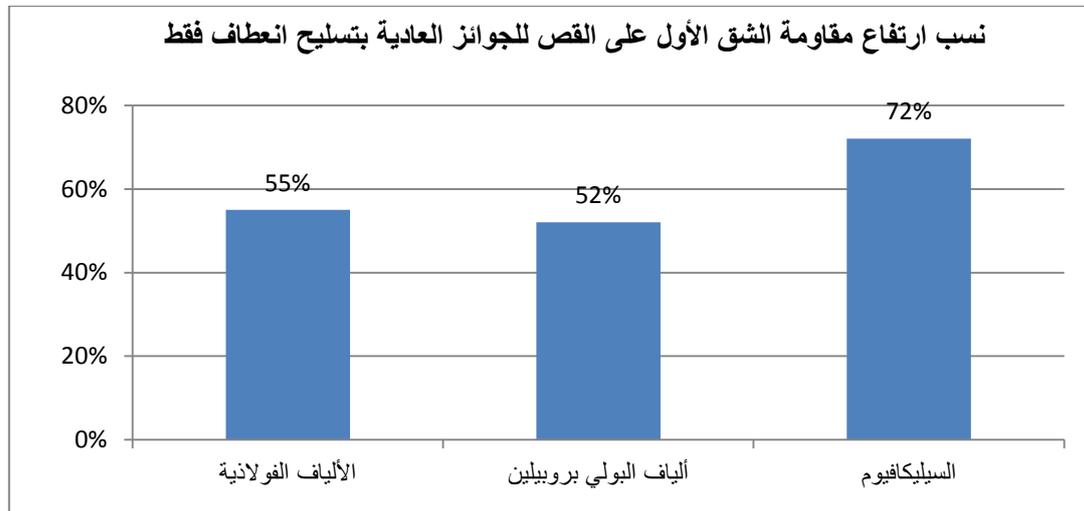
الشكل (5-30): نسب تحسن مقاومات البيتون للشق الأول للجوائز العادية المسلحة بتسليح كامل مع الإضافات.

بروبيلين (الإضافة 2)، والسيليكافيوم (الإضافة 3)، على الترتيب، أما شق الإنعطاف الأول فكان عند نسبة حمولة 44%، 61%، 56%، 65% من حمولة الانهيار لكل مجموعة من الجوائز المدروسة على الترتيب.

كما تبين النتائج زيادة الحمولة المسببة للشق الأول لكل من الإنعطاف والقص في الجوائز العادية المسلحة بتسليح إنعطاف فقط دون تسليح قص، ومع استخدام الإضافات عنها في الجوائز المرجعية وفقاً للنسب المبينة في الشكل (5-32)، مما يظهر دور الإضافات المستخدمة في زيادة مقاومة البيتون لظهور التشققات.



a- الشق الأول على الإنعطاف.

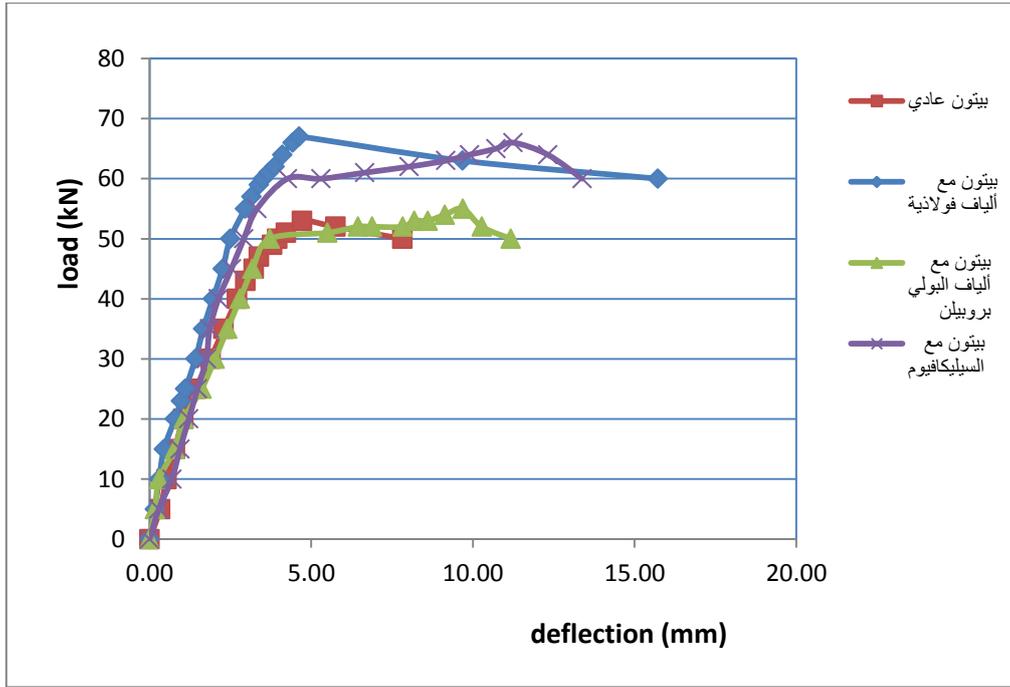


b- الشق الأول على القص.

الشكل (5-32):نسب تحسن مقاومات البيتون للشق الأول للجوائز العادية المسلحة بتسليح انعطاف فقط مع الإضافات.

6-7-5- علاقة الحمولة-الانتقال:

تم رسم مخطط العلاقة بين الحمولة والسهم الأعظمي للجوائز العادية المدروسة، وذلك لكل نوع من أنواع الخلطات المستخدمة، فكانت المنحنيات للجوائز البيتونية العادية المسلحة بتسليح كامل، وبدون استخدام الإضافات، ومع أنواع الإضافات المستخدمة، مبينة في الشكل (5-33).



الشكل (5-33): منحنى الحمولة - الانتقال، للجوائز البيتونية العادية المسلحة بتسليح كامل.

من دراسة العلاقة بين الحمولة والانتقال للجوائز البيتونية العادية المسلحة بتسليح كامل دون إضافات، وباستخدام الإضافات المدروسة نجد أن:

✓ في الجائز البيتونية دون إضافات (الجائز B₁-0 في الشكل 5-29)، تزداد الحمولة بقساوة وسطية ($K_E=14$) حتى الوصول إلى قوة مقدارها 47 kN وانتقال مرافق 3.38 mm، بعدها تنخفض القساوة بشكل ملحوظ ($K_P=5$) بسبب انتشار التشققات بين الحملتين المركزيتين إلى 65% من الإرتفاع الكلي للجائز، لتصل التشققات إلى كامل ارتفاع الجائز عند حمولة الإنهيار 53 kN و بانتقال مرافق 4.72 mm، وبعدها ينحدر المنحني بميل ($K=0.97$).

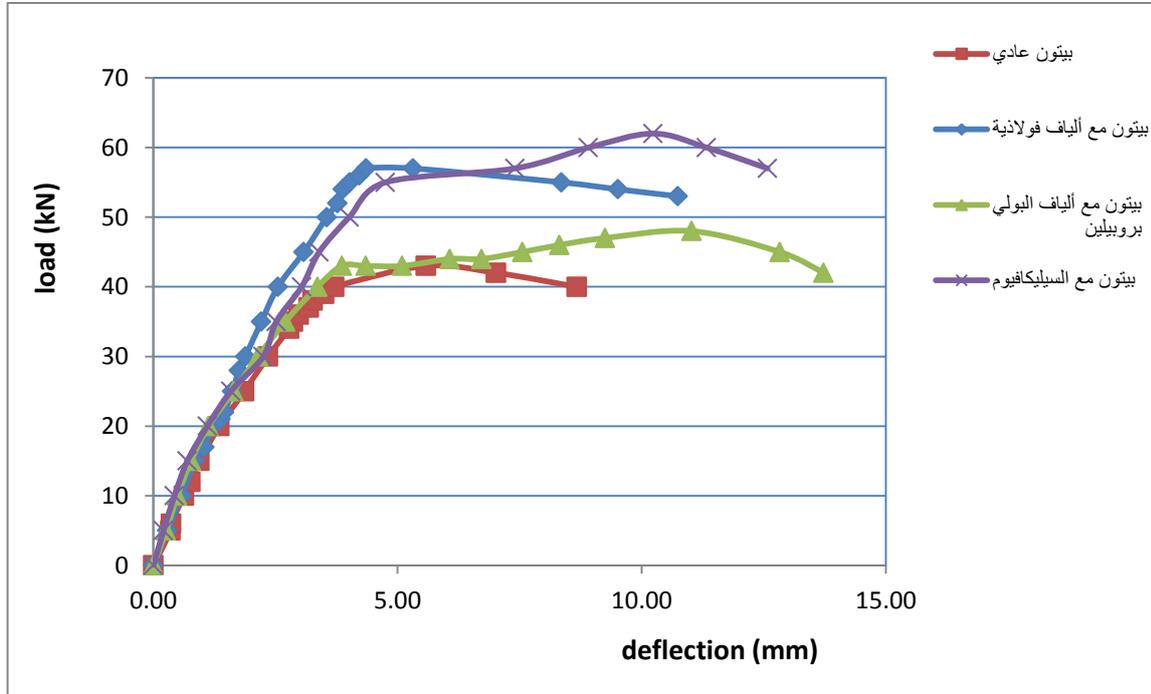
✓ أما في الجائز بألياف فولاذية (الجائز B₁-1 في الشكل 5-29)، فقد ازدادت الحمولة بقساوة ثابتة ($K_E=18$) وصولاً إلى قوة مقدارها 57 kN مترافقة مع انتقال 3.15

mm، لتتخفص القساوة بعدها ($K_p=2.5$) بسبب انتشار التشققات بين نقطتي تطبيق القوة إلى 66% من ارتفاع الجائز، وصولاً لحمولة الانهيار 67 kN مع انتقال 4.62 mm، يبدأ بعدها المنحني بالإنحدار بميل ($K=0.63$).

✓ وفي الجائز بألياف البولي بروبيلين (الجائز B₁-2 في الشكل 5-29)، يتصرف الجائز بسلك مماثل للجائز السابقين، حيث تزداد الحمولة بقساوة ثابتة ($K_E=13.5$) وصولاً للحمولة 50 kN عند انتقال كلي 3.72 mm، لتتخفص بعدها القساوة ($K_p=1$) وصولاً لحمولة الانهيار 55 kN وانتقال مرافق 9.69 mm، ويبدأ المنحني بالإنحدار بعد الإنهيار بميل ($K=3.4$).

✓ كذلك الأمر في الجائز مع بودرة السيليكا (الجائز B₁-3 في الشكل 5-29)، حيث تزداد القوة بقساوة ($K_E=11.3$) وصولاً لحمولة 60 kN وانتقال 5.3 mm، لتتخفص القساوة بعدها ($K_p=1$) حتى حمولة الإنهيار 66 kN وانتقال 11.25 mm، ويبدأ بعدها المنحني بالإنحدار بقساوة ($K=2.8$).

كما يبين الشكل (5-34) منحنى القوة – الإنتقال للجوائز العادية المسلحة بتسليح انعطاف فقط ودون تسليح العرضي .



الشكل (5-34): منحنى الحمولة – الانتقال، للجوائز البيتونية العادية المسلحة بتسليح انعطاف فقط.

حيث نلاحظ من دراسة العلاقة بين الحمولة والانتقال للجوائز البيتونية المسلحة بتسليح إنعطاف فقط دون أساور قص والمنفذة بدون إضافات، ومع أنواع الإضافات المدروسة :

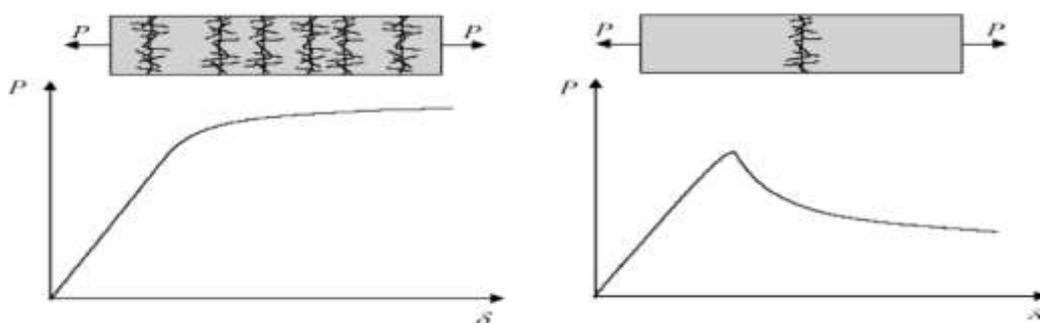
✓ في الجائز البيتوني دون إضافات (الجائز B₂-0 في الشكل 5-31)، تزداد الحمولة بقساوة ثابتة ($K_E=10.8$) وصولاً إلى قوة مقدارها 40 kN وانتقال مرافق 3.7 mm ليكون شق القص القطري المائل قد وصل إلى 90% من إرتفاع الجائز باتجاه نقطة تطبيق الحمولة المركزة، وتنخفض بعدها القساوة بشكل كبير ($K_P=1.6$) وصولاً لإنهيار الجائز على حمولة 43 kN ومع انتقال 5.58 mm، ليبدأ المنحني بالانحدار بميل ($K=0.97$) بعد حمولة الإنهيار.

✓ أما في الجائز بألياف فولاذية (الجائز B₂-1 في الشكل 5-31)، فقد ازدادت الحمولة بقساوة ثابتة ($K_E=13$) وصولاً إلى قوة مقدارها 57 kN مترافقة مع انتقال 4.36 mm، لتتخفض القساوة بعدها بشكل تدريجي حتى وصول التشققات المائلة من المسند باتجاه نقطة تطبيق الحمولة المركزة عند حمولة الإنهيار 57 kN المترافقة مع انتقال 5.32 mm، وينحدر المنحني بعدها بميل ($K=0.74$) .

✓ وفي الجائز بألياف البولي بروبيلين (الجائز B₂-2 في الشكل 5-31)، يتصرف الجائز بسلوك مماثل للجائزين السابقين، حيث تزداد الحمولة بقساوة ثابتة ($K_E=14$) وصولاً للحمولة 30 kN عند انتقال 2.15 mm، تنخفض بعدها القساوة تدريجياً ($K_P=3.6$) وصولاً لحمولة الإنهيار 48 kN وانتقال مرافق 11.02 mm، ليبدأ بعدها بالانحدار بميل ($K=2.15$) بعد حمولة الإنهيار.

✓ كذلك الأمر في الجائز مع بوردرة السيليكا (الجائز B₂-3 في الشكل 5-31)، حيث تزداد القوة بقساوة ($K_E=11.6$) وصولاً لحمولة 55 kN وانتقال 4.75 mm، تنخفض القساوة بعدها ($K_P=1.28$) حتى حمولة الإنهيار 62 kN وانتقال 10.24 mm، ليبدأ بعدها بالانحدار بقساوة ($K=2.14$).

تبين الأشكال السابقة، زيادة حمولة الإنهيار الحدية للجوائز العادية مع إضافات وفق القيم الواردة في الجدول (5-8)، كما يظهر الشكل (5-28) نسب تحسن القوة الحدية للجوائز العادية المدروسة التي تظهر دور الإضافات في تحسين الحمولة الحدية للجوائز المسلحة العادية. كما تبين الأشكال زيادة مرحلة اللدونة بعد الحمولة الحدية مما يزيد من مطاوعة الجوائز مابعد التشقق ويبعده عن الانهيار الهش على القص، كما في الشكل (5-35).



b- الجائز مع إضافات.

a- الجائز دون إضافات.

الشكل (5-35): تصرف الجائز البيتوني .

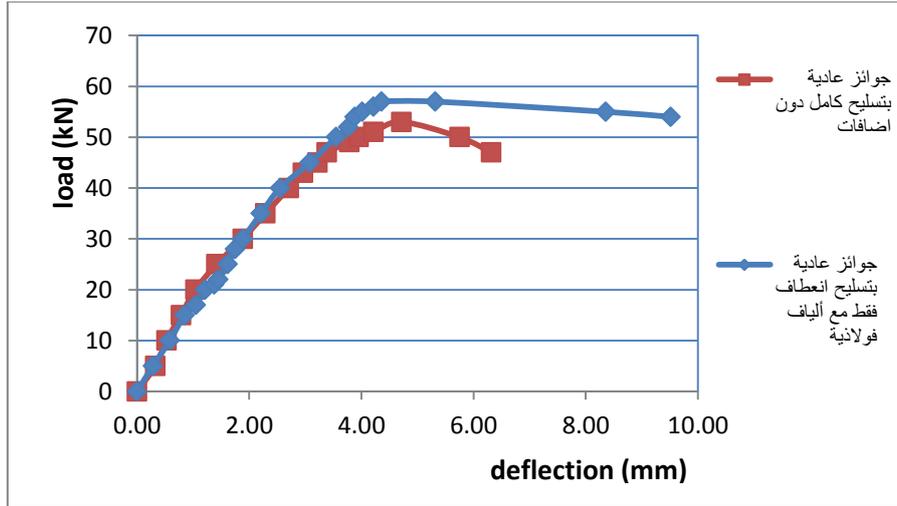
تم تحديد الطاقة الكلية لكل عينة جائزية من الجوائز المدروسة، والتي يعبر عنها بالمساحة بين المنحني $P-\delta$ والمحور الأفقي لكل عينة، فكانت القيم في الجدول (5-9):

الجدول (5-9): الطاقة الكلية للجوائز العادية.

نوع الجائز		$E_T = E_E + E_P$ kN.mm	نسبة الزيادة
تسليح كامل	دون اضافات	237.26	1
	مع ألياف فولاذية	894.90	3.77
	مع ألياف البولي بروبيلين	492.10	2.07
	مع السيليكافيوم	718.42	3.03
تسليح انعطاف فقط	دون اضافات	294.17	1
	مع ألياف فولاذية	494.12	1.68
	مع ألياف البولي بروبيلين	547.59	1.86
	مع السيليكافيوم	610.41	2.08

يلاحظ زيادة المساحة أسفل منحنى (الحمولة-السهم) للجوائز المنفذة باستخدام بيتون مع ألياف، بنسب تختلف حسب نوع الإضافة، وبزيادة ملحوظة للبيتون مع ألياف فولاذية، مما يعني ازدياد مؤشر المتانة أو القساوة للبيتون (Toughness)، وزيادة قدرة البيتون على امتصاص الطاقة، وهذا ما يظهر الدور المهم للألياف في تحسين سلوك الجوائز العادية المسلحة مابعد التشقق.

وبالمقارنة بين سلوك الجوائز العادية بتسليح كامل دون إضافات، مع الجوائز العادية بتسليح انعطاف فقط مع الألياف الفولاذية، والمبينة في الشكل (5-36).



الشكل (5-36): تأثير الألياف الفولاذية كبديل للتسليح العرضي في الجوائز العادية.

نلاحظ زيادة المقاومة من 53kN للجوائز العادية بتسليح كامل دون إضافات، إلى 57 kN للجوائز العادية بتسليح انعطاف مع الألياف الفولاذية، وبنسبة تصل إلى 7 % مع الإنتباه إلى تحسن تصرف الجائز بعد نقطة الإنهيار الحدية، والتي تنعكس على مطاوعة الجائز من جهة، وعلى مؤشر المتانة (المساحة تحت منحنى P- δ)، كما تنعكس على قدرة البيتون على امتصاص الطاقة من جهة أخرى. وهذا ما يبين إمكانية الإستغناء عن التسليح العرضي في الجوائز العادية واستخدام الألياف الفولاذية كبديل عنها، مع ملاحظة ضرورة دراسة الإنتفاخ الجانبي، والتأكد من بقاء المقاطع مستوية بعد تشوهها، وإمكانية تحديد نسبة تسليح عرضي دنيا للجوائز مع ألياف فولاذية تأخذ بعين الإعتبار دور التسليح العرضي في مقاومة إجهادات أخرى، غير الإجهادات الناجمة عن القص.

أما فيما يتعلق بالإضافات الأخرى، فقد وصل الجائز بغياب تسليح القص إلى حوالي 90 % من حمولة الإنهيار، مع عدم إغفال دورها في تحسين السلوك اللدن للجائز، وتشكيل مفاصل لدنة دون الإضرار للتسليح التوازني.

8-5- الإختبارات على الجوائز البيتونية المسلحة العميقة :

تم اختبار الجوائز البيتونية المسلحة العميقة على عينات منفذة بمقياس 1/4 لجوائز عميقة طولها 4800 mm وبمقطع عرضي أبعاده 300*2600 mm، وذلك بإستخدام مجموعتين من العينات:

الأولى بتسليح كامل (تسليح انعطاف سفلي + شبكة تسليح على وجهي الجانز)، أما الثانية فنُفذت بتسليح إنعطاف سفلي فقط.

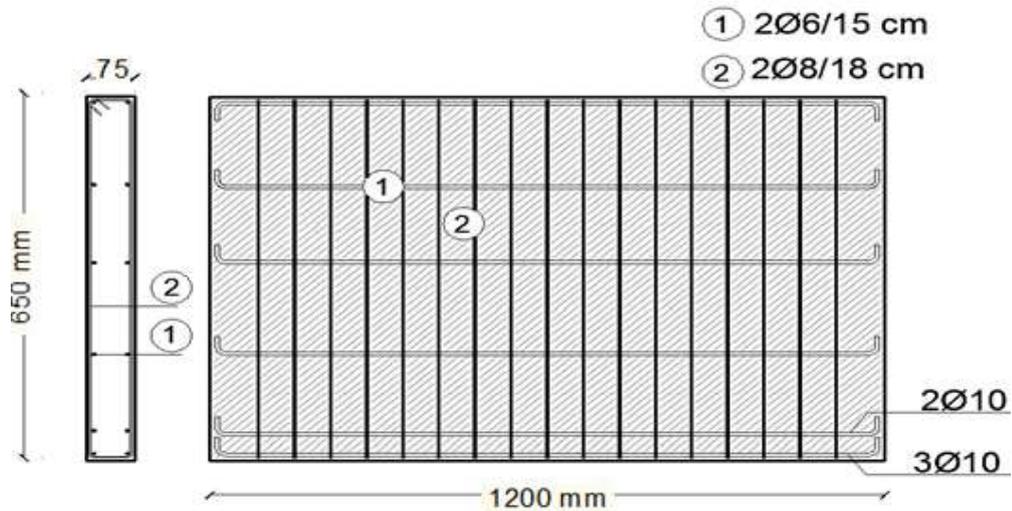
كما تم تنفيذ المجموعتين، بإستخدام عدة أنواع من الخلطات البيتونية المكونة من البيتون العادي مع رمل مزار، وبإستخدام عدة أنواع من الإضافات المدروسة في الفقرة 5-3، وهي الألياف الفولاذية بنسبة 30 kg/m^3 ، ألياف البولي بروبيلين، وبودرة السيلكا.

1-8-5- وصف الجوائز العميقة المختبرة :

تم تحضير عينات من الجوائز المسلحة العميقة طولها 1200 mm ومقطعها العرضي 75*650 mm، مسلحة بتسليح قطره 6, 8, 10 mm مبينه مواصفاتها في الجدول (5-6).

المجموعة الأولى DB₁ : جوائز بيتونية عميقة مسلحة بتسليح انعطاف سفلي 5φ10، وضع ثلاثة قضبان منها في الصف السفلي مع تأمين مسافة تغطية بيتونية 5 Cm، وقضيبين في الصف الثاني يبعدان عن الصف الأول مسافة 5 Cm، وتم تزويد جميع القضبان الطرفية بطول تماسك نظامية كافية لتأمين طول الإرساء الكافي واللازم لمنع إنسحاب القضبان، كما تم تسليحها بشبكة على وجهي الجانز تسليحها الشاقولي φ8/18Cm، وتسليحها الأفقي φ6/15Cm، كما يبين الشكل (5-37).

المجموعة الثانية DB₂ : جوائز بيتونية عميقة مسلحة بتسليح انعطاف سفلي فقط 5T10، وضع ثلاثة قضبان منها في الصف السفلي مع تأمين مسافة تغطية بيتونية 5 Cm، وقضيبين في الصف الثاني يبعدان عن الصف الأول مسافة 5 Cm.



الشكل (5-37): تسليح الجانز العميق المختبر.

كما تم تنفيذ الجوائز العميقة المختبرة باستخدام عدة أنواع من الخلطات البيتونية المكونة من الببتون العادي مع رمل مزار، وباستخدام الإضافات المدروسة، والمبينة نماذجها في الجدول (10-5).

الجدول (10-5): عينات الجوائز العميقة المختبرة.

المجموعة	وصف العينة	نوع الإضافة
DB ₁ -0	جائز من الببتون بتسليح كامل	ببتون عادي
DB ₂ -0	جائز من الببتون بتسليح انعطاف فقط	(عينة مرجعية)
DB ₁ -1	جائز من الببتون بتسليح كامل	ببتون مع ألياف فولاذية بنسبة
DB ₂ -1	جائز من الببتون بتسليح انعطاف فقط	حجمية % 1.5 (32 Kg/m ³)
DB ₁ -2	جائز من الببتون بتسليح كامل	ببتون مع ألياف البولي بروبيلين
DB ₂ -2	جائز من الببتون بتسليح انعطاف فقط	بنسبة 600 gr/m ³
DB ₁ -3	جائز من الببتون بتسليح كامل	ببتون مع بودرة السيلكا بنسبة
DB ₂ -3	جائز من الببتون بتسليح انعطاف فقط	35 Kg/m ³

حيث يرمز DB₁ للجائز العميق بتسليح كامل، و DB₂ للجائز العميق بتسليح انعطاف فقط، أما الأرقام 0، 1، 2، 3 فترمز للعينة المرجعية (دون إضافات)، وللعينات مع الألياف الفولاذية، وألياف البولي بروبيلين، وبودرة السيلكا، على الترتيب. ويبين الشكل (5-38) مراحل تنفيذ عينات الإختبار للجوائز العميقة.



a- تسليح الجائز العميق.



b- توضع التسليح ضمن كوفراج الجائز العميق.



c- صب البيتون ضمن القالب.



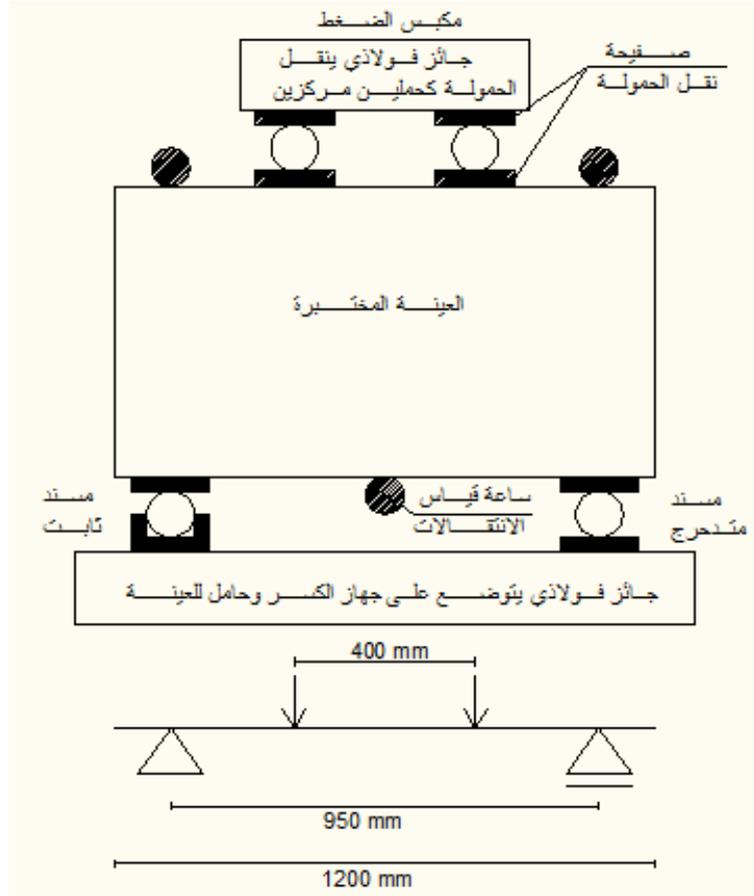
d- الجائر العميق المتصلب.

الشكل (5-38): مراحل تنفيذ عينات الاختبار للجوائز العميقة.

2-8-5- وصف التجربة :

تم إجراء التجربة في مخبر البيتون ومواد البناء في كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق، على جهاز ضغط، تم وصله على قارئ الكتروني يقوم بقراءة الحمولة التي تنتقل عن طريق المكبس، الذي ينقل حمولته إلى منتصف جائز معدني المسافة بين مسنديه 40 Cm يقوم بنقلها عن طريق المسندين المستندين إلى صفائح معدنية المسافة بينها 40 Cm متوضعة على ثلاثي المجاز للجائز، والمستند بدوره على مسندين أحدهما ثابت، وتم تأمينه عن طريق قضيب فولاذي قطره 4 Cm ملحوم مثبت على صفيحه سماكتها 2 Cm مع حاجز افقي يمنع الإنتقال ويسمح بالدوران لتأمين ثبات المسند، أما المسند الآخر فمتدحرج ويُسمح له بالتدحرج بسبب عدم وضع حاجز يمنع انزياحه، وثبتت هذه المساند على جائز معدني سفلي مقوى بصفائح لمنع التحنيب الجانبي لجسده يستند بدوره على قاعدة جهاز الاختبار .

كما تم تثبيت الساعات الرقمية على مبسطات معدنية ملصقة على العينة المختبرة في المكان المراد قياس الانتقال عندها في أسفل ومنتصف الجائر كما هو مبين في الشكل (5-39) .



الشكل (5-39): كروي للجائز العميق المختبر مع أجهزة قياس الانتقالات على جهاز الاختبار.

وبين الشكل (5-40) توضع الجائز العميق المختبر على جهاز الكسر.



الشكل (5-40): توضع الجائز العميق المختبر على جهاز الاختبار.

