



جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام الشبكات المعدنية الملحومة المتوافرة محلياً

*Repair Of Reinforced Concrete Columns Using Locally
Available Welded Wire Meshes (WWMS)*

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية-قسم الهندسة الإنشائية

إعداد

المهندس يامن علي

إشراف

الدكتور المهندس عبد الحميد كيخيا

دمشق 2014

الإهداء

أنتدّم بجزيل الشكر والتقدير إلى كل أساتذتي في كلية الهندسة المدنية وأخص
بالشكر الدكتور المهندس عبد الحميد كيخيا الذي أشرف على البحث وقدم لي
كل مايلزم من التوجيه والمعرفة والتسهيلات في سبيل إنجاز البحث

كل الشكر والتقدير لعائلتي التي احتضنتني دائماً وقدمت لي كل الحب
والدعم

دمشق 2014

م.يامن علي

الفهرس

Index

جدول المحتويات

Table of Contents

I	الفهرس	.....
IV	قائمة الجداول	.....
V	قائمة الأشكال التوضيحية	.....
VII	قائمة المخططات البيانية	.....
1	ملخص البحث	.....
3	مقدمة عامة	.....
6	1. تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة	.....
7	1-1 مقدمة:	.....
8	2-1 أهمية التطويق في الأعمدة البيتونية المسلحة:	.....
8	3-1 التقنيات المستخدمة في تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة:	.....
11	4-1 العوامل المؤثرة في تحديد طريقة التدعيم المناسبة:	.....
12	5-1 لمحة عن طبقة الفيروسمنت (الملاط الحديدي) (ملاط مسلح بشباك حديدية) FERROCEMENT: [5]	.....
12	1-5-1 تعريف طبقة الفيروسمنت Ferrocement:	.....
13	2-5-1 أشكال شبكات الأسلاك الملحومة المستخدمة في طبقة الفيروسمنت:	.....
15	3-5-1 مميزات استخدام طبقة الفيروسمنت:	.....
17	4-5-1 تأثير أقطار وتباعدات الأسلاك المستخدمة في الشبكة على نمط الانهيار:	.....
18	2. الدراسة المرجعية	.....
19	1-2 (B. KONDRAIVENDHAN AND BULU PRADHAN, 2009):	.....
23	2-2 (S.M. MOURAD AND M.J. SHANNAG, 2012):	.....
28	3-2 (G.J. XIONG AND X.Y. WU AND F.F. LI AND Z. YAN, 2011):	.....
32	4-2 (A. B. M. AMRUL KAISH, MD. ABDUL WAHED, MD. RABIUL ALAM, 2011):	.....
35	5-2 (SUNG-HOON KIM AND DAE-KON KIM, 2011):	.....
39	3. الدراسة التجريبية	.....
40	1-3 مقدمة:	.....
40	2-3 تحضير العينات للتجربة:	.....
42	3-3 الدراسة التحليلية:	.....
43	1-3-3 التحقق أن العمود قصير وفق الكود العربي السوري:	.....
44	2-3-3 تحمّل المقطع العرضي:	.....

44	4-3 الدراسة التجريبية:
44	3-4-1 المرحلة الأولى:
45	3-4-2 المرحلة الثانية:
47	3-4-3 المرحلة الثالثة:
71	3-5 معامل مطاوعة الإزاحة :DISPLACEMENT DUCTILITY RATIO
73	4. النتائج والتوصيات
74	4-1 نتائج البحث:
75	4-2 التوصيات:
76	5. المراجع
79	6. ملحق A
82	7. ملحق B
83	7-1 اختبار مقاومة الضغط للعينات البيتونية بعد 28 يوم من الصب:
83	7-2 تصميم خلطة المونة الاسمنتية الخاصة بطبقة التدعيم:
86	8. ملحق c
87	8-1 الاختبارات على شبكات الأسلاك الملحومة WWMS:
87	8-1-1 تحضير العينات لشبكات الأسلاك الملحومة WWMS بحسب [8]:
88	8-1-2 أبعاد عينات شبكات الأسلاك الملحومة WWMS:
89	8-2 مواصفات شبكة الأسلاك الملحومة WWMS:
89	8-2-1 حساب النسبة الحجمية Volume Fraction لشبكات الأسلاك الملحومة WWMS:
91	8-2-2 نتائج اختبار عينات شبكات الأسلاك الملحومة:

قائمة الجداول

LIST of TABLES

الجدول 1-1: مواصفات شبكات الأسلاك الملحومة من دليل إحدى الشركات المحليّة [10]	15
الجدول 1-2: مواصفات الخلطات البيتونية [3]	20
الجدول 2-2: الزيادة بقيمة حمولة الإنهيار كنسبة مئوية [3]	22
الجدول 3-2: الزيادة بقيمة التشوهات المحورية والجانبية كنسبة مئوية [3]	22
الجدول 4-2: تفاصيل وعدد عينات الأعمدة المختبرة [1]	24
الجدول 5-2: مواصفات المواد المستخدمة	29
الجدول 6-2: تفاصيل العينات المستخدمة في التجارب [12]	30
الجدول 7-2: نتائج الدراسة التجريبية [12]	31
الجدول 8-2: وسطي قيم الحمولة الحديدية لكافة العينات [7]	34
الجدول 9-2: مواصفات العينات [11]	37
الجدول 1-3: أرقام عينات المرحلة الثالثة وقيم التحميل المسبق	47
الجدول 2-3: التشوهات الطولية للعيّنة SC-1	49
الجدول 3-3: التشوهات الجانبية للعيّنة SC-1	50
الجدول 4-3: التشوهات الطولية للعيّنة SJ-0-1	51
الجدول 5-3: التشوهات الجانبية للعيّنة SJ-0-1	52
الجدول 6-3: التشوهات الطولية للعيّنة SJ-50-1	54
الجدول 7-3: التشوهات الجانبية للعيّنة SJ-50-1	55
الجدول 8-3: التشوهات الطولية للعيّنة SJ-70-1	57
الجدول 9-3: التشوهات الجانبية للعيّنة SJ-70-1	58
الجدول 10-3: التشوهات الطولية للعيّنة SJ-90-1	60
الجدول 11-3: التشوهات الجانبية للعيّنة SJ-90-1	61
الجدول 12-3: الزيادة في حمولة الإنهيار بالنسبة للعيّنة الأساسية	69
الجدول 13-3: الزيادة في حمولة الإنهيار بالنسبة للعيّنة الأساسية SC2	70
الجدول 14-3: وسطي معامل الإزاحة للعينات	72
الجدول 1-6: نتائج تجربة الشد لفلوآذ التسليح	81
الجدول 1-7: نتائج اختبار مقاومة الضغط للعينات البيتونية	83
الجدول 2-7: نتائج اختبار مقاومة الضغط لعينات المونة الاسمنتية بعد 28 يوم	85
الجدول 1-8: نتائج اختبار الشد على عينات شبكات الأسلاك الملحومة	93