تم تصوير مجريات التجربة، وتطبيق حملتين مركزتين متزايدتين، وتم مراقبة تزايد الحملات ورصد الحمولة الموافقة للشق الأول، ورسم مسار ظهور التشققات وتحديد الحملات الموافقة لتطور التشققات، وصولاً لحمولة الإنهيار.

3-8-5- نتائج التجارب على الجوائز العميقة :

من خلال مراقبة مجريات التجربة ومراقبة ظهور الشق الأول لكل من العزم، والقص والحمولة المسببة للشق الأول، وصولاً لحمولة الانهيار، ومن خلال متابعة نتائج التصوير نلخص في الجدول (5-11)، كل من الحمولة الوسطية للإنهيار N_U ، والحمولة الوسطية الموافقة للشق الأول لكل من الانعطاف N_{mcr} ، والقص N_{scr} ، ولكل مجموعة من المجموعات المدروسة.

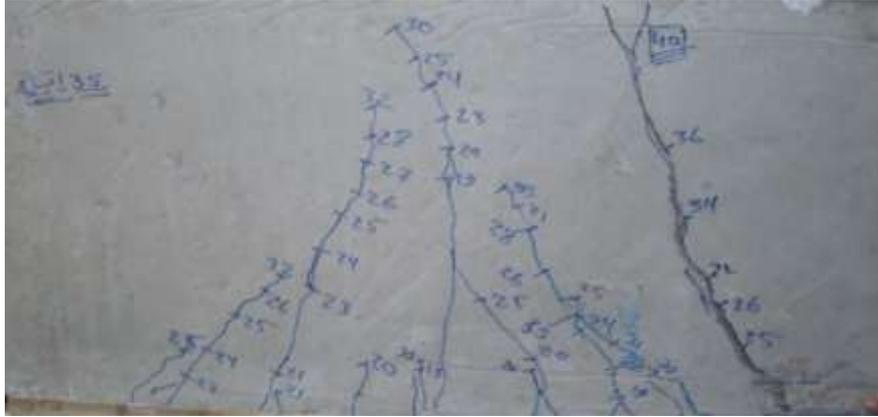
الجدول (5-11): حمولة الانهيار وحمولة الشق الأول لكل من الانعطاف والقص للجوائز العميقة المدروسة.

المجموعة	التسليح المستخدم	الإضافة المستخدمة	N_U (kN)	N_{mcr} (kN)	N_{scr} (kN)
DB ₁ -0	انعطاف+قص	بيتون عادي (عينة مرجعية)	377	210	260
DB ₂ -0	انعطاف	بيتون عادي (عينة مرجعية)	294	294	200
DB ₁ -1	انعطاف+قص	ألياف فولاذية	490	220	300
DB ₂ -1	انعطاف	ألياف فولاذية	450	400	250
DB ₁ -2	انعطاف+قص	ألياف البولي بروبيلين	400	200	300
DB ₂ -2	انعطاف	ألياف البولي بروبيلين	300	250	250
DB ₁ -3	انعطاف+قص	السيلكافيوم	460	250	300
DB ₂ -3	انعطاف	السيلكافيوم	375	320	300

4-8-5- حمولة الإنهيار :

إن نمط الإنهيار لجميع المجموعات المدروسة من الجوائز كانت بسبب الشد القطري بالرغم من تشكل العديد من تشققات الإنعطاف كما في الشكل (5-41-a)، حيث يحدث انفلاق في البيتون على طول خط الشقوق المائلة الرئيسية الواصلة بين المسند باتجاه نقطة تطبيق الحمولة،

أو بسبب الإنهيار على الضغط تحت نقاط تطبيق الحمولة المركزة، والناجم عن الشد، كما في الشكل (5-41-b).



a- انفلاق على طول الشقوق الرئيسية

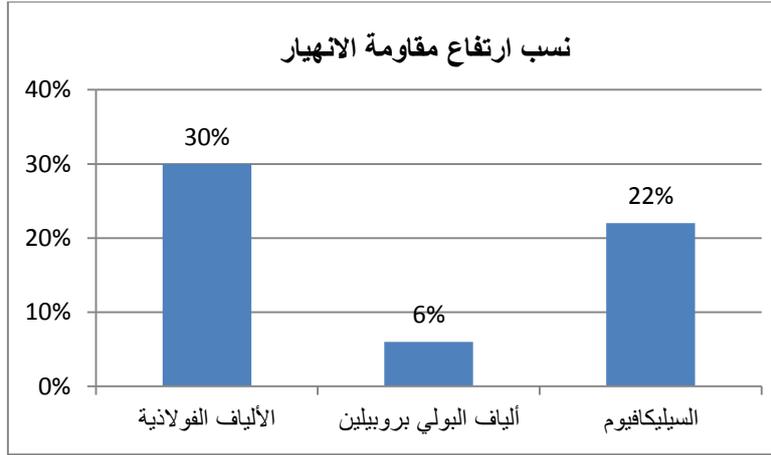


b- انهيار أسفل نقطة تطبيق الحمولة المركزة.

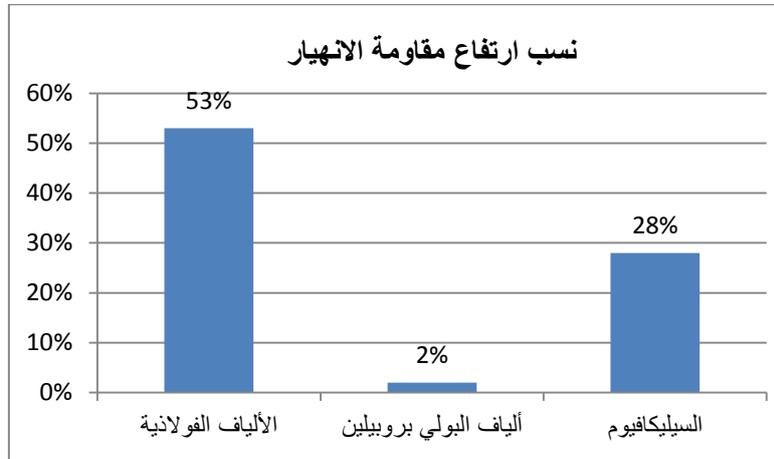
الشكل (5-41): نمط انهيار الجوائز العميقة المختبرة.

أظهرت النتائج أن غياب تسليح القص في الجوائز خفض من قوة الإنهيار بمقدار 22%, 8%, 25%, 18% للجوائز العميقة المنفذة ببيتون عادي دون إضافات، مع ألياف فولاذية، ألياف البولي بروبيلين، أو السيليكا فيوم، على الترتيب.

كما أن استخدام الألياف في الخلطة رفع من مقاومات الجوائز العميقة بالنسب المبينه في الشكل (5-42):



a- الجوائز العميقة المسلحة بتسليح كامل.



b- الجوائز العميقة المسلحة بتسليح انعطاف فقط.

الشكل (5-42): نسب تحسن مقاومات الانهيار لعينات الجوائز العميقة المسلحة مع الإضافات.

يبين الشكل (5-42)، أن استخدام الألياف الفولاذية في الخلطة رفع من مقاومة الإنهيار الحدية للجوائز العميقة بنسبة 30% للجوائز بتسليح عادي، وبنسبة 53% للجوائز بتسليح انعطاف فقط، أما استخدام ألياف البولي بروبيلين فقد رفع مقاومة الانهيار بنسبة 6% و 2% لكل من الجوائز بتسليح كامل، أو تسليح انعطاف فقط على الترتيب، وارتفعت بنسب 22% و 28% عند استخدام بودرة السيليكا لكل من الجوائز بتسليح كامل، أو تسليح انعطاف فقط على الترتيب.

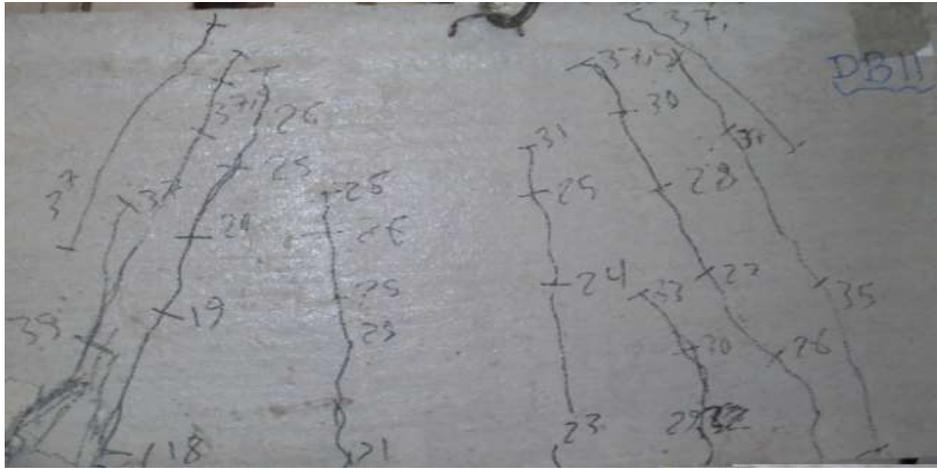
كما نلاحظ من النتائج بأن حمولة الانهيار للجوائز العميقة بتسليح طولي فقط (دون تسليح عرضي) وباستخدام الألياف الفولاذية، وصلت لحمولة الجوائز العميقة بتسليح كامل دون إضافات وتجاوزتها بنسبة وصلت إلى 19%، وهذا ما يظهر الدور الواضح لهذه الألياف برفع مقاومة الجوائز ولعبها دور البديل للتسليح العرضي في الجوائز العميقة، من حيث المقاومة القصوى للجوائز.

أما استخدام إضافات البولي بروبيلين أو السيليكافيوم فلم تقم بالدور الذي قامت به الألياف الفولاذية كبديل للتسليح العرضي، حيث وصلت مقاومات العينات المنفذة بإستخدام كل من ألياف البولي بروبيلين أو السيليكافيوم دون التسليح العرضي إلى 65% و 83% على الترتيب من حمولة الإنهيار للجوائز العميقة بتسليح كامل ودون إضافات.

5-8-5- تشققات الجوائز العميقة:

تم رسم خريطة ظهور التشققات لكل من الجوائز المختبرة وتطورها مع الحمولة الموافقة لها، ويبين الشكل (5-43)، نماذج لخريطة تطور التشققات في الجوائز العميقة بتسليح كامل بإستخدام أنواع الإضافات المختلفة، حيث لم تلاحظ ظهور التشققات في أي من الجوائز قبل 45% من حمولة الانهيار.

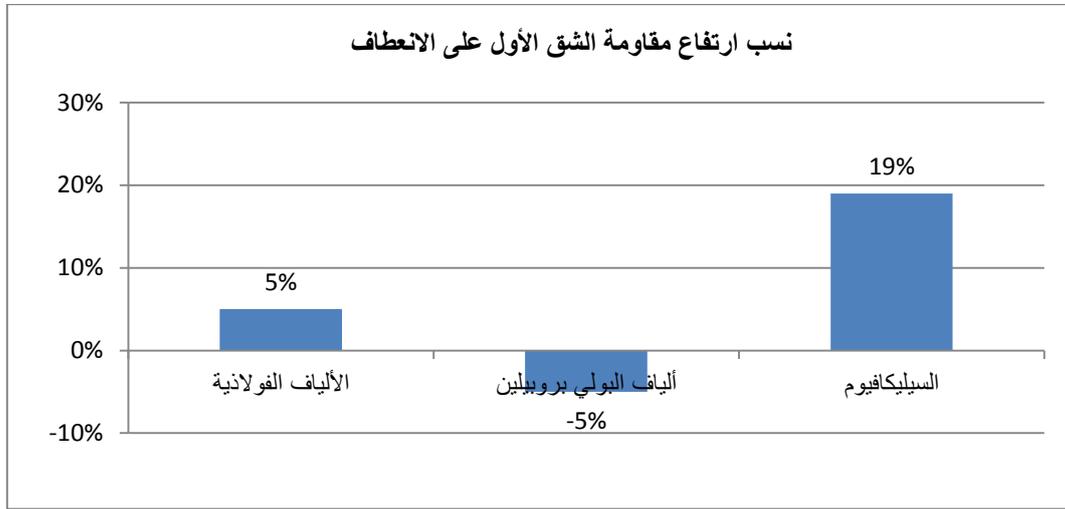
أظهرت التجارب بأن الشق الأول لجميع عينات المجموعة الأولى (جوائز عميقة بتسليح كامل) هو شق انعطاف، تلتها تشققات القص في الظهور، ويبين الجدول (5-11) الحمولة الموافقة لنشوء الشق الأول لكل من الانعطاف والقص في الجوائز المدروسة.



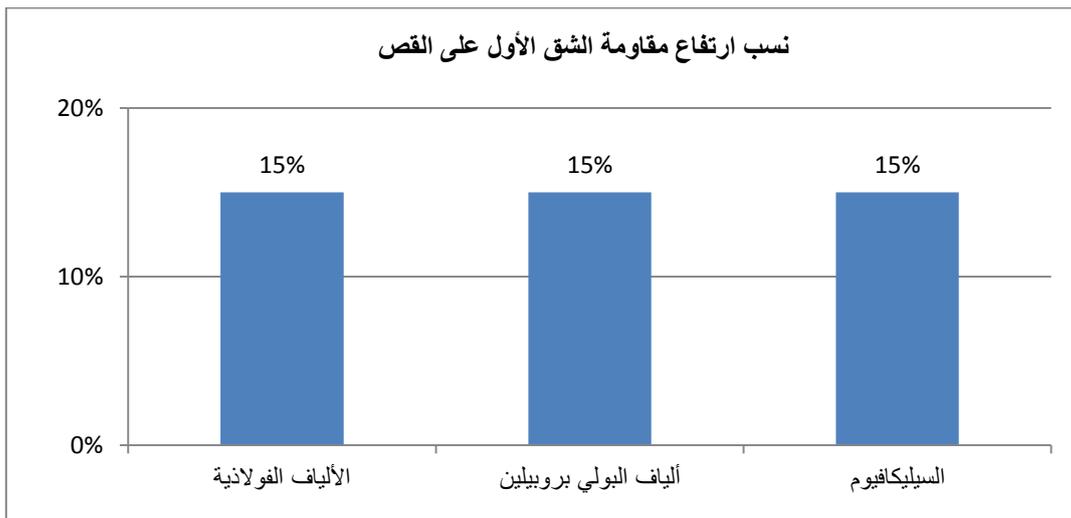
a- جائز بيتوني عميق دون إضافات ويتسليح كامل (DB₁-0).

تبين النتائج ظهور شق الانعطاف الأول على حمولة نسبتها 56%، 45%، 50%، 54% من حمولة الإنهيار لكل من الجوائز بتسليح كامل (DB1)، بدون إضافات (0)، ومع ألياف فولاذية (الإضافة 1)، وألياف البولي بروبيلين (الإضافة 2)، وبودرة السيلكا (الإضافة 3)، على الترتيب. أما شق القص الأول فكان عند نسبة حمولة 69%، 61%، 75%، 65% من حمولة الانهيار لكل مجموعة من الجوائز المدروسة على الترتيب.

كما يبين الشكل (5-44) نسب تغير الحمولة المسببة للشق الأول لكل من الانعطاف والقص في الجوائز العادية المسلحة بتسليح كامل، ومع استخدام الإضافات، عنها في الجوائز المرجعية، مما يظهر دور الإضافات المستخدمة في تغير مقاومة البيتون لظهور التشققات.



a- الشق الأول على الإنعطاف.



b- الشق الأول على القص.

الشكل (5-44): نسب مقاومات البيتون للشق الأول في الجوائز العميقة المسلحة بتسليح كامل مع الإضافات.

ويبين الجدول (5-12) نسب امتداد تشققات الإنعطاف والقص على ارتفاع الجوائز البيتونية العميقة المسلحة بتسليح كامل.

الجدول (5-12): نسب امتداد تشققات الانعطاف والقص للجوائز العميقة بتسليح كامل.

المجموعة	التسليح المستخدم	الإضافة المستخدمة	نسبة طول تشققات الانعطاف إلى ارتفاع الجائز	نسبة طول تشققات القص إلى ارتفاع الجائز
DB ₁ -0	انعطاف+قص	بيتون عادي (عينة مرجعية)	68 %	68 %
DB ₁ -1	انعطاف+قص	ألياف فولاذية	61 %	91 %
DB ₁ -2	انعطاف+قص	ألياف البولي بروبيلين	45 %	98 %
DB ₁ -3	انعطاف+قص	السيلاكافيوم	57 %	89 %

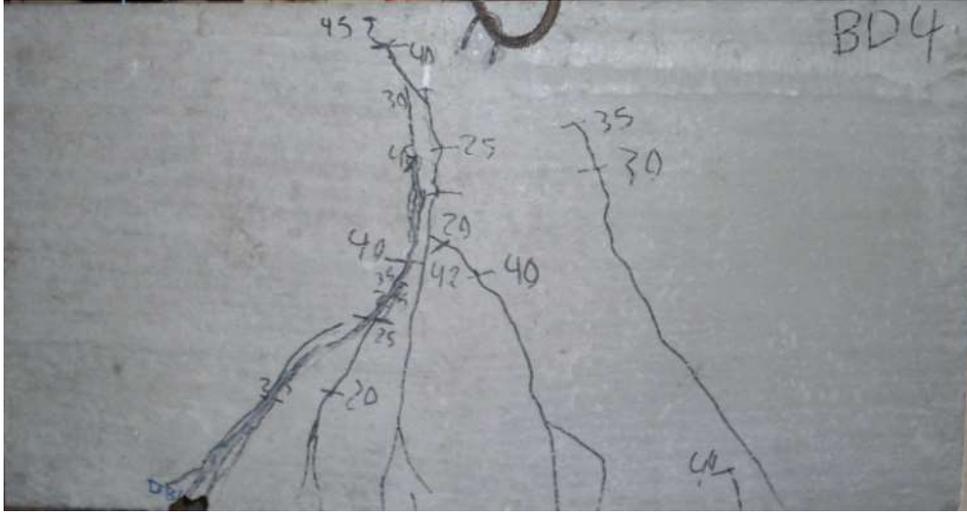
كما يبين الشكل (5-45)، نماذج لخريطة تطور التشققات في الجوائز العميقة بتسليح انعطاف سفلي فقط (دون تسليح قص طولي وعرضي)، وباستخدام أنواع الإضافات المختلفة.

أظهرت التجارب على الجوائز العميقة بتسليح انعطاف فقط، ظهور تشققات القص بدءاً من المسند وباتجاه نقاط تطبيق الحمولة، وزيادة تطورها مع تقدم التحميل، أما ظهور تشققات الإنعطاف فكان مفاجئاً، وسريعاً، قبل الإنهيار بقليل أو متزامناً مع لحظة الإنهيار في الجوائز دون إضافات. وفي الجوائز العميقة بتسليح إنعطاف، ومع إضافات، فكان ظهور تشققات الإنعطاف سابقاً للإنهيار بقليل، مما يظهر دور الإضافات في تحويل الإنهيار من مفاجئ إلى لدن.

يبين الجدول (5-11) الحمولة الموافقة للشق الأول لكل من الانعطاف والقص في الجوائز العميقة.



a- جائز بيتوني دون إضافات وتسليح انعطاف فقط (DB₂-0).



b- جانز بيتوني مع ألياف فولانية وبسليح انعطاف فقط (DB₂-1).



c- جانز بيتوني مع ألياف البولي بروبيلين وبسليح انعطاف فقط (DB₂-2).

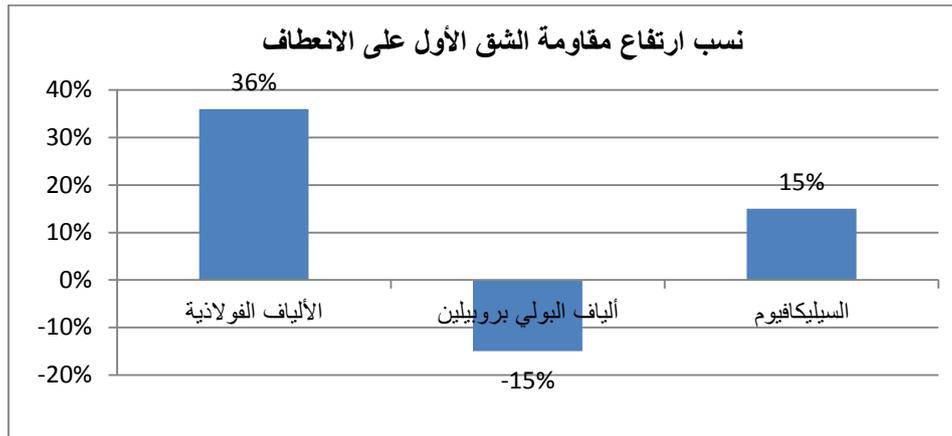


d- جانز بيتوني مع بودة السيلكافيوم وبسليح انعطاف فقط (DB₂-3).

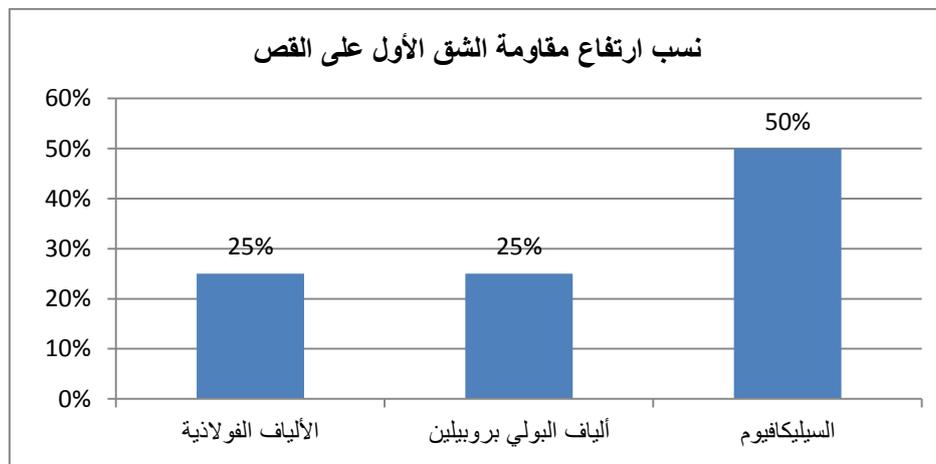
الشكل (45-5): نماذج خريطة التشققات في الجوائز العميقة بتسليح انعطاف سفلي فقط.

تبين النتائج ظهور شق الانعطاف الأول على حمولة نسبتها 100%، 89% ، 83%، 85% من حمولة الانهيار لكل من الجوائز بتسليح إنعطاف فقط (DB_2) بدون إضافات (0)، مع ألياف فولاذية (الإضافة 1)، مع ألياف البولي بروبيلين (الإضافة 2)، ومع بودرة السيلكا (الإضافة 3)، على الترتيب، أما شق القص الأول فكان عند نسبة حمولة 68%، 56%، 83%، 80% من حمولة الانهيار لكل الجوائز العميقة دون تسليح عرضي.

تظهر قيم الحمولة الموافقة للشق الأول في الجوائز (الجدول 5-11)، بأن العينات المرجعية دون ألياف فولاذية ظهر فيها الشق الأول على الانعطاف عند حمولة 55% من الإنهيار، وعلى القص عند حمولة 69%، بينما ارتفعت في الجوائز مع إضافات (الشكل 5-46) الحمولة المسببة لنشوء الشق الأول على الانعطاف بمقدار 36%، وعلى القص بمقدار 25% للألياف الفولاذية، وبمقدار 15% للإنعطاف و50% للقص للعينات باستخدام السيليكافيوم، مما يظهر دور الإضافات المستخدمة في تحسين مقاومة البيتون لظهور التشققات.



a- الشق الأول على الانعطاف.



b- الشق الأول على القص.

الشكل (5-46): نسب ارتفاع مقاومات البيتون للشق الأول للجوائز العميقة المسلحة بتسليح انعطاف مع الإضافات.

كما تظهر التجارب بأن ظهور شق القص الأول في العينات بتسليح انعطاف فقط كان مفاجئاً وبامتداد للشق تجاوز $0.5 d$ من أسفل الجائز ووصل إلى $0.65-0.75$ من ارتفاع الجائز، ويبين الجدول (5-13) نسب امتداد كل من تشققات الانعطاف والقص، لكل من الجوائز العميقة المسلحة بتسليح انعطاف فقط بدون إضافات، وفقاً لنوع الإضافة المستخدمة.

الجدول (5-13): نسب امتداد تشققات الانعطاف والقص للجوائز العميقة بتسليح انعطاف فقط.

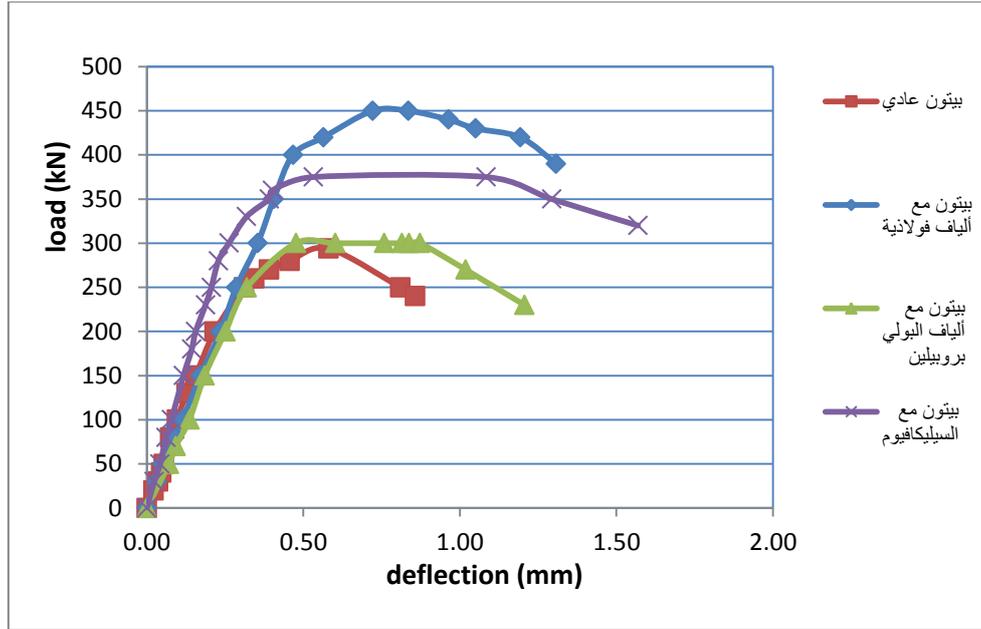
المجموعة	التسليح المستخدم	الإضافة المستخدمة	نسبة طول تشققات الانعطاف إلى ارتفاع الجائز	نسبة طول تشققات القص إلى ارتفاع الجائز
DB ₂ -0	انعطاف	بيتون عادي (عينة مرجعية)	80 %	95 %
DB ₂ -1	انعطاف	ألياف فولاذية	90 %	76 %
DB ₂ -2	انعطاف	ألياف البولي بروبيلين	64 %	92 %
DB ₂ -3	انعطاف	السيلكافيوم	70 %	98 %

بعد نشوء الشق الأول للقص، ومع ازدياد الحمولة المطبقة، بدأت تشققات الإنعطاف بالظهور، مترافقة مع زيادة امتداد وسعة تشققات القص المتجهة نحو نقطة التحميل، إلى أن تصل الجوائز لمرحلة الانهيار، والتي يصل فيها عمق تشققات القص إلى 80-95% من ارتفاع الجائز في الجوائز التي استخدمت فيها الإضافات، في حين لم تتجاوز نسبة 80% من ارتفاع الجائز في الجوائز دون إضافات، مما يظهر دور الألياف في تحسين أداء الجوائز في المرحلة اللدنة والسماح لها بتشكيل مفاصل لدنة وزيادة مطاوعة الانهيار على القص.

لوحظ بأن التشققات في الجوائز بألياف فولاذية (الشكل b من (5-43) و (5-45))، كانت أكثر كثافة وأقل اتساعاً منها في باقي الجوائز (الأشكال a,c,d من (5-43) و (5-45))، مما يبين بأن الألياف الفولاذية ساهمت في إعادة توزيع الإجهادات عن طريق دورها في الربط الجسري بين مكونات البيتون، مما سبب بظهور عدد أكبر من التشققات وحداً من تزايد عرض الشقوق، وسمح بتشكيل ميكانيكية لدنة عند الإنهيار.

5-8-6- علاقة الحمولة-الانتقال:

تم رسم منحنى العلاقة بين الحمولة والسهم الأعظمي للجوائز العميقة المدروسة، وذلك لكل نوع من أنواع الخلطات المستخدمة، فكانت المنحنيات للجوائز البيتونية العميقة المسلحة بتسليح كامل بدون إضافات، ومع أنواع الإضافات المستخدمة مبينة في الشكل (5-47).



الشكل (5-47): منحنى الحمولة - الانتقال، للجوائز البيتونية العميقة المسلحة بتسليح كامل.

من دراسة منحنى الحمولة - الانتقال للجوائز البيتونية العميقة المسلحة بتسليح كامل المبين

في الشكل (5-51)، نجد أنه:

✓ في الجائز البيتونية دون إضافات (الجائز DB₁-0 في الشكل 5-43)، تزداد الحمولة بقساوة ثابتة ($K_E=477$) حتى الوصول إلى قوة مقدارها 377 kN وانتقال مرافق 0.89 mm، بعدها تثبت القوة مع زيادة في الانتقال ليصل إلى 1.8 mm حيث تنتشر تشققات الانعطاف وصولاً للإنتهاء، ليبدأ بعدها المنحني بالإنحدار بميل ($K=56.34$).