قائمة الأشكال التوضيحية

LIST OF FIGURES

- الشكل 1-1: الطريقة النموذجية لربط الأساور في الأعمدة..... 8
- الشكل 2-1: انهيار أحد الأعمدة في زلزال بهاج BHUJ EARTHQUAKE في الهند عام 2001 8
- الشكل 3-1: التدعيم باستخدام القمصان البيتونية CONCRETE JACKETING [4] 9
- الشكل 4-1: التدعيم باستخدام القمصان الفولاذية STEEL JACKETING [4] 10
- الشكل 5-1: التدعيم باستخدام قمصان البوليمرات المسلحة بالألياف FIBER REINFORCED POLYMER (FRP) JACKETING 10
-[4] 10
- الشكل 6-1: العوامل المؤثرة في تحديد طريقة التدعيم المناسبة [4]..... 11
- الشكل 7-1: مراحل إنشاء خزان مائي باستعمال الفيروسمنت [9] 12
- الشكل 8-1: أشكال مختلفة من شبكات الأسلاك الملحومة WWMS [8] 13
- الشكل 9-1: شبكة ثلاثية الأبعاد [8] 14
- الشكل 10-1: شبكات الأسلاك الملحومة المتوفرة محلياً [10] 14
- الشكل 11-1: شبكات الأسلاك الملحومة المتوفرة في السوق المحلية والتي استخدمت في التجارب الخاصة بالبحث الحالي..... 15
- الشكل 12-1: نمط انهيار أحد العينات [12] 17
- الشكل 1-2: أبعاد العينة البيتونية المقواة (CONFINED CONCRETE SPECIMEN) [3] 20
- الشكل 2-2: تثبيت مقاييس التشوه [3] 21
- الشكل 3-2: منحنى إجهاد-تشوه للعينة البيتونية الأساسية والمقواة من أجل صنف البيتون M25 [3] 21
- الشكل 4-2: أنماط الانهيار للعينات البيتونية الأساسية والمقواة [3] 22
- الشكل 5-2: تفاصيل التسليح وأبعاد عينات الأعمدة المربعة الشكل [1] 24
- الشكل 6-2: مراحل إعداد قمصان FERROCEMENT [1]..... 25
- الشكل 7-2: تجربة التحميل على عينات الأعمدة [1] 25
- الشكل 8-2: منحنى انتقال-حمولة (LOAD-DISPLACEMENT) للعينات المختبرة [1] 25
- الشكل 9-2: منحنى تشوه-إجهاد (STRESS-STRAIN) للعينات المختبرة [1] 26
- الشكل 10-2: شكل الإنهيار للعينات المقواة [1] 26
- الشكل 11-2: شكل الإنهيار النموذجي من أجل عينات الأعمدة المدعّمة [1] 27
- الشكل 12-2: المقطع العرضي والطولي للعينات (الواحدات MM) [12] 29
- الشكل 13-2: منحنيات تشوه-إجهاد لمختلف المواد المستخدمة في التقوية [12] 30
- الشكل 14-2: العلاقة بين الحمولة والتشوهات لمختلف العينات [12] 30
- الشكل 15-2: أشكال الانهيار للعينات [12] 31
- الشكل 16-2: الأشكال المستخدمة في تقوية الأعمدة البيتونية المسلحة [7] 32
- الشكل 17-2: أبعاد وتفاصيل التسليح للأعمدة المرجعية والمقواة [7] 33

- الشكل 2-18: أماكن توضع مقاييس التشوه الطولية والجانبية على العينات وقيمة اللامركزية الثابتة [7] 34
- الشكل 2-19: أشكال انهيار العينات [7] 34
- الشكل 2-20: تفاصيل عينات التجارب [11] 36
- الشكل 2-21: أبعاد المقطع العرضي للعمود الأساسي الغير مدعم [11] 36
- الشكل 2-22: أبعاد العينات المدعمة [11] 37
- الشكل 2-23: سجل التحميل LOADING HISTORIES [11] 38
- الشكل 3-1: مخطط أبعاد وتفاصيل التسليح لعينات الأعمدة البيتونية المسلحة (الأبعاد بـ MM) 41
- الشكل 3-2: توضع مقاييس الانتقالات الطولية والجانبية للعيينة SJ-0-1 41
- الشكل 3-3: تنفيذ التسليح لعينات الأعمدة البيتونية المسلحة كما في المخططات 42
- الشكل 3-4: عينات الأعمدة البيتونية المسلحة بعد فك القوالب 42
- الشكل 3-5: الجملة الإنشائية للأعمدة والقوى المطبقة (الأبعاد بـ MM) 43
- الشكل 3-6: العينة SC1 أثناء الاختبار 45
- الشكل 3-7: مخطط تفصيلي لتوضع الشبكات وأبعاد طبقة التدعيم (الأبعاد بـ MM) 46
- الشكل 3-8: الأعمدة البيتونية المسلحة بعد تغليفها بشبكات الأسلاك الملحومة 46
- الشكل 3-9: تغليف شبكات الأسلاك الملحومة بطبقة من المونة الإسمنتية وبسماكة 30MM 46
- الشكل 3-10: العينة SJ-0-1 بعد تنفيذ طبقة التدعيم 47
- الشكل 3-11: تجربة التحميل على العينة SJ-0-1 47
- الشكل 3-12: تحميل عينة عمود بحمولة أعظمية 40 طن 48
- الشكل 3-13: الأعمدة البيتونية المسلحة المدعمة 48
- الشكل 3-14: مقارنة نتائج التحميل للعينات المختبرة 69
- الشكل 3-15: مقارنة نتائج التحميل للعينات المختبرة في الدراسة المرجعية 70
- الشكل 3-16: طريقة تعيين الانتقالات عند حد الخضوع والانهيار [4] 71
- الشكل 6-1: قضبان التسليح 10MM المستخدم في التسليح الطولي للأعمدة البيتونية المسلحة 80
- الشكل 6-2: قضبان التسليح 6MM المستخدم في التسليح العرضي (الأساور) للأعمدة البيتونية المسلحة 80
- الشكل 6-3: تجربة شد العينات الفولاذية 80
- الشكل 7-1: العينات المكعبية (10x10x10 CM) الخاصة بالمونة الإسمنتية 84
- الشكل 7-2: شكل انهيار العينة المكعبية (10x10x10 CM) 84
- الشكل 8-1: رسم تخطيطي لعينة الاختبار على الشد ومنحني تشوه-إجهاد [8] 88
- الشكل 8-2: أبعاد العينات اللازمة لإجراء تجربة الشد على شبكات الأسلاك الملحومة 89
- الشكل 8-3: الأبعاد المعدلة للعينات المختبرة 89
- الشكل 8-4: عينات شبكات الأسلاك الملحومة المعدلة للاختبار 91
- الشكل 8-5: اختبار الشد على العينة رقم (1) 91
- الشكل 8-6: شكل انهيار العينة رقم (3) 92