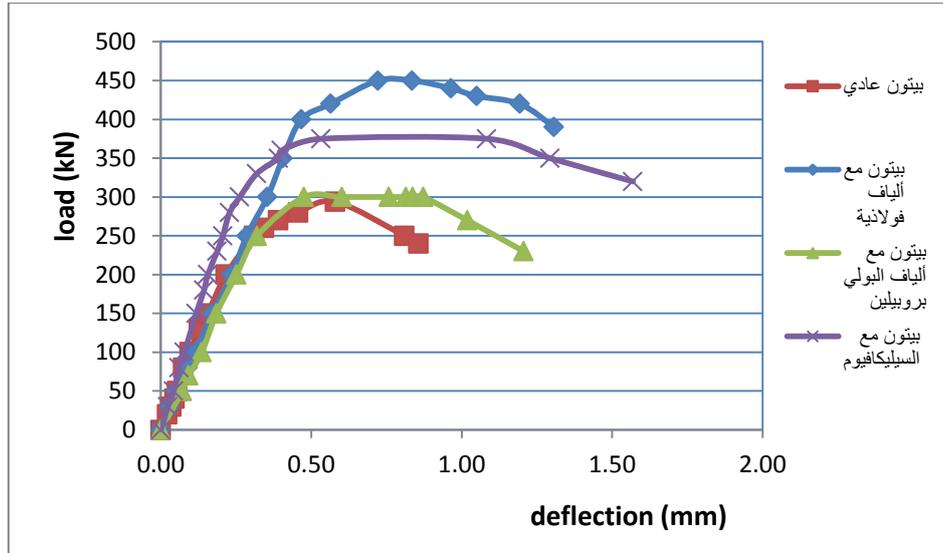
✓ أما في الجائز بألياف فولاذية (الجائز DB₁-1 في الشكل 5-43)، فقد ازدادت الحمولة بقساوة ثابتة ($K_E=636$) وصولاً إلى قوة مقدارها 490 kN مترافقة مع انتقال 0.77 mm، تثبت القوة بعدها مع زيادة في الانتقال ليصل إلى 1.46 mm حيث تنتشر تشققات الانعطاف وصولاً للإنتهاء، ليبدأ بعدها المنحني بالإنحدار بميل ($K=77$).

✓ وفي الجائز بألياف اللبولى بروبيلين (الجائز DB₁-2 في الشكل 5-43)، يتصرف الجائز بسلوك مماثل للجائز السابقين، حيث تزداد الحمولة بقساوة ثابتة ($K_E=656$) وصولاً للحمولة 400 kN عند انتقال كلي 0.61 mm، تثبت القوة بعدها مع زيادة في الانتقال ليصل إلى 0.71 mm حيث تنتشر تشققات الإنعطاف وصولاً للإنتهاء، ويبدأ بعدها المنحني بالإنحدار بميل ($K=104$).

✓ كذلك الأمر في الجائز مع بودرة السيليكا (الجائز DB₁-3 في الشكل 5-43)، حيث تزداد القوة بقساوة ($K_E=648$) وصولاً لحمولة 460 kN وانتقال 0.71 mm، تثبت

القوة بعدها مع زيادة في الإنتقال ليصل إلى 1.15 mm حيث تنتشر تشققات الإنعطاف وصولاً للإنتهاء، ويبدأ بعدها المنحني بالإنحدار بميل (K=90).

يبين الشكل (48-5) منحنى القوة – الإنتقال للجوائز العميقة المسلحة بتسليح انعطاف فقط ودون تسليح القص، المنفذة ببيتون دون إضافات، أو بيتون مع كل من أنواع الإضافات المستخدمة.



الشكل (48-5): منحنى الحمولة – الإنتقال، للجوائز البيتونية العميقة المسلحة بتسليح انعطاف فقط.

من دراسة المنحني الحمولة - الإنتقال للجوائز البيتونية المسلحة بتسليح انعطاف فقط دون تسليح عرضي المبين في الشكل (48-5)، نجد أنه :

✓ في الجائز البيتوني دون اضافات (الجائز DB₂-0 في الشكل 45-5)، تزداد الحمولة بقساوة ثابتة (K_E=765) حتى الوصول إلى قوة مقدارها 260 kN وانتقال مرافق 0.34 mm ، لتتخفض القساوة (K_P=142) وصولاً لحمولة الإنتهاء 294 kN عند الإنتقال 0.58 mm، ويبدأ بعدها المنحني بالإنحدار بميل (K=193).

✓ أما في الجائز بألياف فولاذية (الجائز DB₂-1 في الشكل 45-5)، فقد ازدادت الحمولة بقساوة ثابتة (K_E=851) وصولاً إلى قوة مقدارها 400 kN مترافقة مع انتقال 0.47 mm، وعندها تبدأ تشققات الانعطاف بالظهور وتتنخفض القساوة (K_P=156) لتصل القوة المطبقة للقيمة 450 kN مترافقة مع انتقال 0.72 mm، حيث تثبت بعدها الحمولة مع ازدياد في الانتقال ليصل إلى 0.84 mm، ويبدأ بعدها المنحني بالإنحدار بميل (K=128).

✓ وفي الجائز بألياف البولي بروبيلين (الجائز 2-DB₂ في الشكل 5-45)، تزداد الحمولة بقساوة ثابتة (KE=781) وصولاً للحمولة 250 kN عند انتقال 0.32 mm، وتنخفض القساوة (K_p=313) وصولاً للحمولة 300 kN وانتقال 0.48 تثبت بعدها القوة لتزداد الإنتقالات لتصل إلى 0.87، وينهار بعدها الجائز وينحدر المنحني بميل (K=206).

✓ كذلك الأمر في الجائز مع بودرة السيليكا (الجائز 3-DB₂ في الشكل 5-45)، حيث تزداد القوة بقساوة (K_E=1154) وصولاً لحمولة 300 kN وانتقال 0.26 mm، وتنخفض القساوة (K_p=278) وصولاً للحمولة 375 kN وانتقال 0.53 mm، لتثبت بعدها القوة مع ازدياد في الانتقال وصولاً لإنتقال 1.08 mm، ليبدأ بعدها المنحني بالإنحدار بميل (K=112).

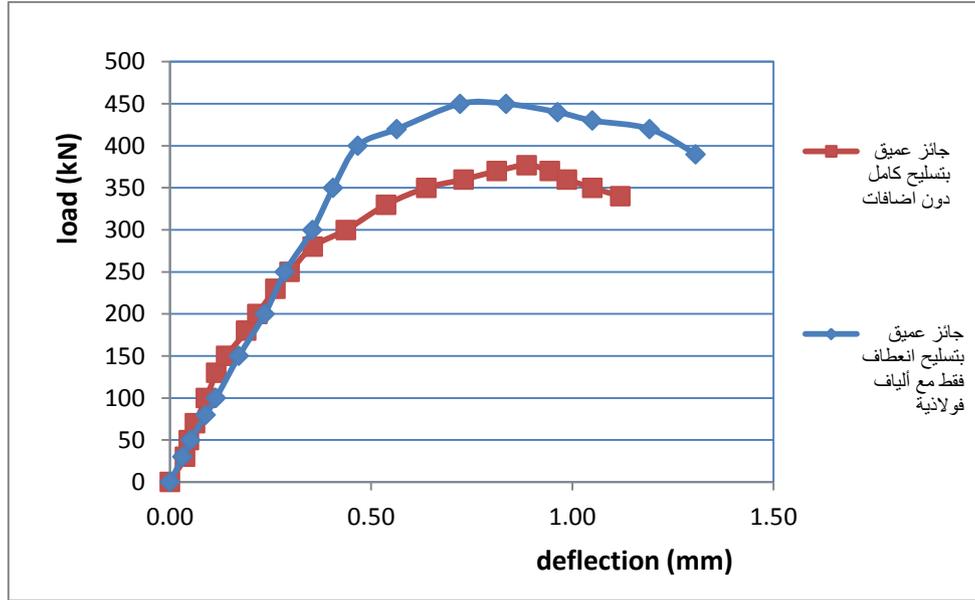
تبين الأشكال السابقة زيادة حمولة الإنهيار الحديدية للجوائز مع إضافات وفق القيم الواردة في الجدول (5-11)، والنسب الواردة في الشكل (5-42)، مما يظهر دور الإضافات في تحسين الحمولة الحديدية للجوائز المسلحة العميقة، وكما يظهر زيادة مرحلة اللدونة بعد الحمولة الحديدية مما يزيد من مطاوعة الجوائز مابعد التشقق ويبعده عن الانهيار الهش.

كما نلاحظ زيادة المساحة أسفل منحني (الحمولة-السهم)، مما يعني ازدياد مؤشر المتانة أو القساوة للبيتون (Toughness)، وزيادة قدرة البيتون على امتصاص الطاقة، وفق النسب الواردة في الجدول (5-14)، والتي تظهر تحسين الألياف الفولاذية لسلوك الجوائز العميقة في مرحلة مابعد التشقق، وبنسب تختلف تبعاً لنوع الإضافة.

الجدول (5-14): الطاقة الكلية للجوائز العميقة.

نوع الجائز		$E_T = E_E + E_P$ kN.mm	نسبة الزيادة
تسليح كامل	دون اضافات	321.08	1
	مع ألياف فولاذية	595.64	1.86
	مع ألياف البولي بروبيلين	466.61	1.45
	مع السيليكافيوم	561.82	1.75
تسليح انعطاف فقط	دون اضافات	192.32	1
	مع ألياف فولاذية	455.36	2.37
	مع ألياف البولي بروبيلين	290.33	1.51
	مع السيليكافيوم	511.54	2.66

وبالمقارنة بين سلوك الجوائز العميقة بتسليح كامل دون إضافات، والجوائز بتسليح انعطاف فقط مع ألياف فولاذية والمبين بالشكل (49-5) :



الشكل (49-5): تأثير الألياف الفولاذية كبديل للتسليح العرضي في الجوائز العميقة.

نلاحظ زيادة المقاومة من 377 kN للجوائز العميقة بتسليح كامل دون إضافات، إلى 450 kN للجوائز العميقة بتسليح انعطاف فقط مع الألياف الفولاذية، وبنسبة تصل إلى 19 % مع الإنتباه إلى تحسن تصرف الجائز بعد نقطة الإنهيار الحدية والتي تنعكس على مطاوعة الجائز من جهة، وعلى مؤشر المتانة (المساحة تحت منحنى $P-\delta$)، كما تنعكس على قدرة البيتون على امتصاص الطاقة من جهة أخرى. وهذا يبين إمكانية الإستغناء عن التسليح العرضي في الجوائز العميقة واستخدام الألياف الفولاذية كبديل عنها، مع التنويه لضرورة دراسة تأثير غياب التسليح العرضي والشاقولي على الاجهادات الأخرى في الجوائز العميقة، ودراسة الانتفاخ وتغيير مسار المحور المحايد.

أما فيما يتعلق بالإضافات الأخرى المدروسة، فقد وصل الجائز بغياب تسليح القص إلى حوالي 61 % من حمولة الإنهيار البولي بروبيلين، و 77 % للسيليكا فيوم، مع عدم إغفال دورها المهم في تحسين سلوك الجائز من حيث كل من تصرفه اللدن، وزيادة قدرته على امتصاص الطاقة.

الفصل السادس

Chapter 06

التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

Structural Analysis using Finite Element Method (FEM)

1-6- مقدمة:

يهدف هذا الفصل إلى استعراض الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Elements Method) ، وذلك باعتماد برنامج (ABAQUS 6.12-1)، لدراسة سلوك كل من الجوائز العادية والجوائز العميقة، مع وبدون تسليح عرضي، منفذة ببيتون عادي وأخرى ببيتون مع ألياف فولاذية، ودراسة تغير حمولة الإنهيار N_U ، لكل منها تبعاً لتغير نسبة المجاز إلى ارتفاع الجائز L/H ، وباعتماد التحليل اللاخطي (التحليل اللاخطي فيزيائياً) والذي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة، من خلال دراسة نموذج الجوائز العادية والجوائز العميقة المختبرة ضمن الدراسة التجريبية في الفصل الخامس.

كما يحتوي هذا الفصل توصيفاً للنموذج المعتمد في التحليل، وخطوات التحليل الإنشائي، وعرض لنتائج الدراسة التحليلية ومقارنتها بالنتائج التجريبية، للوصول إلى شكل الإنهيار لكل من الجوائز العادية والعميقة، ودراسة تأثير الألياف الفولاذية على كل منها، بوجود وغياب التسليح العرضي.

2-6- توصيف النموذج:

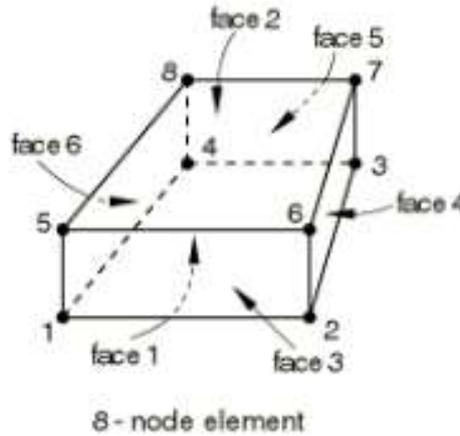
تم تحليل النموذجين المدروسين تجريبياً في الفصل الخامس، وهي عبارة عن جائز عادي مابين في الفقرة 1-7-5 ، و الجائز العميق المبين في الفقرة 1-8-5 من هذه الأطروحة.

3-6- التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة:

تم استخدام برنامج (Abaqus 6.12-1)، لتحليل الجوائز بطريقة العناصر المحدودة.

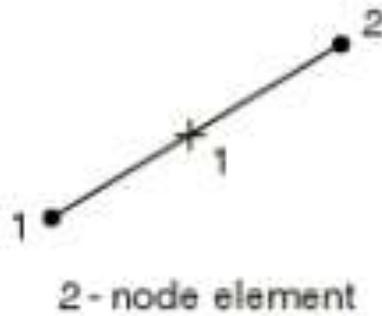
1-3-6- العناصر المستخدمة في النموذج:

تم استخدام العنصر C3D8R لنمذجة الجوائز البيتونية، وهو عنصر فراغي (Solid Section) مؤلف من ثمان عقد لكل عقدة ست درجات حرية، ويبين الشكل (1-6) العنصر الفراغي المستخدم لنمذجة البيتون.



الشكل (1-6): تمثيل العنصر الفراغي C3D8R (Abaqus 6.12-Documentation)

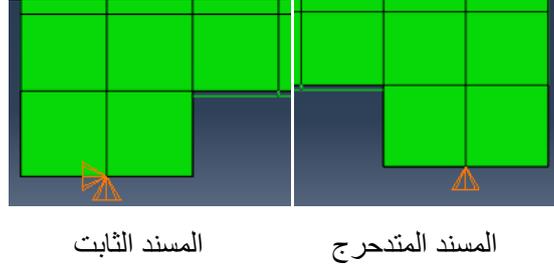
كما تم استخدام العنصر T3D2 لنمذجة التسليح الطولي والعرضي، وهو عنصر شبكي فراغي (Truse Element) مؤلف من عقدتين لكل عقدة ست درجات حرية، ويوضح الشكل (2-6) العنصر الشبكي المستخدم.



الشكل (2-6): تمثيل العنصر الفراغي T3D2 (Abaqus 6.12-Documentation)

2-3-6- الشروط المحيطية للنموذج المدروس:

تم اعتماد شروط الإستناد للنموذج المدروس، مماثل لشروط الإستناد المعتمدة في التجربة وهي مسند ثابت والآخر متدحرج، حيث قُيدت عقد الإستناد الوسطية إحداها بالإتجاهين الشاقولي والأفقي (مسند ثابت)، والأخرى بالإتجاه الشاقولي فقط (متدحرج) كما في الشكل (3-6).



الشكل (3-6): تمثيل شروط الاستناد.

3-3-6- الأحمال المطبقة على النموذج:

تم تطبيق حملتين مركزيتين بثلاثي المجاز، عن طريق تطبيق انتقال شاقولي متزايد مع الزمن في نقاط تطبيق الحمولة في التجربة.

4-3-6- نوع التحليل المستخدم في النموذج:

تم اعتماد التحليل اللاخطي **Materially non-linear analysis**، الذي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة.

5-3-6- توصيف المواد المستخدمة في النموذج:

تحتوي قاعدة بيانات البرنامج المعتمد Abaqus 6.12-1، ثلاثة طرق مختلفة لنمذجة البيتون، وهي (Abaqus 6.12-Documentation):

- 1- Concrete Smeared Cracking Model.
- 2- Cracking Model for Concrete.
- 3- Concrete Damage Plasticity.

تمكّن هذه الطرق من نمذجة البيتون (plain concrete)، والبيتون المسلح (Reinforced Concrete)، إضافة للمواد شبه الهشة (Quasi-brittle Materials)، وذلك لجميع أنواع العناصر الإنشائية، كالإطارات (Frames)، والجوائز (beams)، والعناصر الشبكية (Truss)، والعناصر المساحية (Shells)، والعناصر الفراغية (Solids).

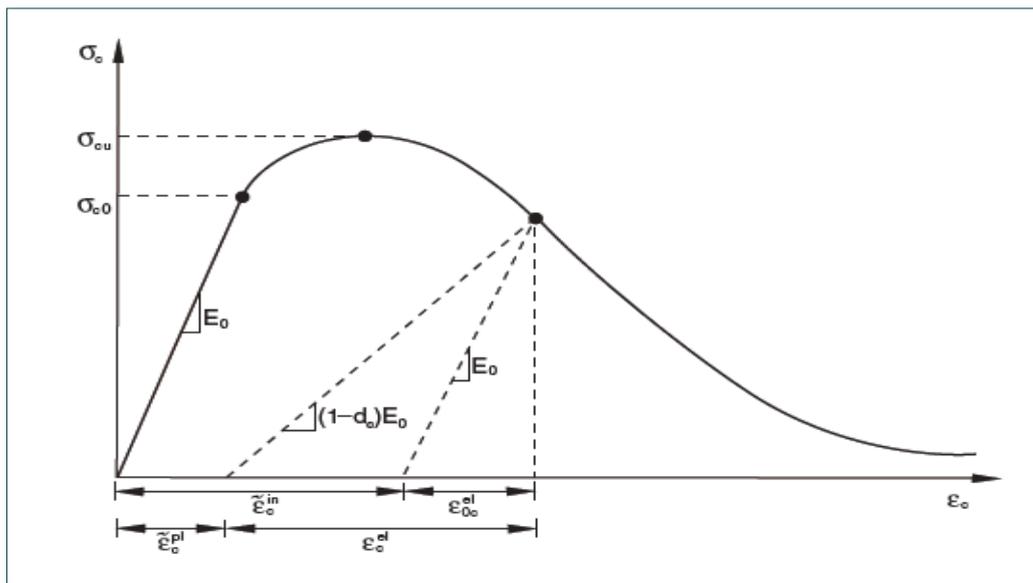
تستخدم الطريقة الأولى في نمذجة البيتون (Concrete Smearred Crecking Model)، عندما يسبب تحميل البيتون بشكل أساسي تشوهات متزايدة، وتستخدم عند تطبيق حمولات متزايدة حيث يكون فيها إنهيار البيتون على الشد (Tensile Cracking)، أو الإنهيار على الضغط (Compressive Crushing).

أما الطريقة الثانية (Cracking Model for Concrete)، فتستخدم في حالات التحليل التي يكون فيها سلوك إنهيار البيتون على الشد والضغط غير مهماً، وتعتبر سلوك البيتون على الضغط سلوكاً مرناً.

أما الطريقة الثالثة (Concrete Damage Plasticity)، فتستخدم في حالات التحميل العشوائي، حيث يأخذ بعين الاعتبار تأثير إزالة القوة، والتناقص التدريجي في الصلابة المرنة (Elastic Stiffness)، في حالتي الشد والضغط، بسبب التشوهات اللدنة، كما يأخذ بعين الاعتبار آثار استرداد القساوة المرنة (Recovery of the Elastic Stiffness) تحت تأثير التحميل الدوري عند انعكاس الحمولة من الشد إلى الضغط، وبالتالي بناءً على ماسبق ذكره نجد، بأن الطريقة الثالثة (Concrete Damage Plasticity) هي الأفضل في نمذجة العناصر البيتونية.

1-5-3-6- مقاومة البيتون على الضغط:

يعبر الشكل (4-6)، عن منحنى $(\sigma_c - \epsilon_c)$ بطريقة CDP.



الشكل (4-6): مخطط الاجهاد - التشوه للبيتون على الضغط (Abaqus 6.12-Documentation).

يوضح الشكل سلوك البيتون بشكل خطي مرن حتى الوصول إلى إجهاد الخضوع الأولي σ_{co} (Initial yield) ، ليبدأ بعدها السلوك اللاخطي، وتتحول العلاقة بين الإجهاد والتشوه إلى علاقة لدنة غير خطية حتى الوصول إلى الإجهاد الحدي (Ultimate stress) على الضغط σ_{cu} ، وتسمى بمرحلة تقسية الضغط (Compression Hardening)، لتبدأ بعدها مرحلة الانحدار في علاقة الإجهاد-التشوه (Strain softening)، والتي تنخفض فيها الاجهادات مع ازدياد التشوهات بسبب ازدياد التشققات واتصالها فيما بينها، وتمثل هذه المرحلة مرحلة ما بعد الانهيار (Post-Failure).

نتيجة لتشكل الشقوق في هذه المرحلة تتخفض القساوة المرنة للمادة ولكن بإهمال تأثير انخفاض القساوة المرنة المذكور آنفاً، وفي حال الحمل عند أي نقطة في هذه المرحلة تعود المادة بميل E_0 ، حيث E_0 هو معامل المرونة الابتدائي غير المتشقق للمادة (Initial Undamaged Modulus) فينشأ ما يسمى بتشوه التحطم على الضغط ϵ_c^{in} (Inelastic Crushing Strain)، (الشكل 4-6)، ويعطى بالعلاقة :

$$\epsilon_c^{in} = \epsilon_c - \epsilon_{oc}^{el} \quad (6-1)$$

ويعرف بأنه، الفرق بين التشوه الكلي للمادة ϵ_c والتشوه المرن ϵ_{oc}^{el} الموافق للمادة قبل التشقق والذي يعطى بدوره بالعلاقة :

$$\epsilon_{oc}^{el} = \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (6-2)$$

يعتبر تشوه التحطم على الضغط ϵ_c^{in} (Crushing Strain)، من المعطيات الأساسية الواجب تعريفها في الـ ABAQUS لنمذجة مرحلة تقسية الضغط، حيث يتم تعريف مرحلة تقسية الضغط بشكل جدول من حقلين: الحقل الأول هو الإجهادات σ_c الموافقة لكل تشوه، بينما يتم إدخال تشوه التحطم على الضغط ϵ_c^{in} في الحقل الثاني.

عند إزالة الحمولة في أي نقطة من نقاط مرحلة ما بعد الاجهاد الحدي (Strain Softening)، تتناقص قساوة المادة، حيث تعود المادة بميل $(1 - d_c)E_0$ أضعف من الميل السابق، يعبر مقدار انخفاض الميل بين الخطين السابقين عن مقدار انخفاض القساوة d_c عند ازالة الحمولة بسبب ظهور تشوهات الضغط اللدنة المتبقية (Compressive Equivalent Plastic Strains) في المادة تعرف بـ ϵ_c^{pl} ، وتحسب من العلاقة:

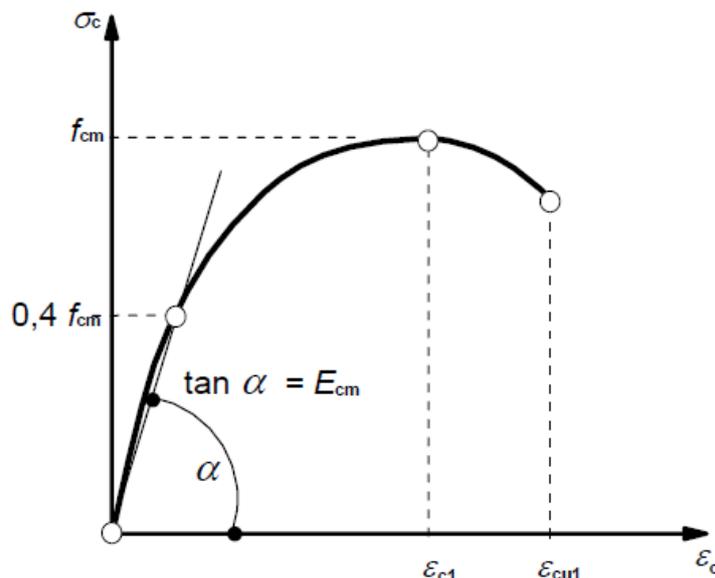
$$\epsilon_c^{pl} = \epsilon_c^{in} - \frac{d_c}{(1-d_c)} \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (6-3)$$

ويعبر عن معامل انخفاض القساوة (d_c Uniaxial Compression Damage Variable) حيث يأخذ قيمه ابتداءً من الصفر في المادة غير المتشققة ليصل الى الواحد عندما تفقد المادة كامل مقاومتها، ويحسب من العلاقة :

$$d_c = \frac{\sigma_{cu} - \sigma_c}{\sigma_{cu}} < 0.99 \quad (6-4)$$

ويعتبر من المعطيات الأساسية في الـ ABAQUS لتعريف انحدار القساوة المرنة للمادة على الشد، حيث يتم تعريف انخفاض القساوة المرنة للمادة على الضغط في مرحلة تقسية الضغط بشكل جدول من حقلين: الحقل الأول يضم الإجهادات σ_c الموافقة لكل تشوه، بينما يضم الحقل الثاني المعامل d_c ، حيث يعبر الخط المنقط ذي الميل $E_0 (1-d_c)$ عن حالة ازالة الحمولة في حالة السلوك اللدن للبيتون، بينما الخط المنقط ذي الميل E_0 فيعبر عن السلوك المرن للبيتون باعتبار E_0 معامل المرونة الابتدائي (Initial modulus of elasticity).

تم في هذه الدراسة اعتماد مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون على الضغط وفق الكود الأوروبي (Eurocode2, 2004) كما هو مبين في الشكل (5-6) ، والذي يعتبر العلاقة بين الاجهاد على الضغط والتشوه خطية حتى الوصول للاجهاد $0.4 f_{cm}$ ، حيث المقاومة الاسطوانية المميزة للبيتون على الضغط (Cylinder Compressive Strength)، ويتحول بعدها سلوك المادة للسلوك اللاخطي (Inelastic Strength) وصولاً للمقاومة الحدية f_{cm} والموافقة للتشوه النسبي ϵ_{c1} ، حيث تنخفض بعدها المقاومة لتصل للانهايار عند التشوه النسبي الحدي ϵ_{cu1} .



الشكل (5-6): مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون على الضغط (Eurocode2, 2004).

وتحدد قيم f_{cm} , E_{cm} , ϵ_{c1} , ϵ_{cu1} وفق علاقات الكود الأوروبي (eurocode2, 2004 – pag 29) التالية :

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad (6-5)$$

$$\text{for } \leq C50/60 : E_{cm} = 22 * \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{2/3} \quad (6-6)$$

$$\text{for } > C50/60 : E_{cm} = 2.12 * \ln\left(1 + \frac{f_{cm}}{10}\right) \quad (6-7)$$

$$\epsilon_{c1} = 0.7 * f_{cm}^{0.31} * 10^{-3} \leq 2.8 \quad (6-8)$$

$$\text{for } f_{ck} < 50 : \epsilon_{cu1} = 0.0035$$

$$\text{for } f_{ck} \geq 50 : \epsilon_{cu1} = (2.8 + 27 * ((98 - f_{cm}) / 100)^4) * 10^{-3} \quad (6-9)$$

حيث f_{ck} المقاومة الاسطوانية المميزة، أما f_{cm} فهي المقاومة الاسطوانية المميزة والنتيجة عن اختبار العينات على الضغط في الجدول (4-5)، مع اعتبار معامل بواسون للبيتون مساوي 0.2 .

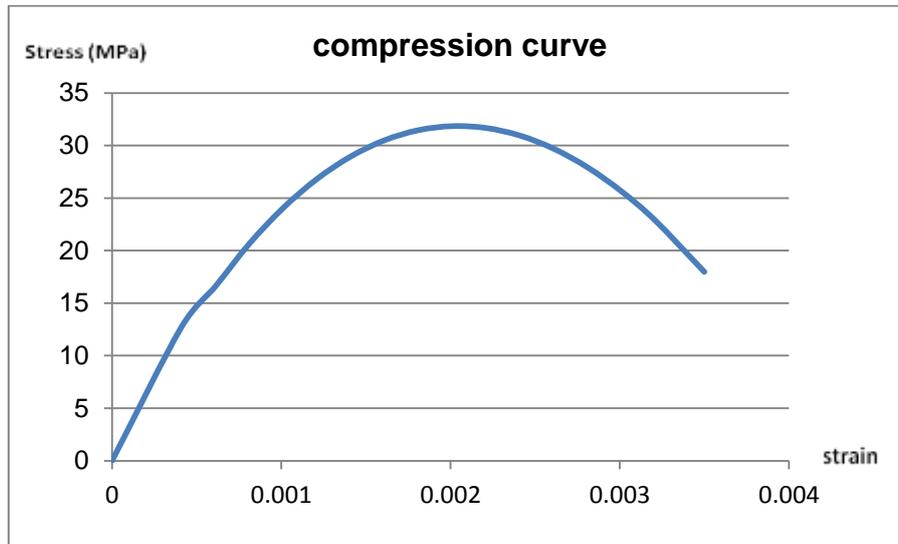
ومن أجل تحديد قيم اجهاد الضغط، لنقاط منحنى الاجهاد – التشوه للبيتون على الضغط تم فرض قيم لـ ϵ_c بحيث $0 < \epsilon_c < \epsilon_{cu1}$ ، وحساب قيم σ_c الموافقة من العلاقات التالية والواردة في (eurocode2, 2004 – pag 33) :

$$\sigma_c = f_{cm} * \left(\frac{k\eta - \eta^2}{1 + \eta(k-2)}\right) \quad (6-10)$$

$$\eta = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \quad (6-11)$$

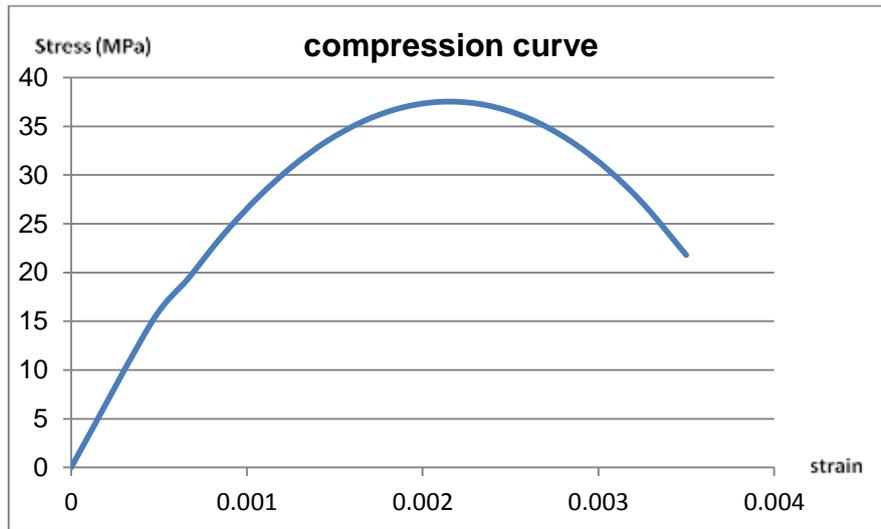
$$k = 1.05 * E_{cm} * \frac{\epsilon_{c1}}{f_{cm}} \quad (6-12)$$

وكان مخطط الإجهاد - التشوه للبيتون العادي دون إضافات مبين في الشكل (6-6):



الشكل (6-6): مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون العادي دون اضافات على الضغط.

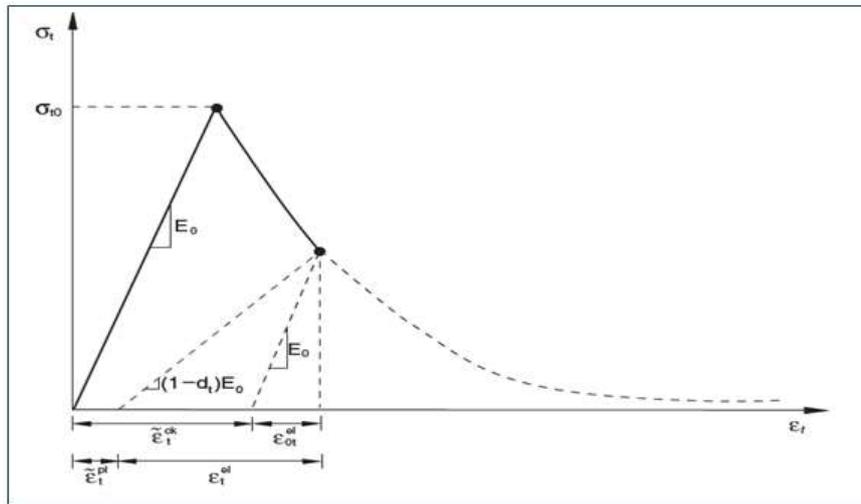
أما مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون مع الألياف الفولاذية مبين في الشكل (7-6) :



الشكل (7-6): مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون مع الألياف الفولاذية .

6-3-5-2- مقاومة البيتون على الشد:

في حالة الشد الأحادي المحور، يبدأ سلوك البيتون بشكل خطي مرن حتى الوصول إلى إجهاد الانهيار (Failure stress) على الشد σ_{t0} كما في الشكل (8-6)، والموافق لتشكل أول شق دقيق (micro-cracking) في البيتون، بعدها يتوالى تشكل الشقوق واتساعها وتتصل مع بعضها مترافقة مع انحدار في علاقة الإجهاد-التشوه (Strain softening)، والتي تتميز بزيادة التشققات واتساعها وتصبح قابلة للتمييز بالعين المجردة وتبدأ الإجهادات بالانخفاض مع استمرار التشوهات بالزيادة مما يسبب ضعف المادة للوصول إلى الإنهيار، وتمثل هذه المرحلة مرحلة ما بعد الإنهيار (Post-Failure) أو مرحلة البيتون المتشقق، وتسمى بمرحلة تصلب الشد (Tension Stiffening).



الشكل (8-6): مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون على الشد (Abaqus 6.12-Dokumentation).

نتيجة لتشكّل الشقوق في هذه المرحلة تنخفض القساوة المرنة للمادة ولكن بإهمال تأثير انخفاض القساوة المرنة المذكور آنفاً، وفي حال الحمل عند أي نقطة في هذه المرحلة تعود المادة بميل E_0 ، حيث E_0 هو معامل المرونة الابتدائي غير المتشقق للمادة (initial undamaged modulus)، فينشأ ما يسمى بتشوه التشققات على الشد $\tilde{\epsilon}_t^{ck}$ (Cracking Strain)، (الشكل-8) (6)، ويعطى بالعلاقة:

$$\epsilon_t^{ck} = \epsilon_t - \epsilon_{ot}^{el} \quad (6-13)$$

ويعرف بأنه الفرق بين التشوه الكلي للمادة والتشوه المرن ϵ_{ot}^{el} الموافق للمادة قبل التشقق والذي يعطى بدوره بالعلاقة:

$$\epsilon_{ot}^{el} = \frac{\sigma t}{E_0} \quad (6-14)$$

يعتبر تشوه التشققات على الشد ϵ_t^{ck} (Cracking Strain) من المعطيات الأساسية الواجب تعريفها في الـ ABAQUS لنمذجة مرحلة تصلب الشد، حيث يتم تعريف مرحلة تصلب الشد بشكل جدول من حقلين: الحقل الأول الإجهادات الشادة σ_t الموافقة لكل تشوه، ويضم الحقل الثاني تشوه التشققات على الشد ϵ_t^{ck} .

يحدد انخفاض القساوة المرنة للمادة على الشد بالمعامل d_t والذي يغير من تصرف المادة عند إزالة الحمل عند أي نقطة في مرحلة تصلب الشد، حيث تعود المادة بميل $(1-dt).E_0$ ، أصغر من الميل السابق E_0 ، ويتوافق ذلك مع ظهور تشوهات لدنة على الشد (tensile equivalent plastic strains) في المادة تعرف بـ ϵ_t^{pl} .

يعتمد الـ ABAQUS قيمة التشوه اللدن ϵ_t^{pl} للمادة كمعيار لتقييم سطح الإنهيار (Failure Surface) وميكانيكية إنهاء المادة ويقوم بحسابه بشكل آلي من خلال العلاقة:

$$\epsilon_t^{pl} = \epsilon_t^{ck} - \frac{dt}{(1-dt)} \frac{\sigma t}{E_0} \quad (6-15)$$

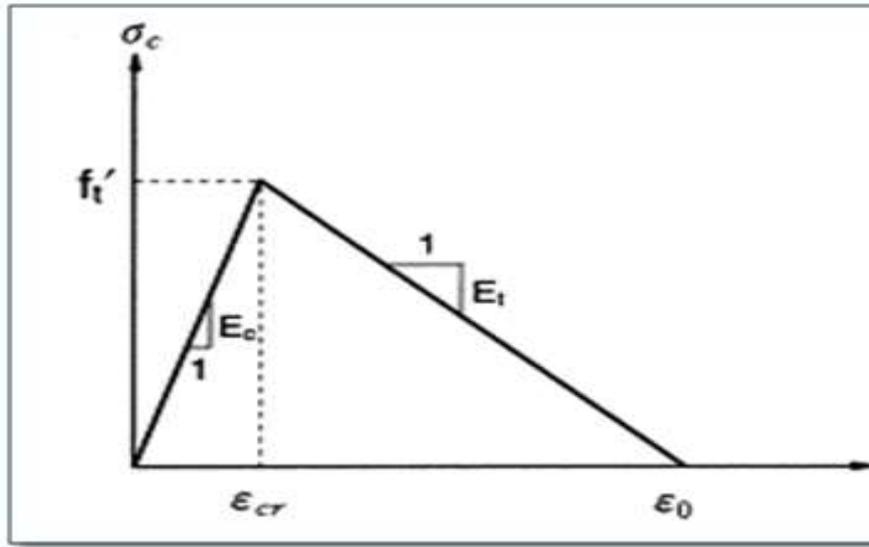
يمكن حساب المعامل d_t من خلال العلاقة (Jankowiak and Lodygowski, 2005):

$$d_t = \frac{\sigma_{to} - \sigma t}{\sigma_{to}} < 0.99 \quad (6-16)$$

وتتراوح قيمته بين الصفر، عندما تكون المادة ما تزال سليمة غير متشققة، إلى الواحد عندما تنهار المادة بشكل كامل، ويعتبر من المعطيات الأساسية في الـ ABAQUS لتعريف انحدار القساوة المرنة للمادة على الشد، حيث يتم تعريف انخفاض القساوة المرنة للمادة على الشد

في مرحلة تصلب الشد بشكل جدول من حقلين: يعرف الحقل الثاني المعامل d_t بينما يعرف الحقل الأول الإجهادات σ_t الموافقة لكل تشوه.

تم في هذه الدراسة اعتماد مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون على الشد وفق الكود الأوروبي (Eurocode2, 2004) كما هو مبين في الشكل (6-9)، والذي يعتبر العلاقة بين الإجهاد على الشد والتشوه خطية بميل E_0 حتى الوصول للإجهاد f_t الذي يترافق مع نشوء الشق الأول في البيتون مع تشوه في البيتون قيمته ϵ_{cr} ، وبعدها يسلك البيتون سلوكاً لاخطياً حيث تنخفض الاجهادات بشكل خطي بميل E_t مع استمرار التشوهات بالزيادة للوصول إلى التشوه الأعظمي ϵ_0 .



الشكل (6-9): مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون على الشد (Eurocode2, 2004).

تم تحديد النقاط الحدية في المنحني وفق علاقة الكود الأوروبي (eurocode2, 2004 – pag 29) التالية:

$$f'_t = f_{tmax} = 0.3 * (f_{ck})^{0.3} \quad (6-17)$$

$$\epsilon_{cr} = f'_t / E_0 \quad (6-18)$$

واعتبر بأن البيتون يخرج عن العمل عند وصول فولاذ التسليح للسيلان أي :

$$\epsilon_0 = f_y / E_s \quad (6-19)$$

تم رسم المخطط باعطاء قيم لـ ϵ بحيث : $0 < \epsilon < \epsilon_0$ ، وتم حساب قيم اجهاد البيتون

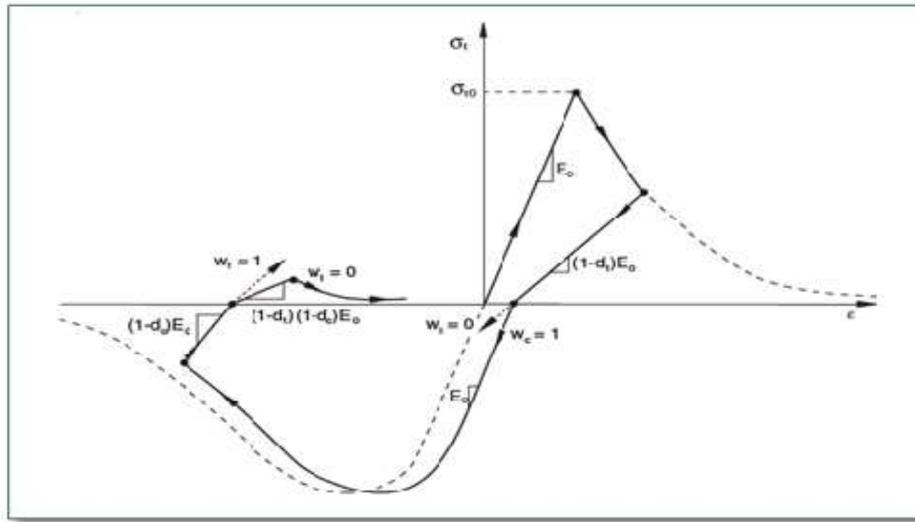
على الشد f_t من معرفة ميل كل من مستقيمي التابع $f_t - \epsilon$ ، وتم حساب d_t من العلاقة :

$$d_t = \frac{ftmax-ft}{ftmax} \quad (6-20)$$

وكانت قيم التشوه اللامرن ϵ_{in} تعطى بالعلاقة :

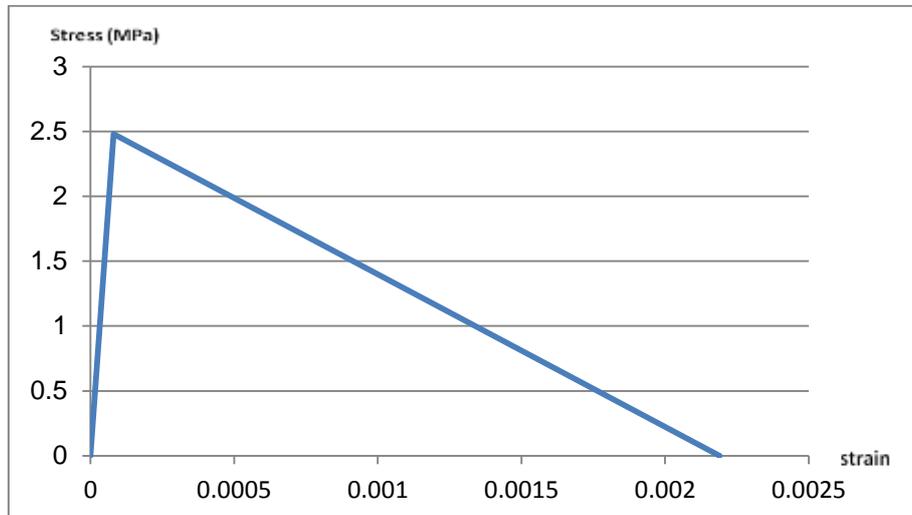
$$\epsilon_{in} = \epsilon_t - \epsilon_{el} \quad (6-21)$$

تحت تأثير التحميل الدوري المحوري (Cyclic Load) يكون سلوك الببتون معقداً، ويسبب انفتاح وانغلاق في التشققات نتيجة تغير جهة الحمولة المطبقة، وقد لوحظ تجريبياً أنه يتم استرداد جزء من القساوة المرنة (Recovery of the Elastic Stiffness) عند تغير جهة الحمولة من الشد إلى الضغط، والتي تسبب انغلاق تشققات الشد، وبالتالي استرداد جزء من القساوة على الضغط، ويوضح الشكل (10-5) التحميل اللاخطي (شد-ضغط-شد) وتؤخذ القيم الافتراضية لمعاملات استرداد القساوة $W_t = 0$, $W_c = 1$.



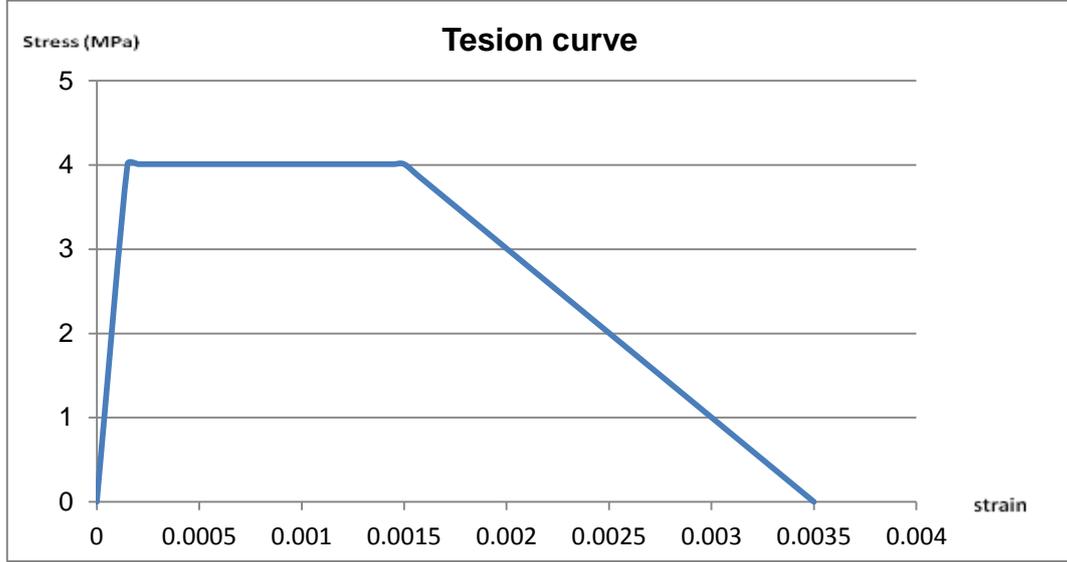
الشكل (10-6): التحميل الدوري اللاخطي (صغط - شد - ضغط) (Abaqus 6.12-Documentation).

وكان مخطط الإجهاد- التشوه للببتون العادي دون إضافات كما في الشكل (11-6) :



الشكل (11-6): مخطط الاجهاد - التشوه للببتون العادي على الشد .

أما مخطط الإجهاد-التشوه للبيتون مع الألياف الفولاذية (CEB-FIP, 2010)، فيتم تحديد نقطته الحدي الأولى بالعلاقين (6-18)، (6-17)، ويثبت الاجهاد مع ازدياد التشوه وصولاً لتشوه قيمته $\epsilon_{cr} = 10$ ، ليخرج البيتون عن العمل عند تشوه قيمته الحدية 0.0035 ، كما هو مبين بالشكل (12-6) :

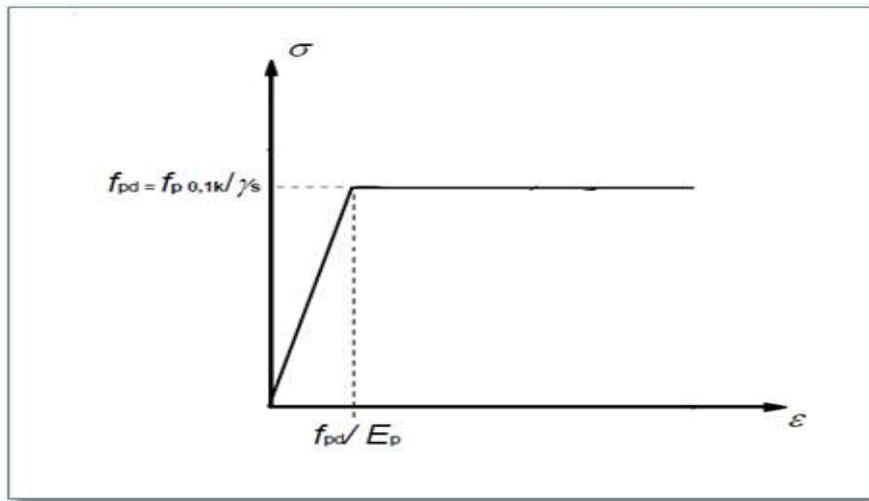


الشكل (12-6): مخطط الاجهاد – التشوه للبيتون مع الألياف الفولاذية على الشد .

3-5-3-6- مقاومة الفولاذ على الشد: (CIP-FIP, Model code)

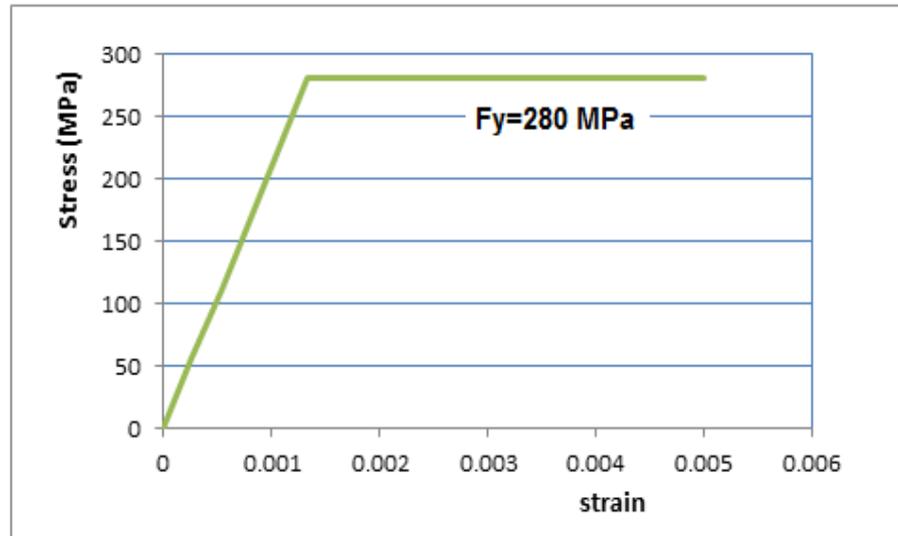
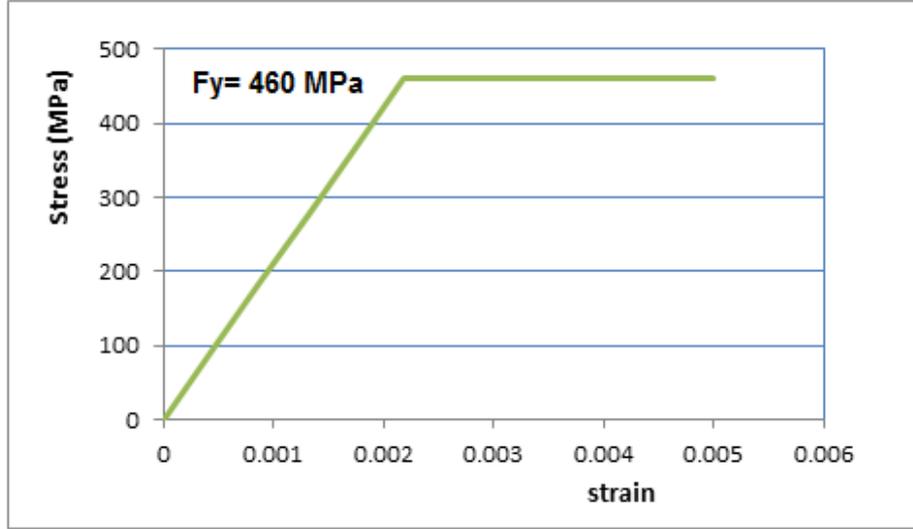
تم فرض سلوك فولاذ التسليح على الشد لدناً مثالياً (Perfectly Plastic) كما في الشكل

$$(13-6)، حيث: \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$



الشكل (13-6): مخطط الاجهاد – التشوه النسبي لفولاذ التسليح على الشد (Eurocode2, 2004).

تم رسم مخطط الاجهاد – التشوه لفولاذ التسليح المعتمد في النمذجة والموافق لحد السيالان لفولاذ التسليح الطولي والعرضي المعتمد في الدراسة التجريبية، والمبين في الجدول (5-6)، وباعتماد معامل مرونة الفولاذ $2.1 \cdot 10^5$ Mpa ، كانت المخططات موضحة بالشكل (6-14) .



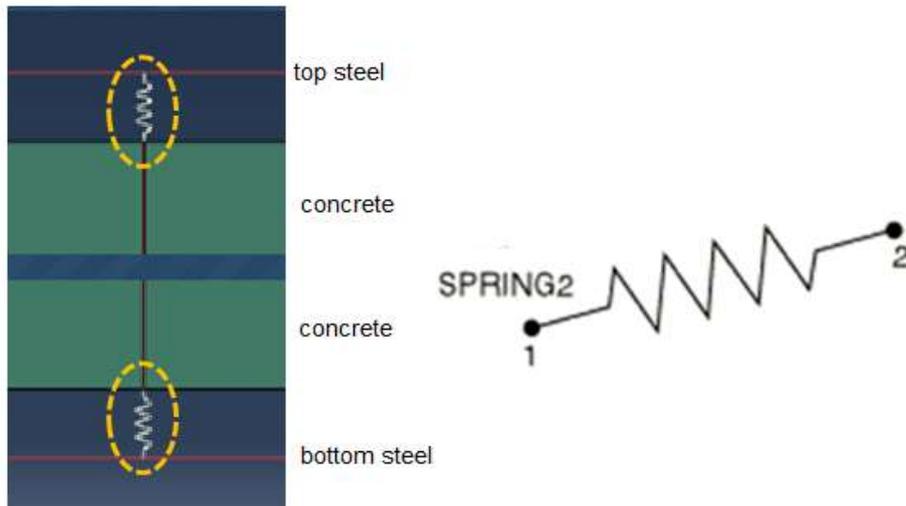
الشكل (6-14): مخطط الاجهاد – التشوه النسبي لفولاذ التسليح على الشد.

6-3-6- التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح :

يعتبر سلوك التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح في العناصر البيتونية المسلحة ظاهرة مهمة تسمح للقوى الطولية بالانتقال من فولاذ التسليح إلى البيتون المحيط به، ويعد توصيف سلوك التماسك ذو أهمية كبيرة عند دراسة البيتون المتشقق، فعند ظهور الشق الأول تتحرر الإجهادات في البيتون بالقرب من الشق الحاصل وتزداد إجهادات الشد في حديد التسليح بشكل كبير وتنتقل هذه الإجهادات إلى البيتون المحيط من خلال سطوح التماسك، وبالتالي يعتبر وجود

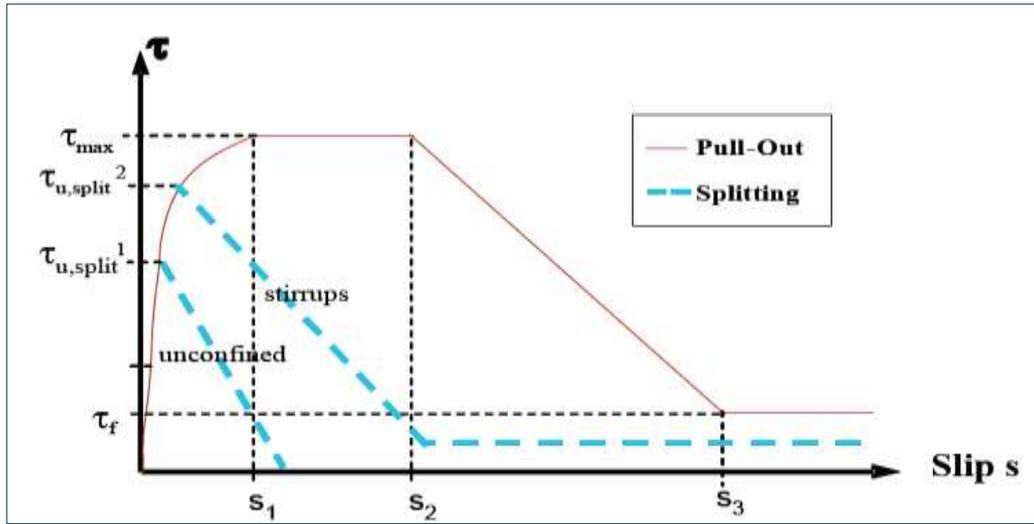
التماسك بين مادتي البيتون والفولاذ هو الشرط الأساسي للعمل المشترك بينهما، وحيث أنه بدون التماسك يصبح فولاذ التسليح غير قادر على مقاومة أي قوى خارجية ويتصرف الجائز البيتوني كعنصر بيتوني صافي، وبذلك نجد بأن التشوه الناتج في قضبان التسليح ضمن العناصر البيتونية المسلحة تكون أصغر من التشوهات الناتجة عن نفس الحمولة فيما لو كانت هذه القضبان موجودة بشكل منفصل عن البيتون، وبسبب أهمية التماسك فان علاقة التماسك – الانتقال تعتبر من أكثر الأمور التي يتم الاهتمام بها في التحليل .

اعطت الأبحاث دراسات متعددة لتوصيف مكونات علاقة اجهاد التماسك – الانتقال، واستخدمت عدة طرق لتمثيل طبيعة هذه العلاقة في مجال التحليل باستخدام طريقة العناصر المحدودة، حيث استخدم برنامج Abaqus نموذج spring 2 (Abaqus 6.12document) المبين في الشكل (6-15) وهو النابض الذي يصل بين عقدتين ويتحرك وفقاً لدرجة حرية كل منهما، ويتصرف وفقاً لإتجاه ثابت .



الشكل (6-15): شكل النابض المستخدم ، وتوضعه بين الفولاذ والبيتون ضمن النموذج .

وتمثل علاقة اجهاد التماسك – الإنزلاق (CEB-FIB, 2010) بالمنحني المبين في الشكل (6-16)، حيث تبدأ اجهادات التماسك والإنزلاق بالتزايد بشكل لاخطي حتى الوصول إلى قيمة اجهاد التماسك الأعظمي τ_{max} ويكون عندها الانتقال S1، وتليها مرحلة يثبت فيها اجهاد التماسك وصولاً إلى انتقال S2، بعدها يبدأ الإجهاد بالإنخفاض مع ازدياد الانتقال وصولاً إلى اجهاد أصغري τ_f مترافق مع انتقال S3، تثبت بعدها الإجهادات عند القيمة الأصغرية مع ازدياد الانتقال



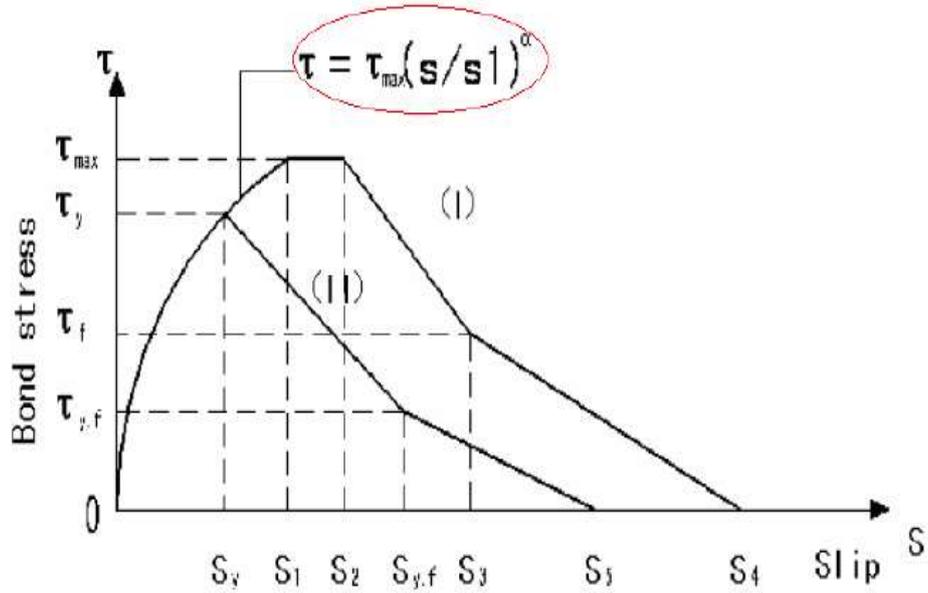
الشكل (16-6): منحنى التماسك – الإنزلاق بين البيتون وفولاذ التسليح (CEB-FIB, 2010).