قائمة المخططات البيانية

LIST OF Charts

63	المخطط البياني 1-3: نتائج تحميل العينات SC
64	المخطط البياني 2-3: نتائج تحميل العينات SJ-0
65	المخطط البياني 3-3: نتائج تحميل العينات SJ-50
66	المخطط البياني 4-3: نتائج تحميل العينات SJ-70
67	المخطط البياني 5-3: نتائج تحميل العينات SJ-90
68	المخطط البياني 6-3: مقارنة نتائج التحميل لبعض العينات
92	المخطط البياني 1-8: منحنيات تشوه-إجهاد للعينات الثلاثة

ملخص البحث

Abstract

ملخص البحث

Abstract

تُعتبر الأعمدة من أهم وأخطر العناصر الإنشائية في المنشآت الهندسية، لذلك فإنّ دراسة سبل تقويتها ورفع كفاءتها يعتبر من إحدى المتطلبات الأساسية لتقوية ورفع كفاءة المنشآت البيتونية المسلّحة القائمة. توجد تقنيات مختلفة لتقوية الأعمدة وذلك بتطويقها بمواد مختلفة (بيتونية، معدنية، بوليميرات) ويتم اختيار الطريقة المناسبة وفق معايير وظروف مختلفة.

تمّ في هذا البحث إجراء دراسة تجريبية لبيان فاعلية استخدام الملاط الأسمنتي مع الشبك المعدني المصنوع محلياً¹ (طبقة الفيروسمنت) في تقوية الأعمدة البيتونية المسلحة، حيث تمّ صب 15 عينة من الأعمدة البيتونية المسلحة المربعة الشكل، وحُمّلت مسبقاً تحت تأثير الضغط المحوري حتى نسب مختلفة تعادل (0%-50%-70%-90%) من حمولتها الحديّة، وبعدها تمّ تدعيمها باستعمال القمصان من **Ferrocement** (الملاط المسلّح بشباك حديدية) والمحتوية على طبقتين من شبكات الأسلاك الملحومة (**WWMs**) المتوضعة ضمن طبقة من الملاط الاسمنتي. وبعدها أُعيد اختبارها حتى حدوث الانهيار. تمّ تحليل النتائج لمعرفة أثر طريقة التدعيم على كل من مقاومة الضغط القصوى للعمود **Ultimate Compressive Strength**، مطاوعة العمود **Ductility Of the Column**، أشكال الإنهيار **Failure Modes**.

ويأتي هذا البحث محاولة لدراسة هذه التقنية في التدعيم ضمن واقع منشآتنا الهندسية، ومدى اقتصادية هذه الطريقة والجدوى من استخدامها.

¹استُخدمت الشبكات ذات الفتحات المربعة الشكل

مقدمة عامة

أصبح تدعيم **Repair** وإعادة تأهيل **Rehabilitation** المنشآت القائمة جزء أساسي من أعمال البناء. حيث تشير بعض التقديرات حول العالم أنّ الإنفاق في العام 2010 على أعمال التدعيم والصيانة شكّل حوالي 85% من الإنفاق الإجمالي في مجال البناء، بالإضافة إلى ذلك أنفق 50 بليون دولار أمريكي فقط من أجل تجديد الجسور المتدهورة في الولايات المتحدة الأمريكية. وتشمل أغلب أعمال التأهيل تدعيم المنشآت المتصدعة القديمة والمنشآت المتضررة بفعل الهزات الأرضية والكوارث الطبيعية. لذلك فتطوير طرق تدعيم فعالة اقتصادياً وتدوم طويلاً يمكن أن يسهم بتخفيض متطلبات الصيانة على نحو كبير، ويزيد من أمان الحياة، ويزيد من المدة الاستثمارية للمنشآت البيتونية [1].