وتحدد القيم الحدية للمنحنى وفق العلاقات الواردة في الجدول (1-6):

الجدول (1-6): علاقات المنحنى التماسك – الإنزلاق بين البيتون وفولاذ التسليح (CEB-FIB, 2010).

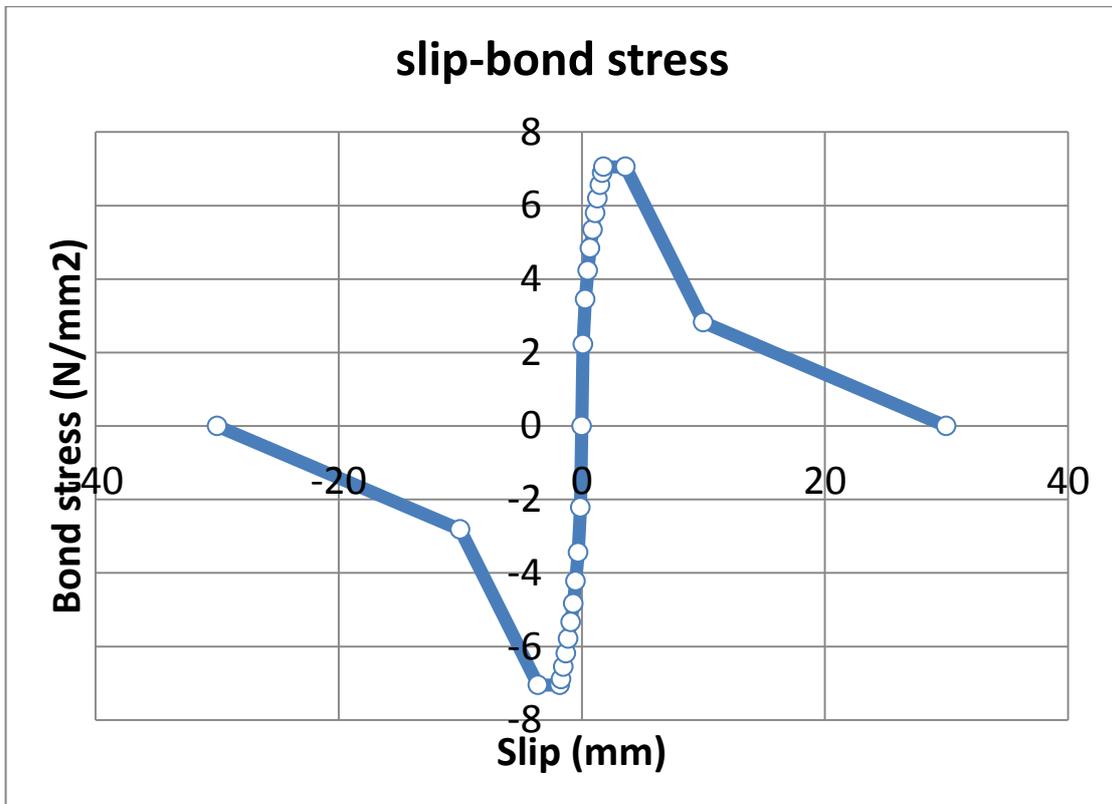
	1	2	3	4	5	6
	Pull-Out (PO)		Splitting (SP)			
	$\epsilon_s < \epsilon_{s,y}$		$\epsilon_s < \epsilon_{s,y}$			
	Good bond cond.	All other bond cond.	Good bond cond.		All other bond cond.	
			unconfined	stirrups	unconfined	stirrups
τ_{max}	$2.5\sqrt{f_{ck}}$	$1.25\sqrt{f_{ck}}$	$7.0 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{20}\right)^{0.25}$	$8.0 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{20}\right)^{0.25}$	$5.0 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{20}\right)^{0.25}$	$5.5 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{20}\right)^{0.25}$
s_1	1.0mm	1.8mm	$s(\tau_{max})$	$s(\tau_{max})$	$s(\tau_{max})$	$s(\tau_{max})$
s_2	2.0mm	3.6mm	s_1	s_1	s_1	s_1
s_3	$c_{clear}^1)$	$c_{clear}^1)$	$1.2s_1$	$0.5c_{clear}^1)$	$1.2s_1$	$0.5c_{clear}^1)$
α	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
τ_f	$0.40\tau_{max}$	$0.40\tau_{max}$	0	$0.4\tau_{max}$	0	$0.4\tau_{max}$

لإلغاء التماسك بين البيتون والفولاذ بعد الوصول إلى اجهاد التماسك الأصغري τ_f تم اعتبار الإجهاد معدوم عند انزلاق $S_4=3S_3$ (CEB-FIP,2000)، وذلك بتغيير خطي من نقطة التماسك الأصغري والانتقال S_3 ، إلى الإجهاد المعدوم والانتقال S_4 كما يبين الشكل (17-6).



الشكل (17-6): منحنى التماسك - الإنزلاق بين البيتون وفولاذ التسليح (CEB-FIB, 2010).

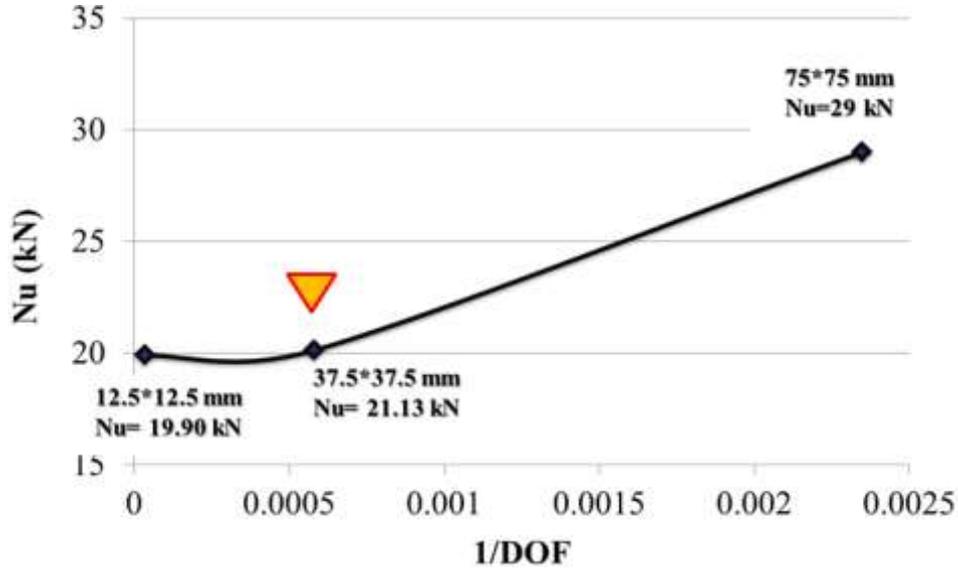
تم تحديد منحنى التماسك - الإنزلاق في نموذج الدراسة والمبين في الشكل (6-18)، باستخدام العلاقات السابقة (الجدول 6-1)، كما تم التعبير عن ظاهرة التماسك في النمذجة باستخدام عناصر اتصال، هي نوابض من نوع 2 spring المبين في الشكل (6-15).



الشكل (18-6): منحنى التماسك - الانتقال بين البيتون وفولاذ التسليح لنموذج التحليل.

7-3-6- دراسة أثر تقارب الشبكة (Mesh Convergence):

تعتبر طريقة العناصر المحدودة من الطرق العددية التي تعتمد على أبعاد العناصر المحدودة المستخدمة في التحليل، وللوصول إلى الأبعاد الأكثر ملائمة من أجل زمن الحل الاقتصادي مع دقة النتائج، تم دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج المدروس والمبين في الشكل (19-6)، والذي يمثل المحور الأفقي فيه مقلوب عدد درجات الحرية (1/DOF) للنموذج المدروس، ويمثل المحور الشاقولي تغيير قوة الانهيار N_u ، وذلك من أجل تقسيمات شبكة (Mesh) مختلفة.



الشكل (19-6): دراسة أثر تقارب تقسيم الشبكة للنموذج المدروس.

نلاحظ من الشكل (19-6)، عند استخدام العنصر الفراغي C3D8R بأبعاد 75*75*75 mm كانت قوة الانهيار 29 kN ، وباستخدام عنصر فراغي بأبعاد 37.5*37.5*37.5 mm كانت القوة 20.14 kN، أما عند استخدام أبعاد 12.5*12.5*12.5 فكانت القوة 19.90 kN. وبالتالي فإن اعتماد العنصر الفراغي 37.5*37.5*37.5 mm كاف للحصول على حل دقيق، ولاسيما وأنه باعتماد أبعاد أكبر اعطى حلاً غير دقيق حيث كانت قوة الانهيار 29 kN، أما باعتماد أبعاد أصغر كانت حمولة الانهيار متقاربة مع الحمولة الناتجة من الأبعاد المعتمدة مع عدم اقتصادية في زمن الحل.

8-3-6- النماذج المدروسة :

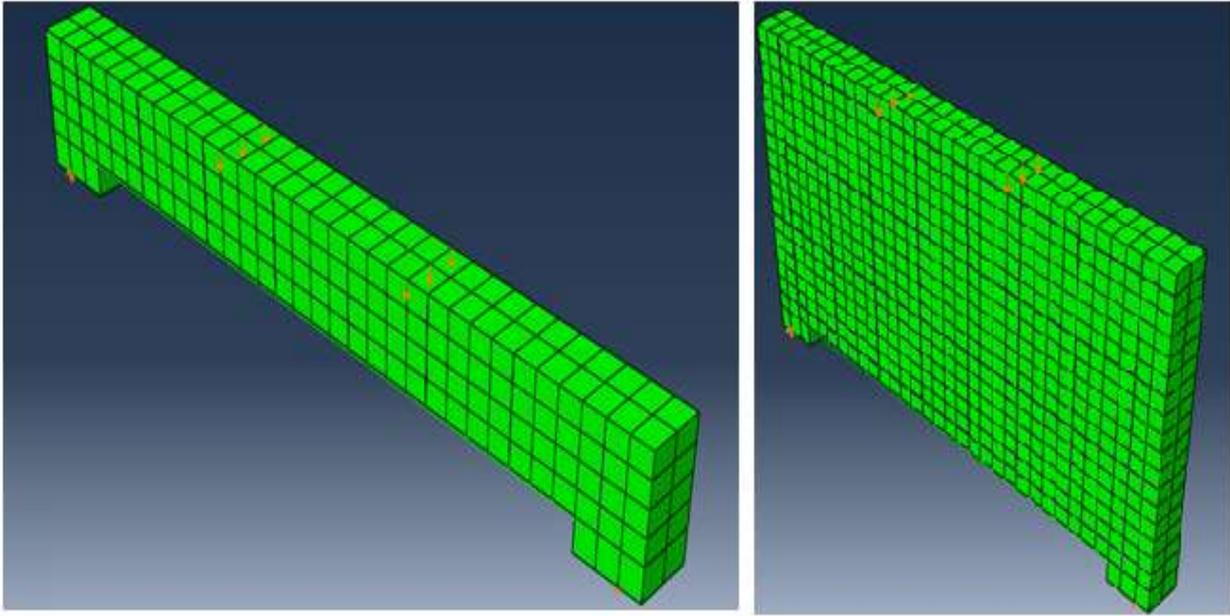
تم دراسة نماذج مماثلة لعينات الجوائز المختبرة تجريبياً وذلك لجوائز :

- عادية أبعادها 75*150*1200 mm .

- عميقة أبعادها 75*650*1200 mm .

منفذة من البيتون العادي دون إضافات، وأخرى من البيتون مع ألياف فولاذية، وذلك لجوائز بتسليح كامل (انعطاف + قص)، وأخرى بتسليح انعطاف فقط دون تسليح قص.

ويبين الشكل (6-20) نماذج هذه الجوائز مبيناً عليها المساند وفقاً لشروط التجربة (ثابت ومتدرج)، وأماكن تطبيق الحمولة.

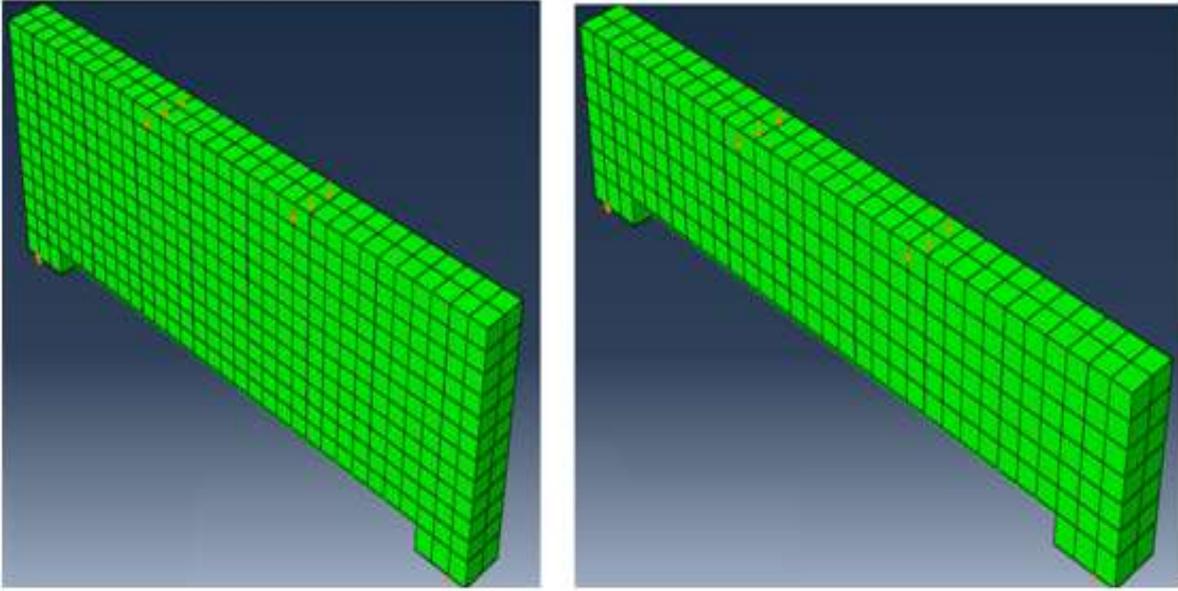


b- الجائز العادية بارتفاع $h=150$ mm

a- الجائز العميق بارتفاع $h=650$ mm

الشكل (6-20): نماذج الجوائز المختبرة .

تمت نمذجة جوائز إضافية بأبعاد 75*240*1200 mm، وأخرى بأبعاد 75*400*1200 mm، وذلك لدراسة تأثير كل من الإضافات وتسليح القص على حمولة، وشكل الإنهيار، للجوائز تبعاً لتغير نسبة L/h ، ويبين الشكل (6-21) نماذج الجوائز الإضافية.



الشكل (6-21): نماذج الجوائز الاضافية .

4-6- نتائج الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة:

تم تحليل كل من الجوائز المدروسة، والمختبرة تجريبياً، وهي جوائز عادية بأبعاد $1200 \times 150 \times 75$ mm، بتسليح كامل (انعطاف+قص)، وأخرى بتسليح انعطاف فقط، باستخدام بيتون عادي دون إضافات، وأخرى بيتون مع ألياف فولاذية .

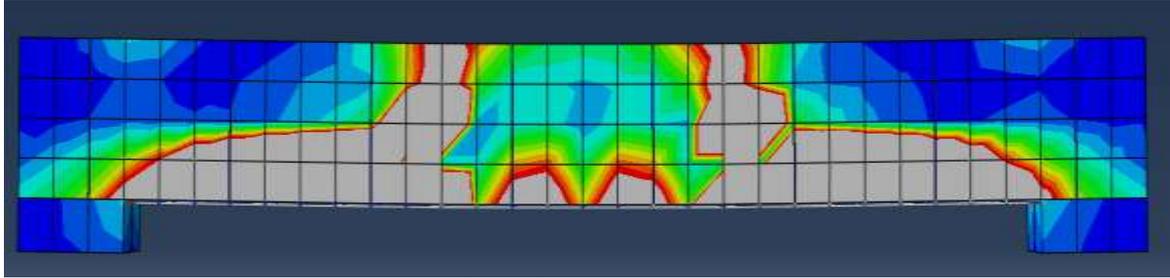
يبين الجدول (6-2) حمولة الإنهيار للجوائز العادية ($h=150$ mm) بطريقة العناصر المحدودة باستخدام برنامج أباكوس، مقارنة مع حمولة الإنهيار التجريبية.

الجدول (6-2): حمولة الإنهيار للجوائز العادية ($h=150$ mm) في كل من الدراسة التحليلية والتجريبية.

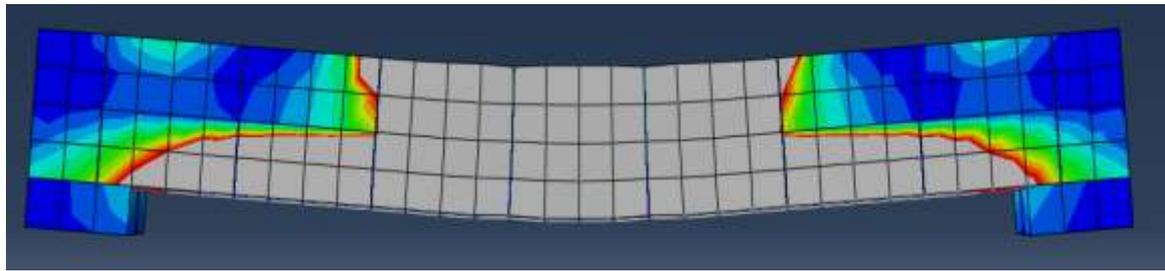
نوع الجائز	ارتفاع الجائز	حمولة الإنهيار		نسبة الفرق عن التجربة
		تحليل	تجربة	
B ₁ -0 جائز عادي بتسليح كامل – دون إضافات	150	57.74	53	8.9 %
B ₁ -1 جائز عادي بتسليح كامل – مع ألياف فولاذية	150	67.32	67	0.5 %
B ₂ -0 جائز عادي بتسليح إنعطاف فقط – دون إضافات	150	45.96	43	6.9 %
B ₂ -1 جائز عادي بتسليح إنعطاف فقط – مع ألياف فولاذية	150	63.24	57	10.95 %

وكان شكل الجائز البيتوني العادي بتسليح كامل دون إضافات (B₁-0) عند الحمولة القصوى، وشكل الإنهيار بالمقارنة مع شكل جائز التجربة مبين بالشكل (6-22).

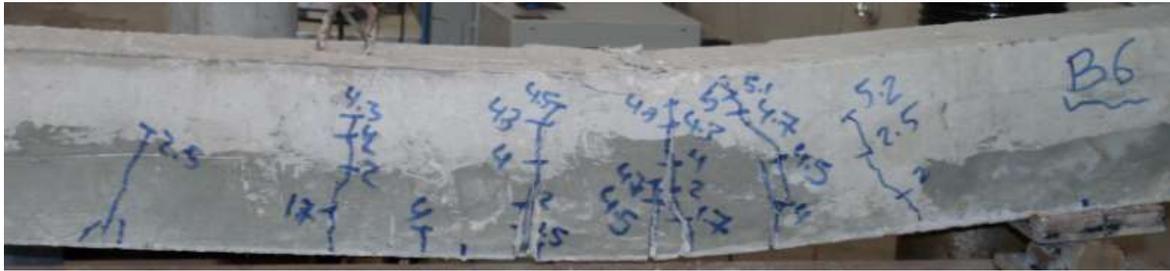
تمثل خطوط الكونتور التشوهات النسبية الرئيسية في البيتون، اللازمة لدراسة تشققات البيتون، أما المنطقة الرمادية فتمثل منطقة الانهيار الموافقة لتشوهات نسبية أكبر من 0.003.



a- انتشار التشققات في الجائز عند الحمولة القصوى.



b- انتشار التشققات في الجائز عند الإنهيار الكلي.

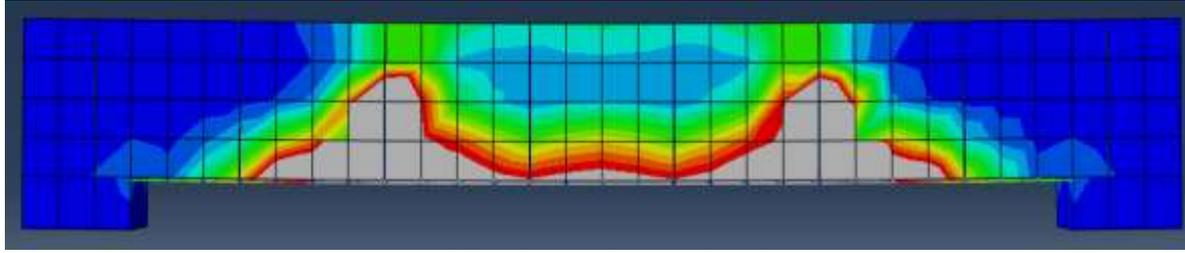


c- الجائز البيتوني العادي المختبر.

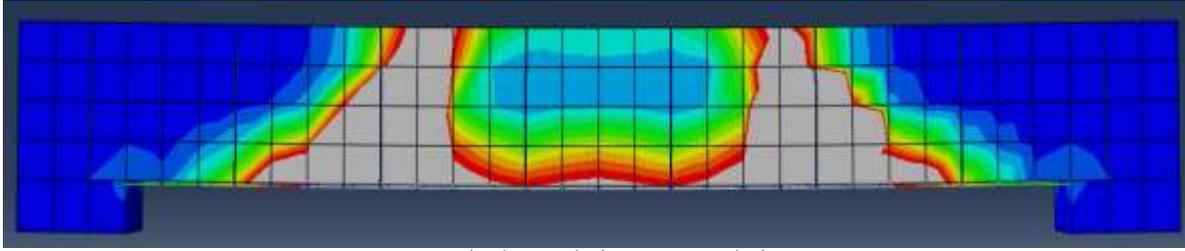
الشكل (22-6): الجائز العادي بتسليح كامل دون إضافات (B₁-0).

ففي الجوائز العادية بتسليح كامل دون إضافات، بدأت تشققات الإنعطاف بالظهور بين نقطتي تطبيق الحملين المركزيين عند حمولة % 28-38 من حمولة الإنهيار، ثم تلتها تشققات القص بالظهور عند حمولة % 38- 53 من حمولة الإنهيار، وصولاً لحمولة الإنهيار القصوى في الجدول (2-6)، والتي ترافقت مع وصول التشققات لكامل ارتفاع الجائز كما يظهر في الشكل (a-22-6)، حيث تشابه شكل الإنهيار النهائي بين الدراستين التجريبية والتحليلية، والذي تميز بتركز تشققات الإنعطاف في ثلث المجاز الوسطي .

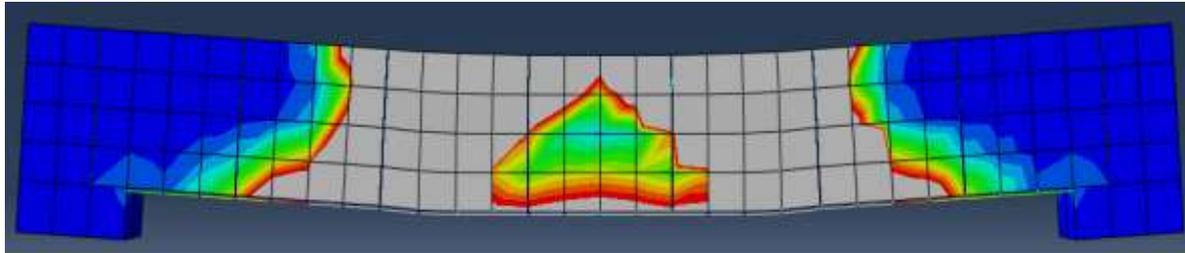
كما ويبين الشكل (23-6)، شكل الجائز البيتوني العادي بتسليح كامل مع ألياف فولاذية (B₁-1) عند الحمولة القصوى، وشكل الإنهيار بالمقارنة مع شكل جائز التجربة .



-a انتشار التشققات في الجائز عند الحمولة القصوى.



-b شكل الجائز عند وصول التشققات لكامل الارتفاع.



-c انتشار التشققات في الجائز عند الإنهيار الكلي.

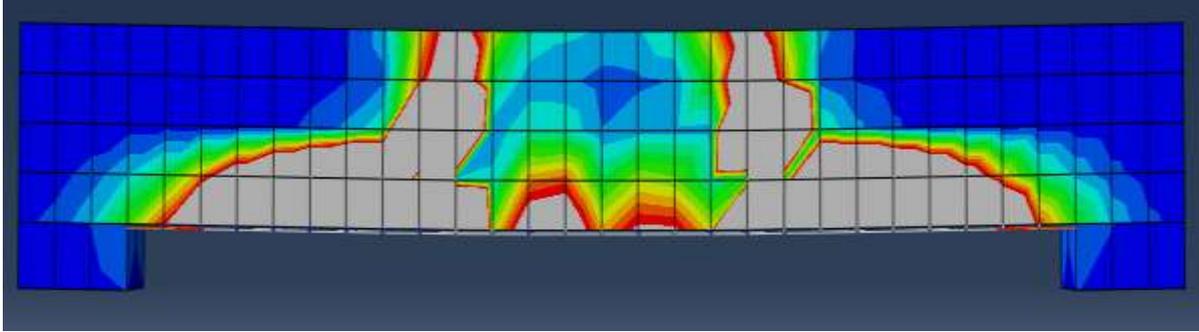


-d الجائز البيتوني العادي المختبر.

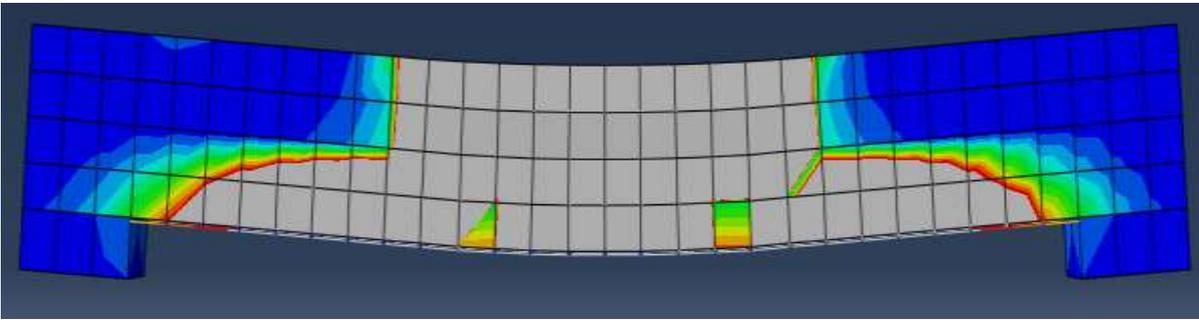
الشكل (23-6): الجائز العادي بتسليح كامل مع ألياف فولاذية (B₁-1).

في الجوائز البيتونية العادية بتسليح كامل، مع ألياف فولاذية، بدأت تشققات القص بالظهور قرب المساند عند نسبة 34-46 % من الحمولة القصوى، تلتها تشققات الإنعطاف في الظهور عند نسبة 44-65 % من الحمولة القصوى، وصولاً لحمولة الإنهيار المبينة في الجدول (2-6)، والتي كانت قبل وصول التشققات إلى كامل ارتفاع الجائز كما في الشكل (a-23-6)، وبذلك زادت مطاوعة الجائز لحين وصل الشق لكامل الارتفاع كما في الشكل (b-23-6)، وبدء تشكل المفصل اللدن، وذلك خلافاً للجوائز دون ألياف فولاذية حيث وصلت التشققات لكامل الارتفاع عند حمولة الانهيار كما في الشكل (a-22-6)، وهذا ما يظهر تأثير الألياف الفولاذية في تحسين أداء الجوائز البيتونية في مرحلة بعد الوصول للحمولة الحدية، وتشكل المفصل اللدن.

كما ويبين الشكل (24-6)، شكل الجائز البيتوني العادي بتسليح انعطاف فقط ودون إضافات فولاذية (B₂-0) عند الحمولة القصوى، وشكل الإنهيار بالمقارنة مع شكل جائز التجربة.



a- انتشار التشققات في الجائز عند الحمولة القصوى.



b- انتشار التشققات في الجائز عند الانهيار الكلي.

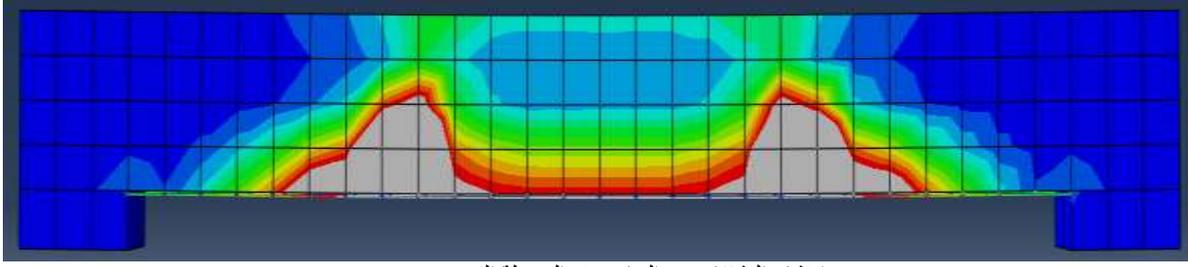


c- الجائز البيتوني العادي المختبر.

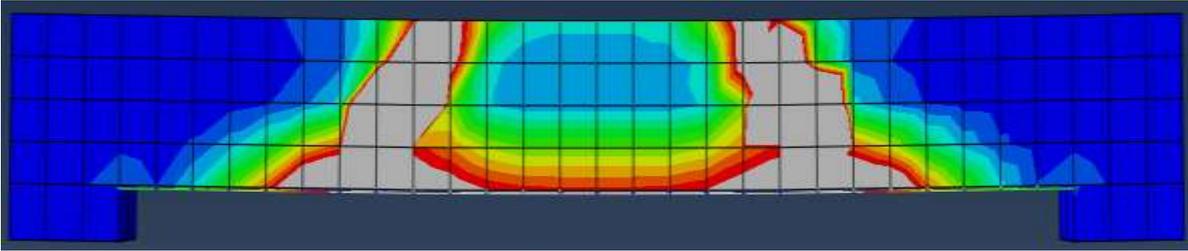
الشكل (24-6): الجائز العادي بتسليح انعطاف فقط دون اضافات (B₂-0).

ففي الجوائز العادية بتسليح انعطاف فقط دون إضافات، بدأت تشققات القص القطرية بالظهور عند حمولة % 30-33 من حمولة الإنهيار، ثم تلتها تشققات الانعطاف بالظهور عند حمولة % 40- 45 من حمولة الإنهيار، وصولاً لحمولة الإنهيار القصوى في الجدول (2-6)، والتي تراكمت مع وصول التشققات لكامل ارتفاع الجائز كما يظهر في الشكل (a-24-6)، حيث تشابه شكل الإنهيار النهائي بين الدراستين التجريبية والتحليلية، والذي تميز بتركز التشققات على عرض عنصرين يصل كل منهما بين مسند الجائز ونقطة تطبيق الحمولة الأقرب له.

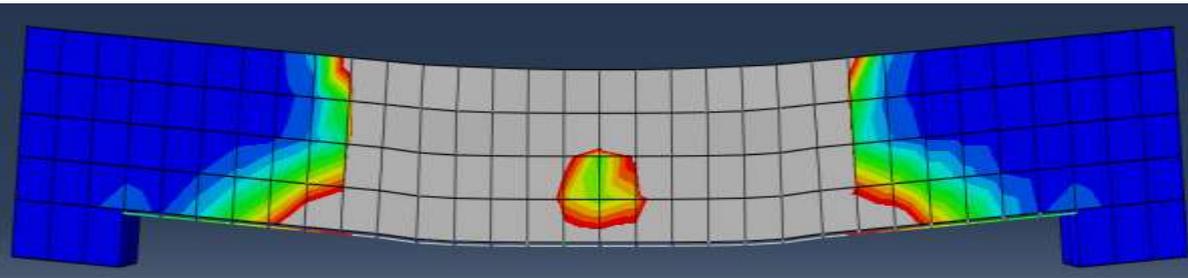
كما يبين الشكل (6-25)، الجائز البيتوني العادي بتسليح انعطاف فقط مع ألياف فولاذية (B₂-1) عند الحمولة القصوى، وشكل الإنهيار بالمقارنة مع شكل جائز التجربة.



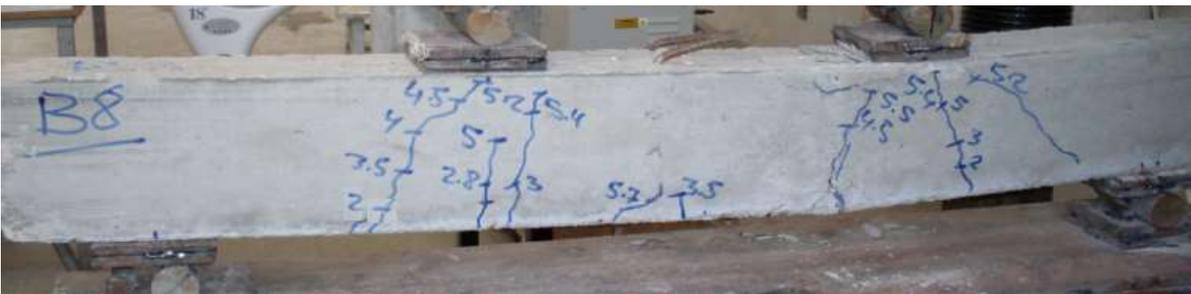
a- انتشار التشققات في الجائز عند الحمولة القصوى.



b- شكل الجائز عند وصول التشققات لكامل الارتفاع.



c- انتشار التشققات في الجائز عند الانهيار الكلي.

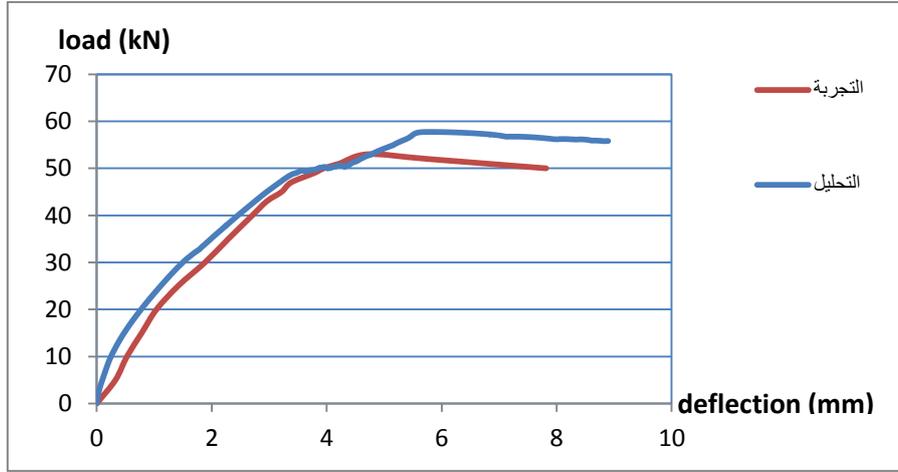


d- الجائز البيتوني العادي المختبر.

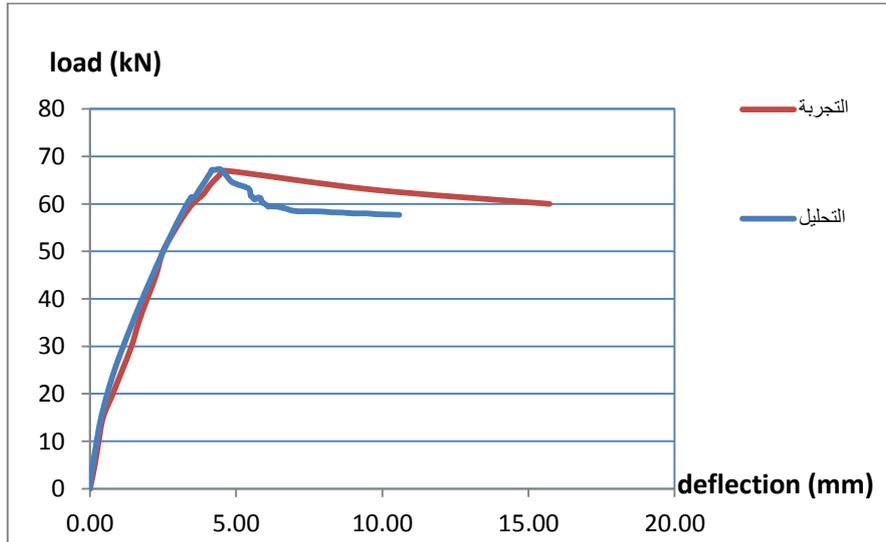
الشكل (6-25): الجائز العادي بتسليح انعطاف فقط مع ألياف فولاذية (B₂-1).

حيث يظهر الوصل للحمولة القصوى قبل وصل التشققات لكامل ارتفاع الجائز، كما أنه بدأت تشققات القص بالظهور عند نسبة حمولة 38-40% من حمولة الإنهيار، أما تشققات الإنعطاف فقد بدأت عند حمولة 58-62% من حمولة الإنهيار، وهذا ما يبين دور الألياف الفولاذية في تحسين أداء الجوائز البيتونية في مرحلة بعد الحمولة الحدية.

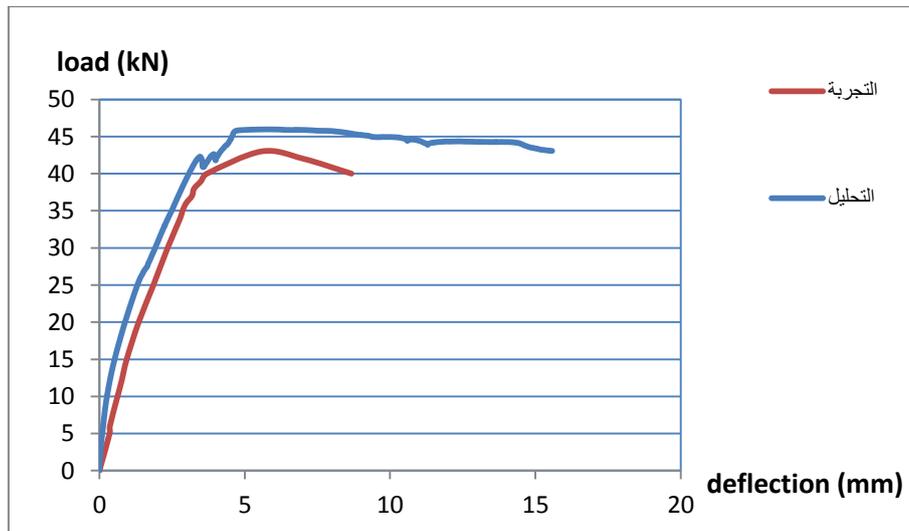
كما ويبين الشكل (26-6) منحنى الحمولة – الإنتقال (P- δ) للجوائز البيتونية العادية المدروسة في كل من الدراستين التجريبية والتحليلية.



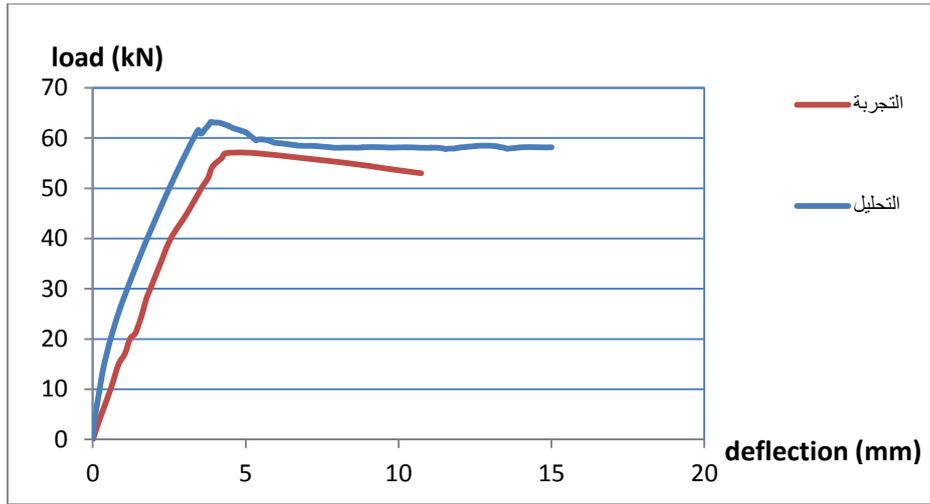
a: منحنى الحمولة – الإنتقال للجوائز البيتوني العادي بتسليح كامل دون اضافات (B₁-0).



b: منحنى الحمولة – الإنتقال للجوائز البيتوني العادي بتسليح كامل مع ألياف فولاذية (B₁-1).



c: منحنى الحمولة – الإنتقال للجوائز البيتوني العادي بتسليح انعطاف فقط دون اضافات (B₂-0).



d: منحني الحمولة – الانتقال للجوائز البيتونى العادي بتسليح انعطاف فقط مع ألياف فولاذية (B₂-1).
الشكل (26-6): منحني الحمولة – الانتقال للجوائز البيتونية العادية .

نلاحظ من الشكل (26-6)، تقارب النتائج بين كل من الدراستين التجريبية والتحليلية للجوائز العادية، وفق القيم والنسب المبينة في الجدول (2-6)، وهذا مايبين إمكانية اعتماد النموذج التحليلي للجوائز العادية لإستخلاص أية نتائج تدعم الدراسة الحالية.

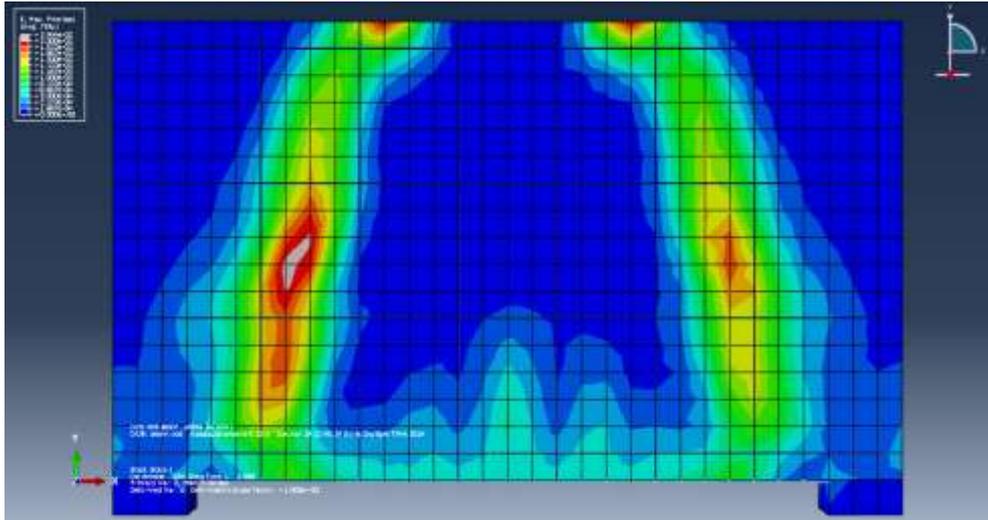
كما قمنا بدراسة الجوائز العميقة بأبعاد 75*650*1200 mm، بتسليح كامل (إنعطاف+قص)، وأخرى بتسليح إنعطاف فقط، باستخدام بيتون عادي دون إضافات، وأخرى بيتون مع ألياف فولاذية.

ويبين الجدول (3-6) حمولة الإنهيار للجوائز العميقة (h=650 mm) بطريقة العناصر المحدودة باستخدام برنامج أباكوس، مقارنة مع حمولة الإنهيار التجريبية.

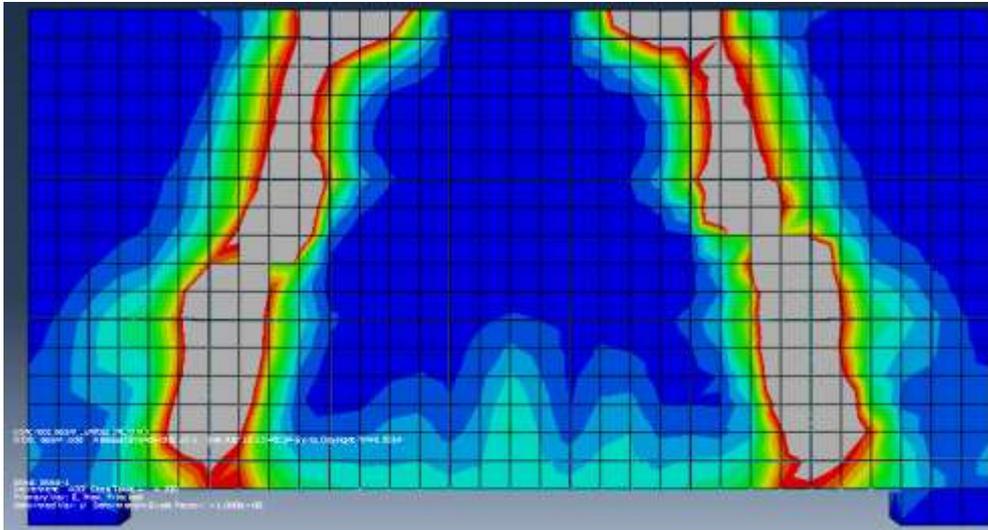
الجدول (3-6): حمولة الإنهيار للجوائز العميقة (h=650 mm) في كل من الدراستين التحليلية والتجريبية.

نوع الجائز	ارتفاع الجائز	حمولة الانهيار		نسبة الفرق عن التجربة
		تحليل	تجربة	
DB ₁ -0 جائز عميق بتسليح كامل – دون اضافات	400	312.52	377	17.1 %
DB ₁ -1 جائز عميق بتسليح كامل – مع ألياف فولاذية	400	451.44	490	7.87 %
DB ₂ -0 جائز عميق بتسليح انعطاف فقط – دون اضافات	400	295.82	294	0.62 %
DB ₂ -1 جائز عميق بتسليح انعطاف فقط – مع ألياف فولاذية	400	426.61	450	5.20 %

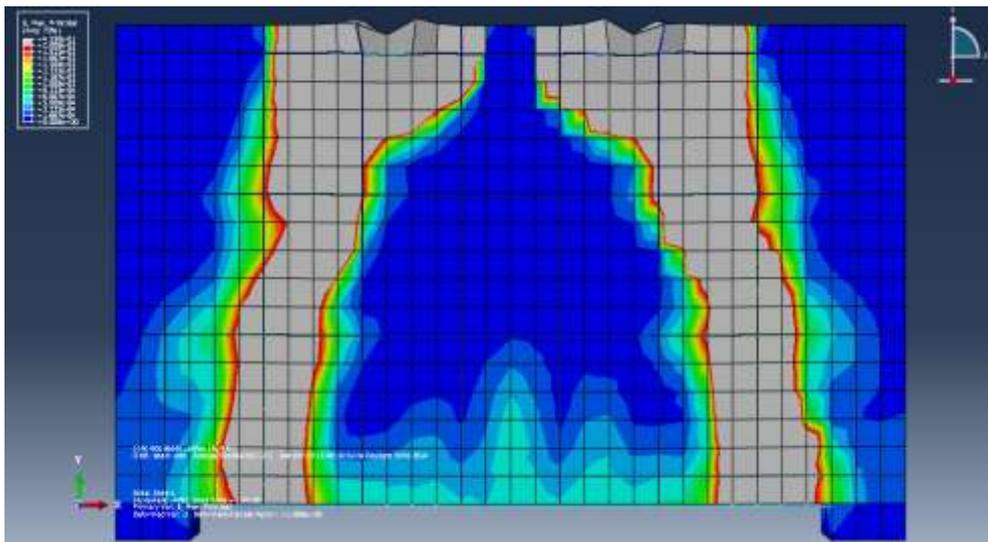
كان شكل الجائز البيتونى العميق بتسليح كامل دون إضافات (DB₁-0) عند الحمولة القصوى، وشكل الإنهيار بالمقارنة مع شكل جائز التجربة مبين بالشكل (27-6) .



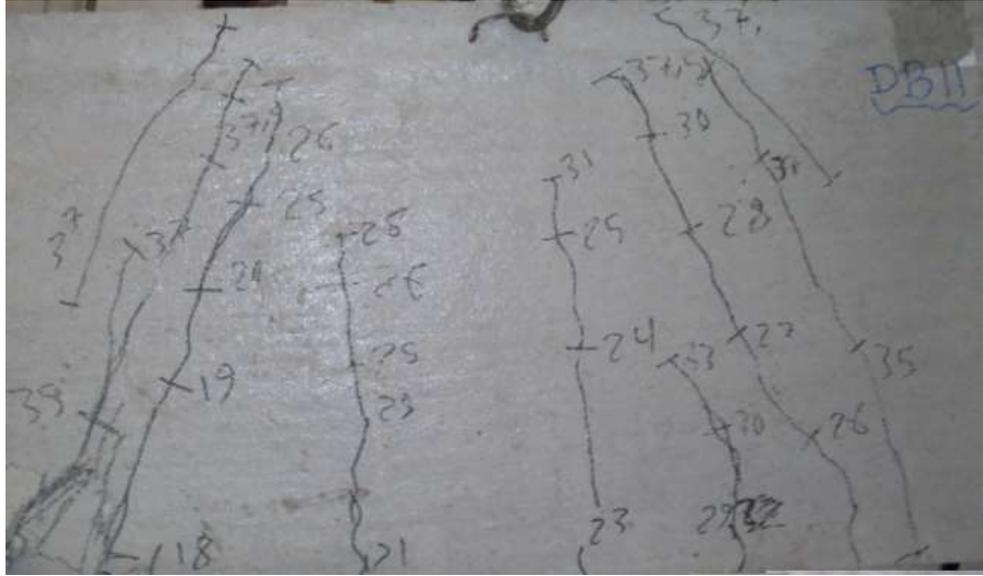
a- انتشار التشققات في الجائز عند الحمولة القصوى.



b- شكل الجائز عند وصول التشققات لكامل الارتفاع.



c- انتشار التشققات في الجائز عند الانهيار الكلي.

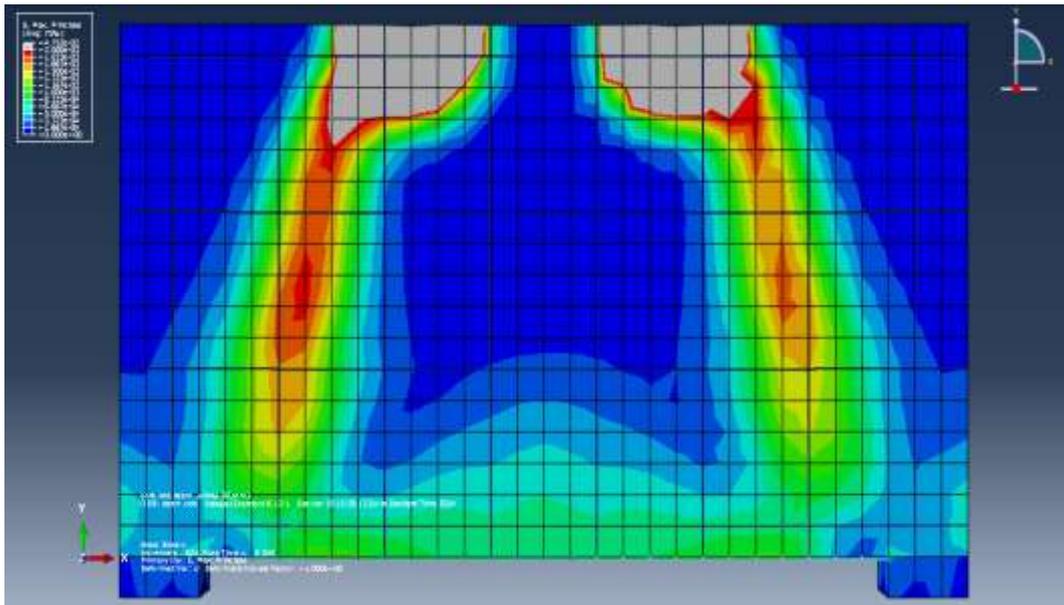


d- الجائز البيتوني العميق المختبر.

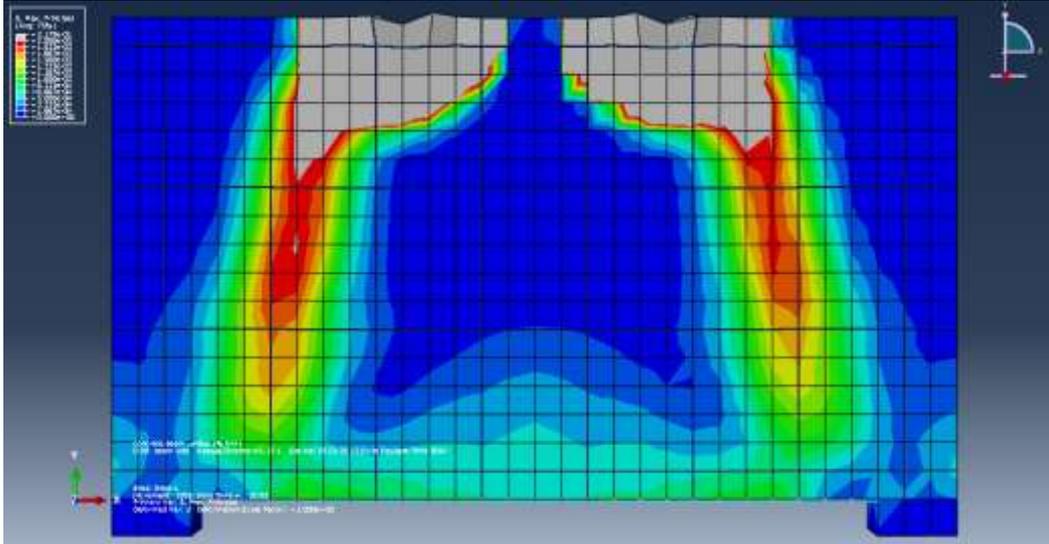
الشكل (6-27): الجائز البيتوني العميق بتسليح كامل دون ألياف (DB₁-0).

ففي الجوائز العميقة بتسليح كامل دون ألياف، بدأت تشققات الإنعطاف في الظهور عند نسبة % 45-56 من الحمولة القصوى، وتلتها تشققات القص عند نسبة % 60-75 من الحمولة القصوى، وصولاً لحمولة الإنهيار القصوى المبينة في الجدول (6-3)، والتي تراكمت مع نشوء تشققات الشد بين المسند ونقطة تطبيق الحمولة القريبة منها كما في الشكل (6-27).

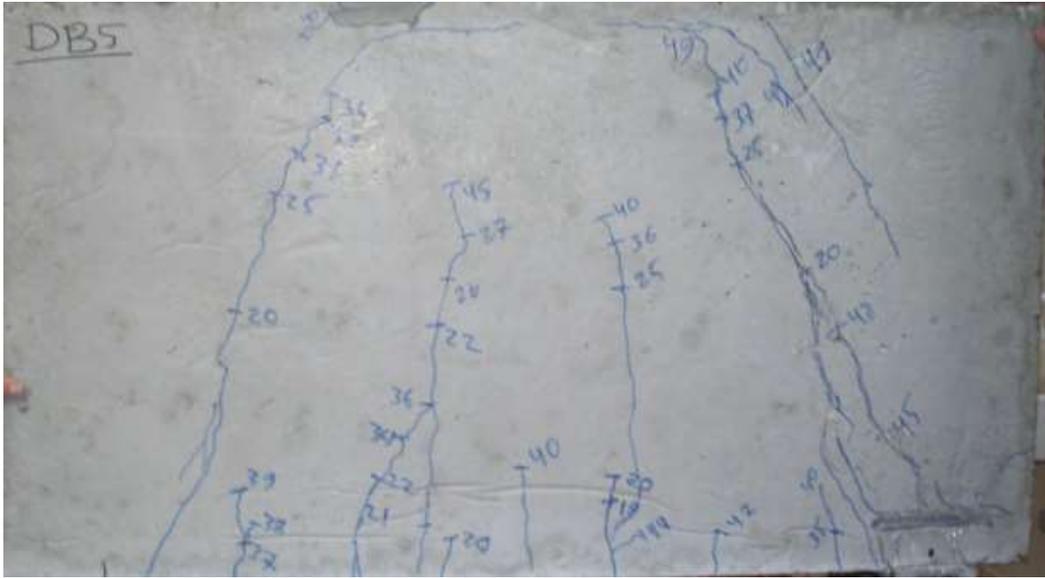
كما يبين الشكل (6-28)، الجائز البيتوني العميق بتسليح كامل مع ألياف فولاذية (DB₁-1)، عند الحمولة القصوى، وشكل الإنهيار التجريبي مقارنةً مع جائز التجربة.



a- انتشار التشققات في الجائز عند الحمولة القصوى.



b- انتشار التشققات في الجائز عند الانهيار الكلي.

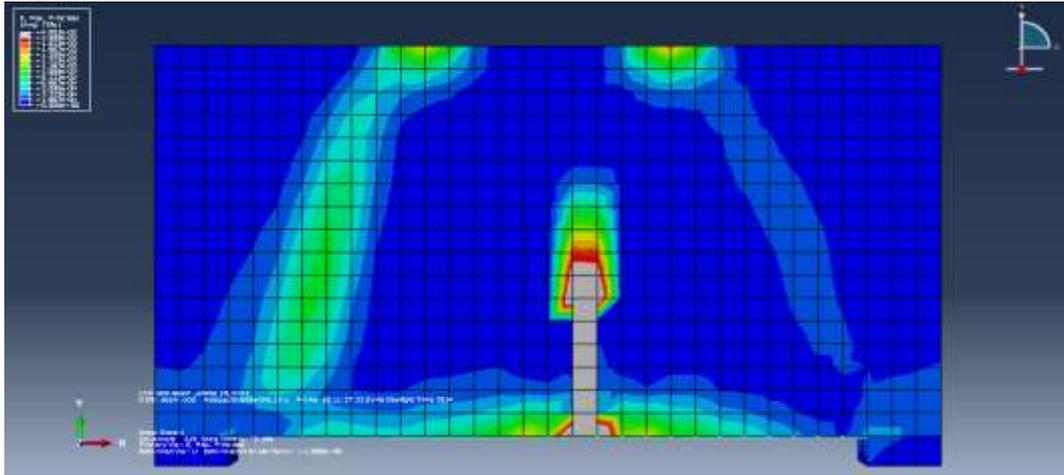


c- الجائز البيتوني العميق المختبر.

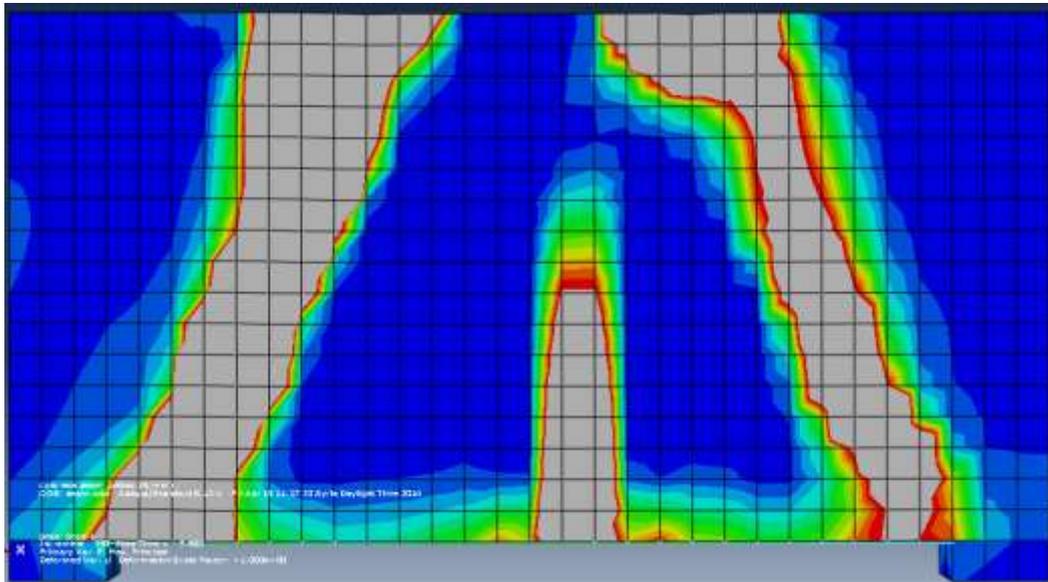
الشكل (28-6): الجائز البيتوني العميق بتسليح كامل مع ألياف فولاذية (DB₁-1).

ويظهر الشكل (28-6)، إنهيار الجوائز العميقة بتسليح كامل، مع ألياف فولاذية، نتيجة تهشم البيتون في نقطة تطبيق الحمولات المركزة، بسبب نشوء إجهادات الضغط، الناجمة عن الشد ومشكلةً لوتر علوي مضغوط يصل بين نقطتي تطبيق الحمولة المركزة، والتي تترافق في لحظة الإنهيار مع انكسار منطبق على مسار تشقق الشد القطري الواصل بين نقطة الإستناد ونقطة تطبيق الحمولة الشاقولية المركزة.

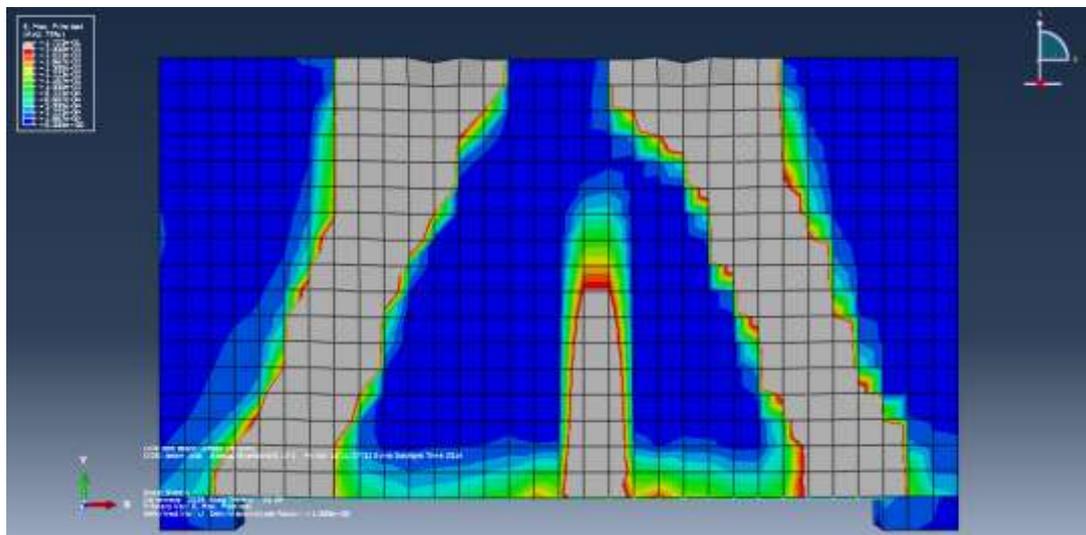
كما ويظهر الشكل (29-6) الجائز البيتوني العميق بتسليح انعطاف فقط دون ألياف (DB₂-0)، عند الحمولة القصوى، وشكل الإنهيار التحليلي بالمقارنة مع شكل الإنهيار التجريبي.



a- انتشار التشققات في الجائز عند حمولة القصوى.



b- انتشار التشققات على كامل ارتفاع الجائز.



c- انتشار التشققات في الجائز عند الانهيار الكلي.

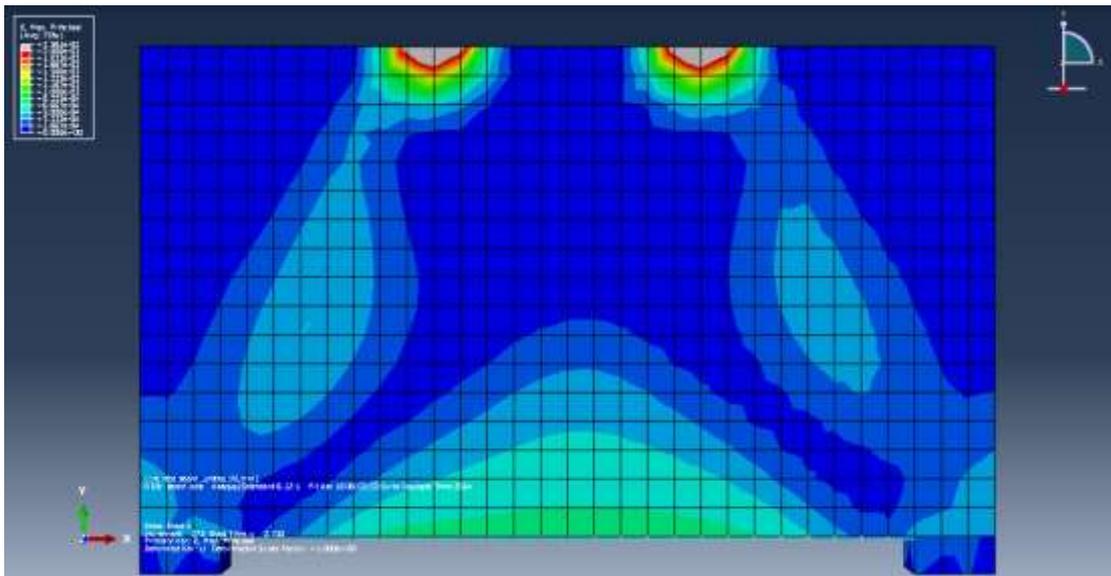


d- الجانز البيتوني العميق المختبر.

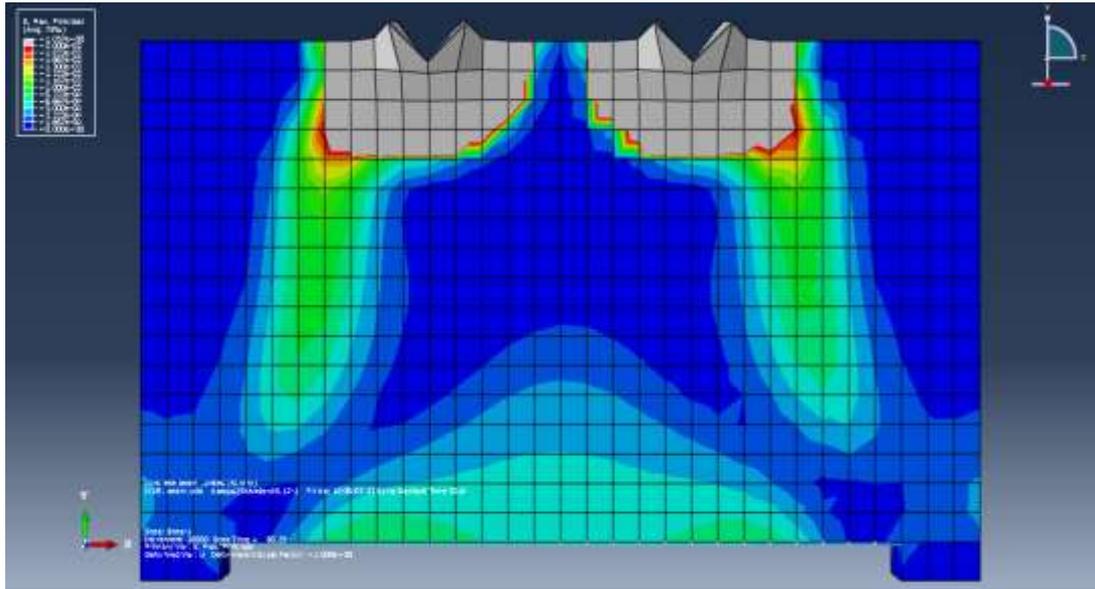
الشكل (6-29): الجانز البيتوني العميق بتسليح انعطاف فقط دون ألياف (DB₂-0).

حيث يظهر الشكل بوضوح، إنهيار الجوائز العميقة دون تسليح عرضي، ودون ألياف، على القص بظهور شق قطري يصل المسند مع نقطة تطبيق الحمولة المجاورة للمسند، وذلك بسبب سلوك الجانز العميق الموافق لنظرية Strut and tie، حيث يتشكل عنصر شبكي مضغوط بين نقطة تطبيق الحمولة والمسند، مما يسبب فلق في البيتون.

أما الشكل (6-30) فيظهر الجانز العميق بتسليح انعطاف فقط مع ألياف فولاذية (DB₂-1)، عند حمولة الإنهيار، وشكل الجانز عند الإنهيار النهائي مقارنةً مع جانز التجربة.



a- انتشار التشققات في الجانز عند حمولة القصوى.



b- انتشار التشققات في الجانز عند الانهيار الكلي.



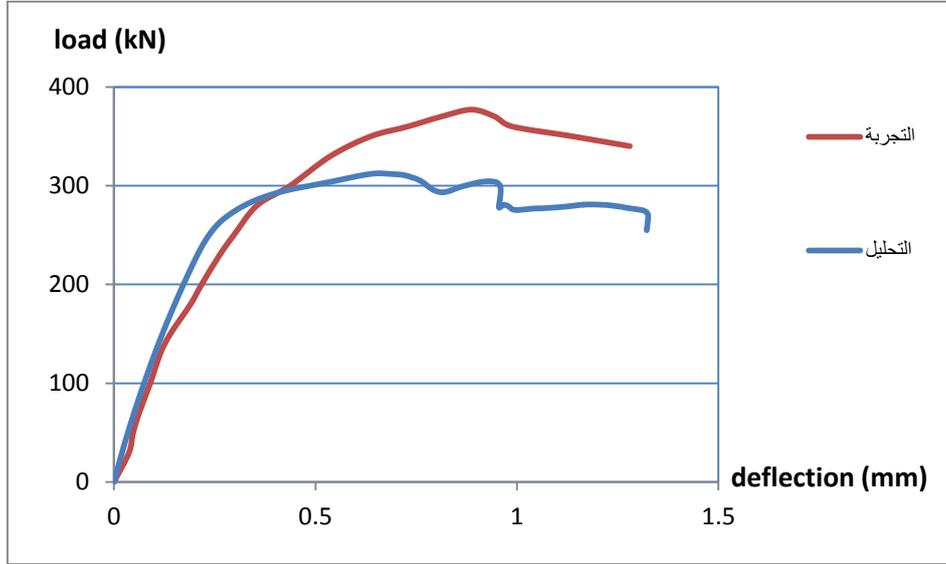
c- الجانز البيتوني العميق المختبر.

الشكل (6-30): الجانز البيتوني العميق بتسليح انعطاف فقط مع ألياف فولاذية (DB₂-1).

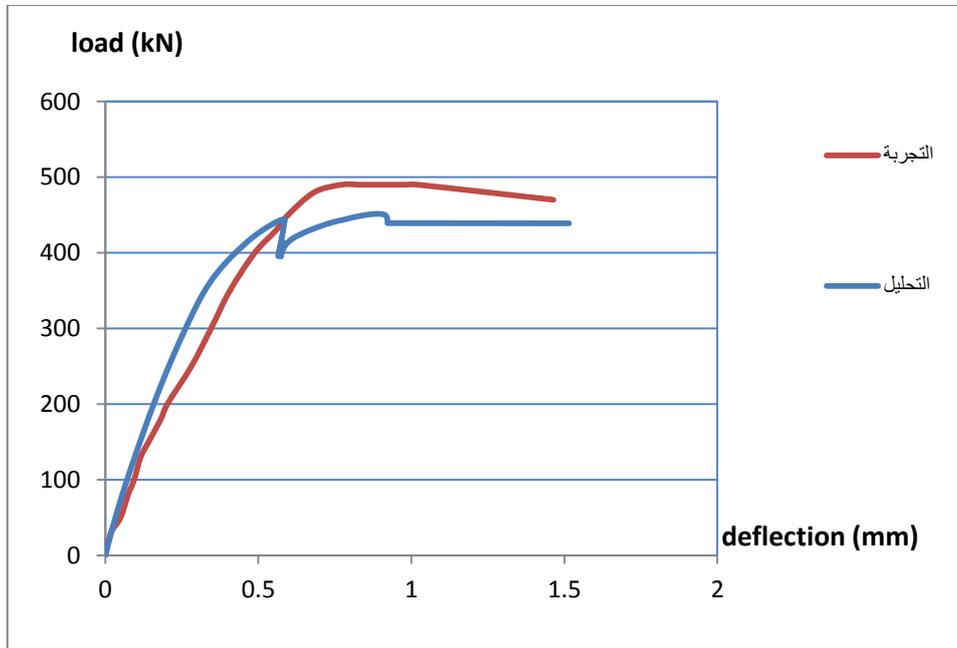
يبين الشكل أن الإنهيار في الجوائز العميقة، دون تسليح عرضي مع ألياف فولاذية، لم يكن نتيجة القص القطري كما هي الحال في الجوائز دون ألياف، وإنما كان نتيجة الإنهيار على الضغط في نقاط تطبيق الحمولة، بسبب الاجهادات الرئيسية الضاغطة الناجمة عن اجهادات الشد، وذلك يبين الدور المهم للألياف في السيطرة على الاجهادات الناجمة عن القص.

كما يجدر الإشارة لإحتمال لاختية العلاقة بين كل من التشوهين الطولي والعرضي في البيتون بسبب غياب التسليح العرضي.

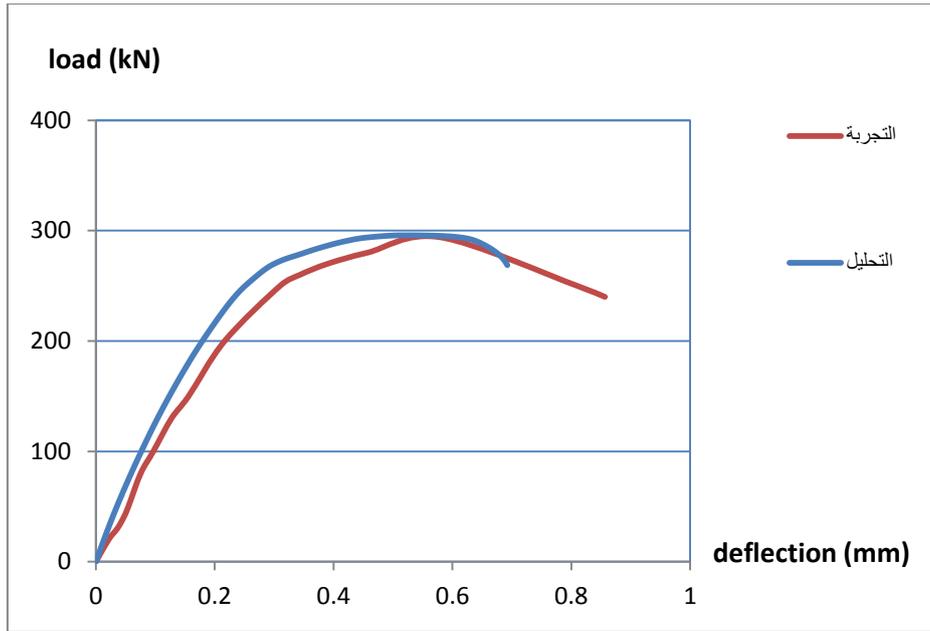
ويبين الشكل (31-6) منحنى الحمولة – الإنتقال (P- δ)، للجوائز البيتونية العميقة المدروسة في قسمي الدراسة التجريبي والتحليلي.



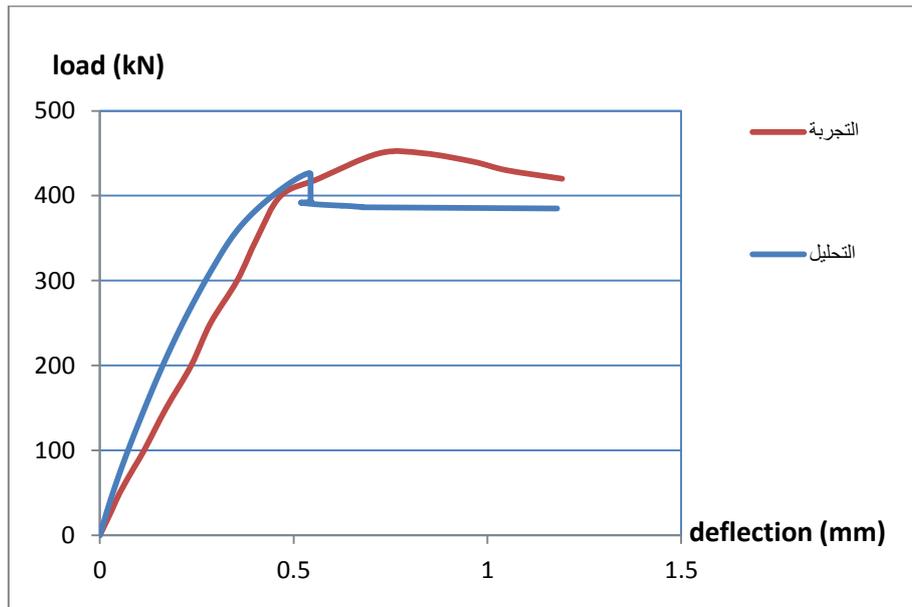
a: منحنى الحمولة – الانتقال للجائز البيتوني العميق بتسليح كامل دون اضافات (DB₁-0).



b: منحنى الحمولة – الانتقال للجائز البيتوني العميق بتسليح كامل مع ألياف فولاذية (DB₁-1).



c: منحنى الحمولة – الانتقال للجائز البيتوني العميق بتسليح انعطاف فقط دون اضافات (DB₂-0).



d: منحنى الحمولة – الانتقال للجائز البيتوني العميق بتسليح انعطاف فقط مع ألياف فولاذية (DB₂-1).

الشكل (31-6): منحنى الحمولة – الانتقال للجوائز البيتونية العميقة .

نلاحظ من الشكل (31-6)، تقارب النتائج بين كل من الدراستين التجريبية والتحليلية للجوائز العميقة، وفق القيم والنسب المبينة في الجدول (3-6)، وهذا ما يبين إمكانية اعتماد النموذج التحليلي للجوائز العميقة لإستخلاص أية نتائج تخدم الدراسة الحالية.

كما نلاحظ انخفاض قساوة منحنى التجربة عن منحنى التحليل، وذلك لأن المنحنيات المستخدمة في التحليل تجريبية ونموذجية من الكودات، وليست منحنيات تجريبية لسلوك المادة

الحقيقي، كما أن النموذج التحليلي لا يلحظ التشققات الميكروية التي تحدث في التجربة نتيجة سيلان البيتون، كما أن اتساع التشققات في التجربة والتي تكون أكبر منها في النموذج التحليلي تسبب انتقالاً أكبر، مما ينعكس على انخفاض القساوة في التجربة عنها في النموذج التحليلي.

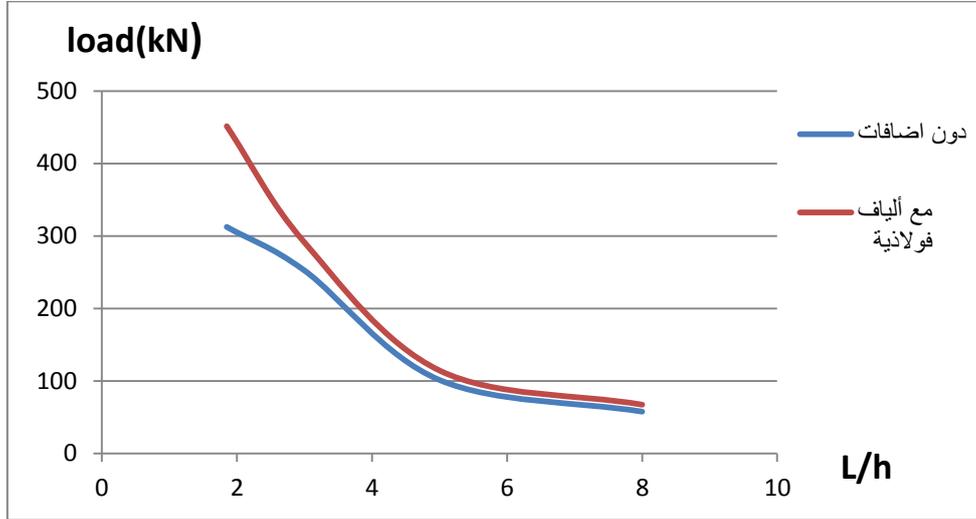
لإغناء الدراسة التحليلية، قمنا بتحليل جوائز بيتونية إضافية بارتفاع 240 mm ، 400 mm، وذلك لنفس المتغيرات السابقة بتسليح كامل، دون ألياف ومع ألياف فولاذية، وبتسليح انعطاف فقط، دون ألياف ومع ألياف فولاذية.

فكانت الحمولات الحدية تبعاً للمتغير L/h حيث L مجاز الجائز، h ارتفاع المقطع العرضي، مبينه في الجدول (4-6).

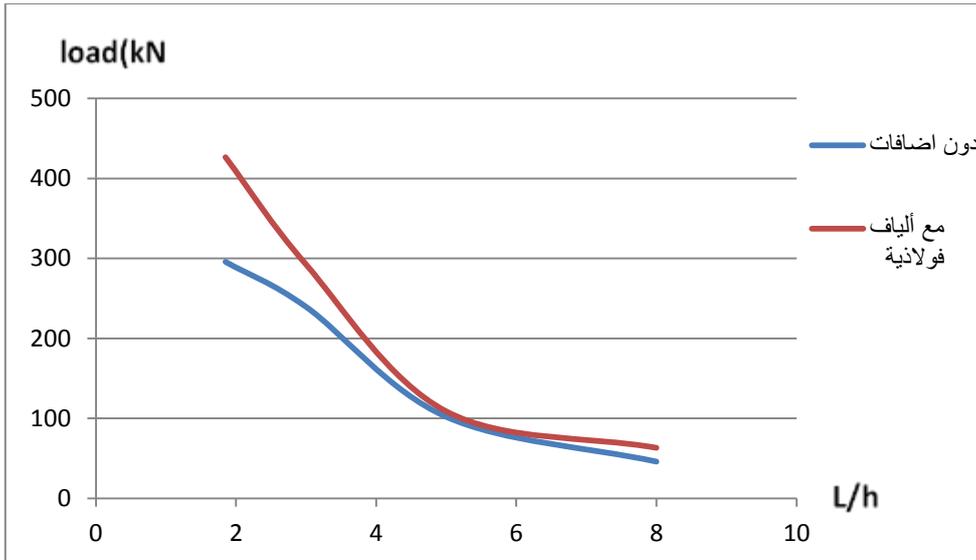
الجدول (4-6): حمولة الانهيار للجوائز في الدراسة التحليلية .

حمولة الانهيار	L/h	ارتفاع الجائز	رمز الجائز في التجربة	الجوائز
57.74	8	150	B ₁ -0	جائز بتسليح كامل – دون اضافات
67.32	8	150	B ₁ -1	جائز بتسليح كامل – مع ألياف فولاذية
45.96	8	150	B ₂ -0	جائز بتسليح انعطاف فقط – دون اضافات
63.24	8	150	B ₂ -1	جائز بتسليح انعطاف فقط – مع ألياف فولاذية
101.39	5	240	-----	جائز بتسليح كامل – دون اضافات
114.48	5	240	-----	جائز بتسليح كامل – مع ألياف فولاذية
102.04	5	240	-----	جائز بتسليح انعطاف فقط – دون اضافات
108.81	5	240	-----	جائز بتسليح انعطاف فقط – مع ألياف فولاذية
252.44	3	400	-----	جائز بتسليح كامل – دون اضافات
291.22	3	400	-----	جائز بتسليح كامل – مع ألياف فولاذية
239.49	3	400	-----	جائز بتسليح انعطاف فقط – دون اضافات
292.50	3	400	-----	جائز بتسليح انعطاف فقط – مع ألياف فولاذية
312.52	1.85	650	DB ₁ -0	جائز بتسليح كامل – دون اضافات
451.44	1.85	650	DB ₁ -1	جائز بتسليح كامل – مع ألياف فولاذية
295.82	1.85	650	DB ₂ -0	جائز بتسليح انعطاف فقط – دون اضافات
426.61	1.85	650	DB ₂ -1	جائز بتسليح انعطاف فقط – مع ألياف فولاذية

تم دراسة تأثير الألياف الفولاذية على مقاومات الجوائز البيتونية حسب النسبة L/h ، من خلال مقارنة سلوك الجوائز دون إضافات، مع الجوائز مع ألياف فولاذية، وذلك لكل من حالي الجوائز بتسليح كامل، والجوائز بتسليح انعطاف فقط، كما في الشكل (6-32).



a- الجوائز البيتونية المسلحة بتسليح كامل.

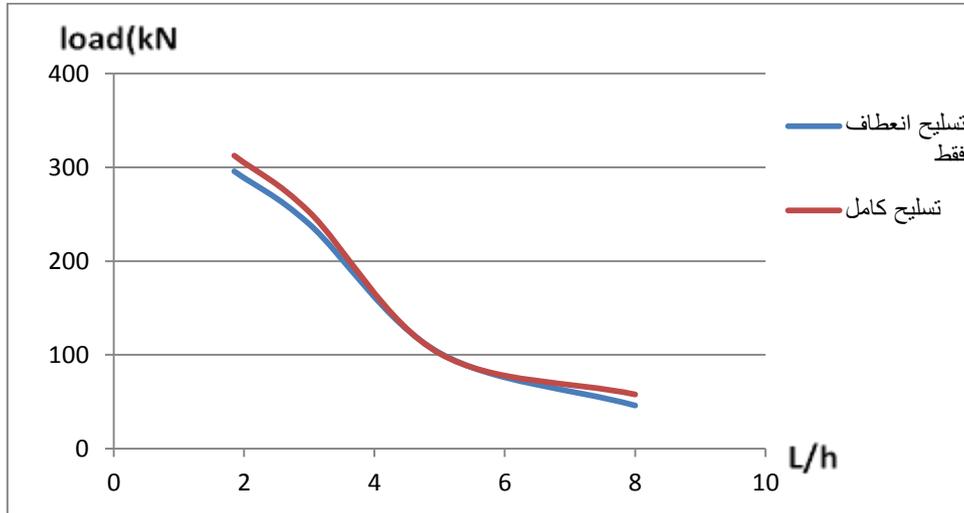


b- الجوائز البيتونية المسلحة بتسليح إنعطاف فقط.

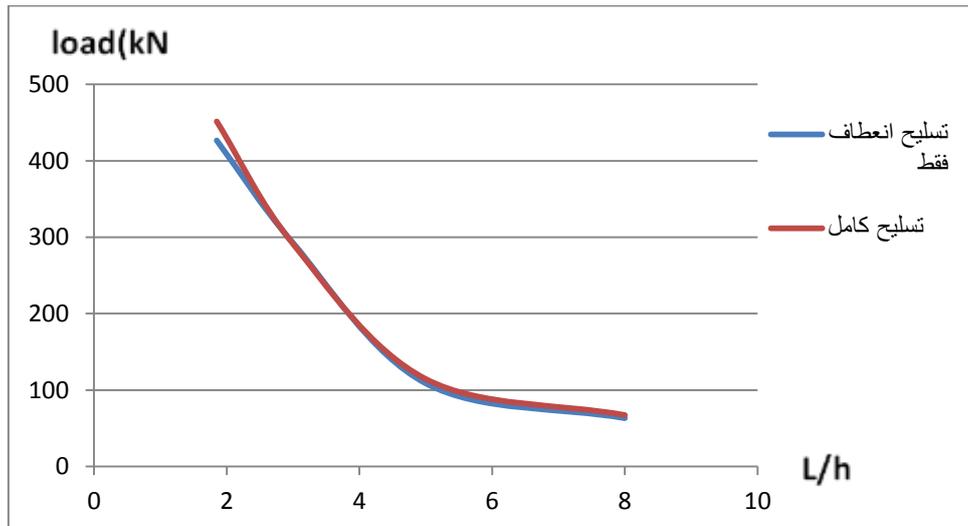
الشكل (6-32): تأثير الألياف الفولاذية على المقاومات الحديدية للجوائز البيتونية المسلحة.

نلاحظ من الشكل أن تأثير الألياف الفولاذية يظهر بشكل واضح على الجوائز مع انخفاض النسبة L/h ، ولاسيما في الجوائز العميقة حيث يكون القص هو المسيطر على سلوك هذه الجوائز، إضافة إلى ظهور دور الألياف بشكل أوضح للجوائز بتسليح كامل عنها للجوائز بتسليح انعطاف فقط.

تم دراسة تأثير تسليح القص على مقاومات الجوائز البيتونية حسب النسبة L/h ، من خلال مقارنة سلوك الجوائز بتسليح كامل، مع الجوائز بتسليح انعطاف فقط، وذلك لكل من حالي الجوائز البيتونية المسلحة دون إضافات، والجوائز البيتونية المسلحة مع ألياف فولاذية، كما في الشكل (6-33).



a- الجوائز البيتونية المسلحة دون إضافات.

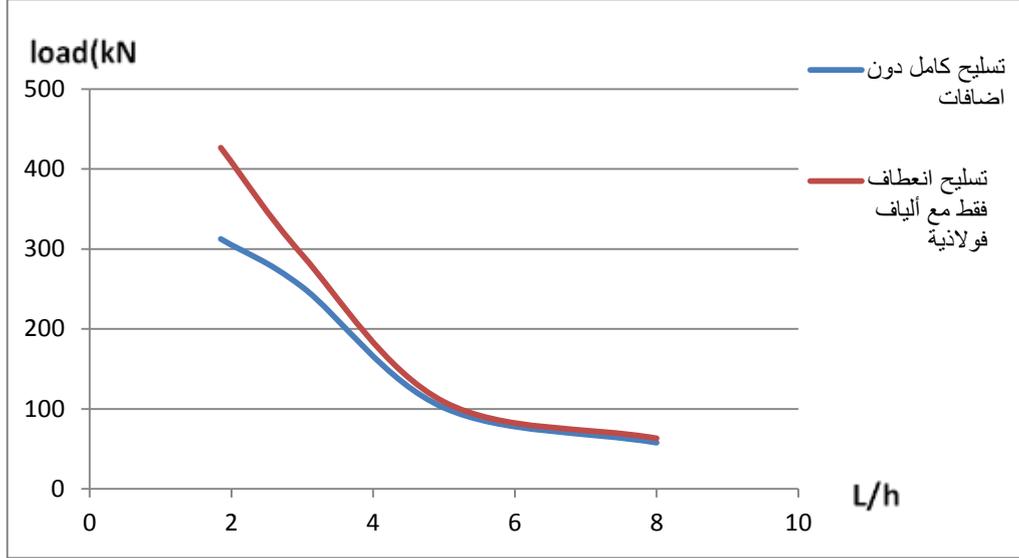


b- الجوائز البيتونية المسلحة مع ألياف فولاذية.

الشكل (6-33): تأثير تسليح القص على المقاومات الحديدية للجوائز البيتونية المسلحة.

نلاحظ من الشكل بأن دور تسليح القص في الجوائز التي تتراوح نسبة مجازها الى ارتفاعها بين 4-6 في حال عدم استخدام اضافات في البيتون مهماً، بينما تلاشى دورها كلياً في حال استخدام الألياف الفولاذية مع البيتون في كافة انواع الجوائز حيث تراوحت نسبة المجاز الى الارتفاع بين 2-8، وبدأ ظهور دور الاساور مع وجود الألياف الفولاذية في الجوائز التي تنخفض فيها النسبة L/h عن 2.

ولدراسة تأثير الألياف الفولاذية كبديل لتسليح القص، قمنا بمقارنة المقومات الحدية للجوائز البيتونية بتسليح كامل دون إضافات، مع مقوماتها بتسليح إنعطاف فقط مع ألياف فولاذية، كما هو مبين في الشكل (6-34).



الشكل (6-34): تأثير الألياف الفولاذية كبديل للتسليح العرضي.

يبين الشكل السابق بأن مقومات جميع أنواع الجوائز البيتونية بتسليح إنعطاف فقط مع ألياف فولاذية كانت أكبر منها للجوائز البيتونية بتسليح كامل دون إضافات، وهذا ما يثبت بأن الألياف الفولاذية قامت بدور البديل عن تسليح القص فيها في النموذج المدروس.

كما يبين الشكل إزدیاد أهمية دور الألياف الفولاذية كبديل لتسليح القص مع انخفاض النسبة L/h ، ويظهر ذلك جلياً في الجوائز العميقة حيث $L/h < 2$.

5-6- العلاقات التجريبية:

للجوائز البسيط الاستناد والمعرض لحملين مركزيين شدة كل منهما $P/2$ ، مركزيين في ثلثي المجاز المبين بالشكل (5-35)، يمكن أن توجد علاقة العزم العظمي تحت الحمولة المركزة بالعلاقة:

$$M = \frac{P.L}{6} \quad (6-22)$$

ومن المعلوم بأن العلاقة التي تربط بين العزم المطبق والتسليح اللازم وفق الطريقة الحدية تعطى بالعلاقة:

$$M = \Omega . A_s . f_y . (d-y/2) \approx 0.8 A_s . f_y . h \quad (6-23)$$

من العلاقتين السابقتين نجد أنه :

$$M = \frac{P.L}{6} = 0.8 A_s.f_y.h \rightarrow P = 4.8 A_s.f_y.\frac{h}{L}$$

$$P = \frac{4.8 A_s.f_y}{\frac{L}{h}} \quad (6-24)$$

وباعتبار كل من حد السيلاان fy للفولاذ، ونسبة التسليح ثابتة في جميع الجوائز حيث :

$$\mu_s = \frac{A_s}{b.d} \rightarrow A_s = \mu_s.b.d \quad (6-25)$$

فتصبح العلاقة بين الحمولة الحديدية P والنسبة L/h تابعة فقط لهذين المتغيرين، ويمكن بناء عليها الحصول على علاقة تجريبية تربط بينهما من المنحنيات المرسومة تحليلياً في الشكل (5-32)، لكل الجوائز البيتونية بتسليح كامل، وتسليح قص، دون اضافات، ومع ألياف فولاذية، والمبينة فيما يلي :

a- جوائز بيتوني بتسليح كامل، دون إضافات.

$$L/h \leq 5 \rightarrow P = 3.1847(L/h)^3 - 38.76(L/h)^2 + 78.507(L/h) + 279.77$$

$$L/h > 5 \rightarrow P = 762.59(L/h)^{-1.221} \quad (6-26)$$

b- جوائز بيتوني بتسليح كامل، مع ألياف فولاذية.

$$L/h \leq 5 \rightarrow P = -0.2675(L/h)^3 + 18.81(L/h)^2 - 225.74(L/h) + 806.38$$

$$L/h > 5 \rightarrow P = 1114.8(L/h)^{-1.357} \quad (6-27)$$

c- جوائز بيتوني بتسليح انعطاف فقط، دون إضافات.

$$L/h \leq 5 \rightarrow P = 2.6461(L/h)^3 - 32.332(L/h)^2 + 60.269(L/h) + 278.22$$

$$L/h > 5 \rightarrow P = 795.54(L/h)^{-1.313} \quad (6-28)$$

d- جوائز بيتوني بتسليح انعطاف فقط، مع ألياف فولاذية.

$$L/h \leq 5 \rightarrow P = 1.2141(L/h)^3 - 4.0947(L/h)^2 - 118.58(L/h) + 652.31$$

$$L/h > 5 \rightarrow P = 1091.7(L/h)^{-1.372} \quad (6-29)$$

الفصل السابع

Chapter 07

النتائج والتوصيات

Conclusions and Future Works

1-7- ملخص وتحليل النتائج:

1- إن استخدام الألياف الفولاذية بنسبة 30 Kg/m^3 و 60 Kg/m^3 ، رفع من مقاومة البيتون على الضغط بنسبة % 6 و % 8، ومقاومة البيتون على الشد الناتج عن الإنعطاف بنسبة تراوحت بين % 35-38 و % 44-49، وعلى الشد الناجم عن الفلق بنسبة حوالي % 35 و % 40 على الترتيب.

وبذلك نلاحظ بأن مضاعفة نسبة استخدام الألياف الفولاذية لم يزيد المقاومات بما يتناسب مع زيادة الكلفة الإقتصادية للإضافة، وبالتالي فإن استخدام الألياف الفولاذية بنسبة 30 Kg/m^3 في الخلطة البيتونية رفع من مقاومتها على كل من الضغط والشد بنسب مهمة لا يمكن تجاهلها ويمكن الاستفادة منها في تحسين مواصفات البيتون.

2- إن استخدام ألياف البولي بروبيلين بنسبة 0.6 Kg/m^3 رفع من مقاومات البيتون على كل من الضغط بنسبة % 11-12، وعلى الشد الناجم عن الإنعطاف بنسبة % 9-11، والشد الناجم عن الفلق بنسبة % 8، وذلك لأن الألياف قامت بتشكيل شبكة نسيج داخلي ربطت بين مكونات البيتون بشكل قوي، مما زاد من مقاومتها، وجعلها تحافظ على شكلها بعد الإنهيار، وعدم تفتتها وتشظيها على الضغط.

3- إن استخدام الألياف الزجاجية بنسبة 0.6 Kg/m^3 رفع من مقاومات البيتون على الضغط بنسبة % 7-11، وعلى الشد الناجم عن الإنعطاف بنسبة % 5-7، والشد الناجم عن الفلق بنسبة % 4-6، وذلك بسبب المقاومة العالية للألياف الزجاجية والتي ساهمت بزيادة مقاومة البيتون للإجهادات الناجمة عن كل من الضغط والشد.

4- إن استخدام بودرة السيليكا بنسبة % 10 من وزن الاسمنت رفع من مقاومات البيتون على الضغط بنسبة % 6-10، وعلى الشد الناجم عن الانعطاف بنسبة % 4-6، والشد الناجم عن الفلق بنسبة % 3-7، وذلك بسبب تفاعل السيليكافيوم مع ماءات الكالسيوم الناجمة عن تفاعل الألييت C3S مع الماء، مما يشكل عامل إضافي في تحسين مقاومة البيتون.

5- إن استخدام رمل المزار في تعديل الرمل قد رفع من مقاومة البيتون على الضغط بنسبة % 5-13، ومن مقاومة البيتون على الشد الناجم عن الانعطاف بنسبة % 2-3، والناجم عن الفلق بنسبة حوالي % 1.5، وبذلك نجد بأنه من المفيد استخدام رمل المزار في تحسين مواصفات الحصىات والإستفادة منه في رفع مقاومة البيتون على الضغط، بسبب دوره الهام في تحسين التدرج الحبي للحصىات، وبالتالي تقليل نسبة الفراغات في الخلطة.

6- إن استخدام الألياف الفولاذية في العينات المختبرة على الشد زاد من عتبة اللدونة للبيتون بعد الحمولة الحدية الحرجة، وكذلك من متانة البيتون وقدرته على امتصاص الطاقة، بزيادة المساحة تحت المنحني P-δ بشكل ملحوظ يتناسب مع زيادة نسبة الألياف في الخلطة البيتونية، وبشكل أكبر من تأثير الإضافات الأخرى التي حسنت من سلوك العينة البيتونية دون إضافات بعد حمولة الانهيار والتي كان إنهارها مفاجئاً، كما أن استخدام الألياف الفولاذية في العينات المختبرة على الشد جعلها تحافظ على شكلها عند الإنهيار، ويعود ذلك لدور الألياف في الربط بين مكونات البيتون على طرفي الشق، ومساهمتها بتأمين ميكانيكية إضافية مبددة للطاقة بسبب مطاوعتها العالية وقدرتها على إعادة توزيع الإجهادات بالشكل الأفضل.

7- إن استخدام كل من الألياف الفولاذية والسيليكافيوم رفع من مقاومة الجوائز البيتونية العادية بتسليح كامل (انعطاف و قص) بنسبة تصل الى % 26 و % 25 على الترتيب، عنها في الجوائز البيتونية دون إضافات، أما ألياف البولي بروبيلين فلم تتجاوز النسبة % 4، وذلك بسبب قدرة كل من الألياف الفولاذية والسيليكافيوم على رفع مقاومة البيتون على الشد بشكل ينعكس على مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة.

أما إستخدامها في الجوائز العادية بتسليح انعطاف فقط (دون تسليح عرضي)، رفعت المقاومة بنسبة % 32 و % 44 لكل من الألياف الفولاذية وبودرة السيليكا على الترتيب، ولم تتجاوز نسبة الـ % 12 لألياف البولي بروبيلين.

8- إن الشق الأول في الجوائز البيتونية العادية ذات التسليح الكامل هو شق إنعطاف بين نقطتي تطبيق الحمولة المركزة عند حمولة % 28-38 من حمولة الإنهيار، يتبعه في الظهور

شق القص بالقرب من المساند عند حمولة % 38-53 من حمولة الإنهيار ، أما في الجوائز بتسليح انعطاف فقط فكان الشق الأول هو شق القص المائل قرب المساند باتجاه نقطة الحمولة الأقرب له عند حمولة % 34-46 من حمولة الإنهيار، ظهرت بعدها تشققات الإنعطاف عند حمولة % 44-65 من حمولة الإنهيار.

9- إن استخدام الإضافات حد من انتشار التشققات وزاد من القوة المسببة للشق الأول في الجوائز البيتونية العادية على كل من الانعطاف والقص، فقد ارتفعت الحمولة المسببة للشق الأول على الإنعطاف بنسبة % 43, 27, 67 و بنسبة % 50, 25, 75 على القص للجوائز العادية البيتونية المسلحة بتسليح كامل باستخدام كل من الألياف الفولاذية، وألياف البولي بروبيلين، وبودرة السيليكا على الترتيب.

كما ارتفعت الحمولة المسببة للإنعطاف بنسبة % 84, 42, 111 و بنسبة % 55, 52, 72 على القص للجوائز العادية البيتونية المسلحة بتسليح إنعطاف فقط دون تسليح قص.

10- استخدام الألياف الفولاذية رفع من مقاومة الإنهيار في الجوائز العميقة بنسبة % 30 للجوائز بتسليح كامل، وبنسبة % 53 للجوائز بتسليح طولي فقط، كذلك الأمر لكل من ألياف البولي بروبيلين، وبودرة السيليكا، فإن استخدام ألياف البولي بروبيلين رفع المقاومة بمقدار % 6 و % 2 لكل من الجوائز العميقة بتسليح كامل وتسليح قص فقط، وارتفعت المقاومة بنسبة % 22 و % 28 عند استخدام بودرة السيليكا في الجوائز العميقة بتسليح كامل وتسليح قص على الترتيب.

11- إن الشق الأول في الجوائز البيتونية العميقة ذات التسليح الكامل هو شق الانعطاف بين نقطتي تطبيق الحمولات المركزة عند حمولة % 45-56 من حمولة الانهيار، تبعها في الظهور شق القص بالقرب من المساند عند حمولة % 60-75 من حمولة الانهيار، أما في الجوائز بتسليح انعطاف فقط فكان الشق الأول هو شق القص المائل قرب المساند باتجاه نقطة الحمولة الأقرب له عند حمولة % 56- 80 من حمولة الانهيار، ظهرت بعدها تشققات الانعطاف بشكل مفاجئ وسريع قبل الوصول لحمولة الانهيار بقليل.

12- ازدادت حمولة الإنهيار للجوائز العادية المسلحة بتسليح إنعطاف فقط مع الألياف الفولاذية بنسبة % 7 عنها للجوائز بتسليح كامل دون إضافات، كما ازدادت في الجوائز العميقة المسلحة بتسليح انعطاف فقط مع الألياف الفولاذية بنسبة % 19 عنها للجوائز بتسليح كامل دون إضافات،

مما يبين بأنه يمكن استخدام الألياف الفولاذية كبديل للتسليح العرضي في الجوائز البيتونية العادية والعميقة، إضافة لدورها في زيادة مطاوعة الجوائز بعد الحمولة الحدية، وزيادتها لقدرة البيتون على امتصاص الطاقة، مع التأكيد على ضرورة الدراسة بإلغاء فرضية العلاقة الخطية بين التشوهين العرضي والطولي.

13- غياب تسليح القص خفض قوة الإنهيار في الجوائز البيتونية بنسبة % 19, 22 على الترتيب للجوائز دون إضافات، وبنسبة تراوحت بين % 6-15, % 8-25 على الترتيب للجوائز مع إضافات.

14- إن استخدام الألياف الفولاذية كان بديلاً للتسليح العرضي في جميع أنواع الجوائز، وزادت نسبة أهميتها في الجوائز العميقة حيث $L/h < 2$ ، مع التنويه لضرورة دراسة تأثير غياب التسليح العرضي، وتحديد مساحة التسليح العرضي الدنيا في الجوائز البيتونية مع ألياف فولاذية.

15- إيجاد نموذج تحليلي للجوائز العادية والعميقة، بتسليح عرضي ودون تسليح عرضي، باستخدام الألياف الفولاذية ومقارنته مع الجوائز البيتونية المسلحة دون ألياف فولاذية، والذي أوجدنا من خلاله علاقة تربط بين مقاومة الإنهيار الحدية للجوائز P والنسبة L/h لكل من الجوائز البيتونية المسلحة بتسليح كامل، وبتسليح انعطاف فقط، مع وبدون ألياف فولاذية، لحالة وحيدة مرتبطة بمقاومات البيتون والفولاذ، ومواصفات المواد المستخدمة في تنفيذ الجوائز موضوع الأطروحة.

ونلخص جديد هذا البحث في النقاط التالية:

1- إغناء قاعدة البيانات الخاصة بتأثير الإضافات على مقاومات البيتون، وكذلك الأمر لتأثير الإضافات على سلوك الجوائز البيتونية المسلحة والعميقة.

2- إغناء قاعدة البيانات الخاصة بدراسة تأثير الإضافات على سلوك كل من الجوائز البيتونية المسلحة العادية والعميقة، ودراسة تأثير الألياف الفولاذية على الجوائز البيتونية المسلحة العادية والعميقة بتسليح طولي فقط، دون التسليح العرضي.

3- استخدام الألياف الفولاذية كبديل للتسليح العرضي في الجوائز البيتونية المسلحة العادية والعميقة.

4- إيجاد نموذج تحليلي رياضي للجوائز العادية والعميقة بتسليح طولي فقط، مع ألياف فولاذية.

2-7- نتائج الدراسة :

1- إن استخدام الألياف الفولاذية بنسبة 32 Kg/m^3 رفع من مقاومة البيتون على الشد بشكل رئيسي في هذا البحث، بنسبة % 40، أما أنواع الإضافات الأخرى فلم تحسن المقاومة على الشد بنسبة أكثر من % 10.

2- إن استخدام ألياف البولي بروبيلين بنسبة 0.6 Kg/m^3 شكل شبكة نسيج ضمن البيتون، مما رفع من مقاومة البيتون على الضغط بنسبة % 15، أما استخدام الألياف الزجاجية بنسبة 0.6 Kg/m^3 ، بودة السيليكا بنسبة % 10 من وزن الاسمنت، الألياف الفولاذية بنسبة 32 Kg/m^3 ، يرفع من مقاومة البيتون على الضغط، (من أجل بيتون C22 في هذا البحث ، وبعمر 28 يوماً)، بنسب تراوحت بين 10% -6، وتزداد هذه النسب من أجل بيتون بمقاومة أعلى.

3- يظهر تأثير السيلكافيوم في تحسين خواص البيتون بشكل واضح بعمر لا يقل عن 60 يوماً، وهو الزمن اللازم لتكون ماءات الكالسيوم، الناتجة من تفاعل الاليت مع الماء، والذي يتفاعل من السيليكا، ليساهم بتحسين مقاومات البيتون.

4- إن استخدام رمل المزار يحسن من التدرج الحبي للحصويات مما ينعكس بشكل رئيسي على تحسين مقاومة البيتون على الضغط بنسبة % 13-5.

5- إن أداء الألياف الفولاذية كان أفضل بكثير من أداء كل من ألياف البولي بروبيلين، والسيلكافيوم في رفع مقاومات الجوائز العادية والعميقة، فاستخدام الألياف الفولاذية رفع من مقاومة الإنهيار للجوائز العادية، والعميقة، بنسبة % 26، و % 30-53 على الترتيب.

6- استخدام الألياف الفولاذية جعل الجائز يصل لحمولته الحدية قبل انتشار التشققات على كامل ارتفاعه، مما رفع من مطاوعة الجوائز، كما حد من سعة التشققات، وزاد من انتشارها، وقلل من سهم الجائز، وبالتالي ينصح باستخدام الألياف الفولاذية لدراسة ظهور المفصل اللدن.

7- يمكن استخدام الألياف الفولاذية كبديل للتسليح العرضي في الجوائز البيتونية العادية والعميقة (من ناحية المقاومة القصوى للجوائز)، حيث رفعت حمولة الانهيار بنسبة % 7 في الجوائز العادية، % 19 للجوائز العميقة، إضافة لدورها في السيطرة على ظهور التشققات

برفعها لمقاومة البيتون للشق الأول، ودورها في تحسين مطوعة الجوائز، مع التأكد على ضرورة إجراء تحقيقات إضافية، مثل (إمكانية نشوء انتفاخ في الجوائز- بقاء المقاطع مستوية بعد التشوه).

8- إن غياب تسليح القص في الجوائز، دون استخدام أي نوع من الإضافات، يخفض من مقاومة الإنهيار للجوائز بنسب تصل إلى 20%.

3-7- التوصيات لأعمال مستقبلية :

1- دراسة تأثير تغيير نسب الإضافات المستخدمة في البحث، على المواصفات الميكانيكية للبيتون، والجوائز البيتونية المسلحة.

2- دراسة تأثير الإضافات على تغير العلاقة بين معاملي المرونة E والقص G.

3- دراسة تأثير استخدام أكثر من إضافة، (ولاسيما الألياف الفولاذية مع السيليكافيوم) ، على المواصفات الميكانيكية للبيتون، والجوائز البيتونية المسلحة.

4- دراسة تأثير غياب التسليح العرضي على التشوهات العرضية في الجوائز البيتونية المسلحة، مع الألياف الفولاذية، وتحديد نسبة التسليح العرضي الدنيا للجوائز مع ألياف فولاذية.

5- دراسة الجوائز البيتونية المسلحة مع ألياف فولاذية على الحمولات الترددية، وتقييم أدائها على الزلازل.

6- استخدام الإضافات لمنع انهيار القص في العقد الاطارية، تحت تأثير الأحمال الزلزالية.

7- دراسة تأثير الإضافات على أداء جدران القص.

المراجع المستخدمة

References

- Abaqus, Version 6.12. (2012). ABAQUS/Standard Users Manual, ABAQUS Inc, USA.
- Altun F, Haktanir T, Ari K. (2007). " Effects of Steel Fiber addition on Mechanical properties of Concrete and RC Beams", Construction and Building Materials (21) , pp.654-661.
- ASTM. (2000). " دليل التجارب والاختبارات ومواد البناء ".
- ASTM. (2000). " الكتاب العربي لمواصفات وطرق اختبار الخرسانة ", الجمعية الأمريكية للاختبار المواد.
- BSI. (1990). " Testing Aggregates", British Standard.
- Carino N.J., Clifton J.R., (1995) " Prediction of Cracking in Reinforced Concrete Structures ", NISTIR 5634, Department of Commerce, United State of America.
- Carpinteri A., Corrado M. and Ventura G., (2011), " Failure Mode Scaling Transitions in RC Beams in Flexure: Tensile, Shearing, Crushing", Department of Structural, Geotechnical and Buliding Engineering, Italy.
- CEB-FIP. (March 2010). "Model code 2010 - first complete draft", volume 1.
- Chanh N. (2010). "Steel Fiber Reinforced Concrete", Ho Chi Minh City University of Technology.

- Ciria Guide 2. (1977). " The design of deep beams in reinforced concrete".
- Colin D and Johnston. (2001), "Fiber reinforced cements and concretes", Advanced in concrete technology volume 3 , Gordon and Breach Science publishes.
- Ding Y, You Z, Jalali S. (2011), " The Composite Effect of Steel Fibres and Stirrups on the Shear behaviour of Beams using Self-Consolidating Concrete".
- Endginton J, Hannant D.J, and Williams R.I.T. (1974),"Steel fiber reinforced concrete"—current paper CP 69/74,Building research establishment Garston Watford.
- Eurocode2. (2004), Design of concrete structures.
- Fanella D, and Aand N. (1985). " Stress-strain properties of fiber reinforced mortar compression", ACI journal- July-august 1985, title no.82-41, 457-483.
- Foley M. C. and Buckhouse R. E. (1998). "Strengthening Existing Reinforced Concrete Beams for Flexure Using Bolted External Strcctural Steel Channels", structural Engineering Report_MUST-98-1, Marquette University, January.
- Gambhir M.L. (1995). "Concrete Technology", Second Edition.
- Gampione G, and Mangiavillano M.L.(2008). "Fibrous reinforced concrete beams in flexure: Experimental investigation, analytical modeling and design considerations", Engineering Structures 30, University di Palermo, Italy, pag 2970-2980.
- Hsie M, Tu C, Song P.S. (2008). "Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete", 153-157.
- Kong F K. (2003). "Renforced Concrete Deep Beams", Taylor and Francis Books, Inc. vol.7.No.41, 307-317.

- Krishna Rao, Dakshina N.R, Santhosh V. (2011), " Behaviour of Polypropylene fiber reinforced fly ash concrete deep beams in flexure and shear", Asian Journal of Civil Engineering, VOL, 12, NO.2, 143-154.
- Macginley T.J, and Choo B.S.(1990), "Reinforced Concrete-Design Theory and Examples", second edition, Nanyang Technological Institute, Singapore.
- Monofilament polypropylene fibers for cementations systems, 09/99 BASF_CC-UAE, 02/2007.
- Ozcan D.M, Bayraktar A, Sahin A, Haktanir T, Haktanir T. "Experimental and finite element analysis on the steel fiber-reinforced concrete.
- Rashid Mohammad, Kabir Ahsanul. (1996), "Behaviour of Reinforced Concrete Deep Beam under uniform Loading" , Journal of Civil Engineering, The Institution of Engineers, Bangladesh, Vol. CE 24, No. 2.
- Romualdi J.P, and Batson G.B. (1963), "Mechanics of crack arrest in concrete" , j1.Engineering Mechanics Division , proc.American society of civil Engineering, vol , 89,EM3, 147-168.
- Shah S, and Rangan B.(1971). "fiber reinforced concrete", ACI journal, proceedings V.68,no.2, 126-135.
- Sodamco Company. (2010). "Admixtures & Concrete Related Products", Edition: 03/10-A.
- Song P.S, Hawang S, Sheu B.C. (2005). " Strength Properties of Nylon-and Polypropylene-Fiber-Reinforced Concretes", Cement and Concrete research 35, 1546-1550.
- Sun Z, Xu Q. (2009). "Microscopic physical and mechanical analysis of polypropylene fiber reinforced concrete", A529, 198-204.

- Swamy R.N and Mangat P.S. (1989). " influence of fiber-aggregate interactive on some properties of steel fiber reinforced concrete ".
- The Chemical Company. (1996). "Adding Value to concrete"-Densified silica for concrete, 06/96.
- The Chemical Company. (2007). "Adding Value to concrete".
- Vengatachalapathy.V, Ilangovan.R. (2010). "A Study on Steel Fiber Reinforced Concrete Deep Beams With and without Openings", International Journal of Civil and Structural Engineering, Volume 1, No 3.
- Wlby C.B. (1977). "Concrete for Structural Engineers", London.
- Zhang N, Tan K.h. (2007). "Size effect in RC deep Beams: Experimental investigation and STM verification", Engineering Structures 29, 3241-3254.

- المواصفات القياسية السورية. (2004). دمشق.
- رزوق راتب، زين الدين وهيب . (1989). " تكنولوجيا البيتون والمدخل الى البيتون المسلح"، جامعة دمشق.
- سعود اندراوس، سطاتس راتب. (1988). " مواد البناء واختباراتها"، جامعة دمشق.
- نقابة المهندسين. (2013). " الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت البيتونية ".
-

Abstract

Concrete is the essential construction materials in building, thus all properties especially its strength affect directly on the strength and the dimensions of the structural elements. The compression strength of concrete is very high however, the tension strength of it is weak so, many researches focus on increasing the tension strength by using additives which consequently improve concrete components and change the performance of structural elements.

This research discusses the effect of local additives (steel fiber, poly propylene fiber, glass fiber, silica fume) on the compression strength, the flexural strength, and the cleavage tension, experimentally. Firstly, it discusses the effect of these additives on the behavior of both: normal & deep beams. Secondly, it discusses the effect of these additives as an alternative of transversal reinforcement for all of: normal reinforcement beams, deep beams, complete reinforcement beams, and beams with reinforcement on bending only.

Analytically, also this research study the effect of local steel fiber on the behavior of normal and deep beams by (Finite Elements Method, FEM) by (ABAQUS, V6.12-1) programme. By this programme, we could compare between the behavior of reinforcement concrete beams without additives, and the behavior of reinforcement concrete beams with steel fiber. This comparison was established for both: beam with complete reinforcement and beam with reinforcement on bending only. Then we compare with experimentally results.

Finally, this research presents the important role of local steel fiber as an alternative of transversal reinforcement, also in increasing the workability of concrete, in improving the beam behavior on bending, and in improving the concrete properties on each of compression and tension. The effect of these fibers differs according to the type and the percentage of fiber.

Damascus University
Faculty of Civil Engineering
Department of Structural Engineering



Using Additives for Improving the Performance of Reinforced Concrete Deep Beams

Thesis Submitted in fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of
philosophy in Structural Engineering

By

Houssam Ballout

Supervisors

Dr. Mohammad Ghareeb

Professor

Structural Engineering

Dr. Hala Hasn

Lecture

High Institute for Earthquake

Damascus – Syria

August 2014