تواجه هندسة البناء اليوم حاجة متزايدة لإجراء عمليات تدعيم وتقوية لمنشآت موجودة فعلاً من أجل ضمان عدم انهيارها، أو من أجل زيادة تحملها للحمولات المطبقة عليها، فمثلاً تحتاج كثير من الأبنية خلال مراحل استثمارها إلى تدعيم وتقوية بسبب تغير نظام خدمتها أو تضرر مواد بنائها نتيجة مرور الزمن أو الحرائق أو صدمات المركبات، أو بسبب تعرّضها لهزة أرضية أو عيوب طارئة في التربة [2]. أيضاً تزداد الحاجة إلى التقوية إما بسبب تغير الكودات التصميمية التي جعلت من هذه المنشآت غير قياسية أو بسبب السماح بحمولات أكبر على عناصر هذه المنشآت حيث يتطلب ذلك تدعيم كلي. وهذا يبرّر تطوير طرق مبتكرة لإعادة تأهيل وتقوية المنشآت البيتونية [3].

فعلى سبيل المثال تتطلب أعمدة الجسور وركائزها التقوية لمقاومة الزلازل (إذا لم يكن تأثيرها مأخوذاً بالحسبان أثناء التصميم)، أو بسبب تغير وظيفة الجسر وزيادة الحمولات المطبقة عليه أو ازدياد الحجم المروري أو توضع آليات ثقيلة عليه، وأحياناً نضطر لإحداث تغييرات في الجملة الإنشائية للمبنى كإجراء فتحات في البلاطة أو إزالة بعض الجدران ممّا يستدعي تدعيم المنشأ في بعض عناصره [2].

تمّ التأكيد بشكل كبير في السنوات الأخيرة على تقوية العناصر من البيتون المسلح مثل الجوائز، الأعمدة ... الخ، لأن انهيار مثل هذه العناصر قد يؤدي إلى انهيار كارثي للمنشأ ككل. حيث يسبب انهيار أعمدة البناء إلى انهيار كلي للبناء، وبخاصة عندما تنتقل الحمولات الشاقولية فقط من خلال هذه العناصر إلى التربة.

الهدف من البحث:

يهدف هذا البحث إلى التحقق من فعالية تطبيق طريقة لتدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام الملاط الأسمنتي مع شبكات الأسلاك الملحومة المتوافرة محلياً (طبقة الفيروسمنت) وتطبيقها ضمن الظروف المحلية. وهذا يتضمن الأهداف الجزئية التالية:

1. استخدام شبكات الأسلاك الملحومة ذات التقاطعات المربعة الشكل المتوافرة محلياً.
2. تطبيق طريقة التقوية والتدعيم على عينات من الأعمدة البيتونية المسلحة والمربعة الشكل.
3. تدعيم أعمدة متصدعة أو متضررة بنسب تصدّع مختلفة ناتجة عن التحميل المسبق.
4. دراسة أثر طريقة التدعيم على كل من مقاومة الضغط القصوى للعمود، مطاوعة العمود، نمط الانهيار.

أهمية البحث:

تأتي أهمية البحث من النقاط التالية:

1. اقتراح إمكانية استخدام شبكات الأسلاك الملحومة **WWMs** المتوافرة محلياً لتدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة.

2. إنّ تغليف شبكة الأسلاك الملحومة بطبقة من المونة الاسمنتية عالية المقاومة تساعد في تأمين

حماية مناسبة من التآكل لقضبان التسليح وحماية جيّدة من الحرائق **Fire and Corrosion**

.Resistance

3. تعتبر طريقة التدعيم المقترحة ذات تكلفة اقتصادية مقبولة بالمقارنة مع طرق تدعيم أخرى.
4. لاحتياج الطريق المقترحة إلى مهارات عالية في التنفيذ.
5. يمكن لشبكة الأسلاك الملحومة أن تأخذ الشكل الهندسي (مربع-دائري-مستطيل..الخ) لأي مقطع عرضي من عمود مطلوب تدعيمه.

ويأتي هذا البحث محاولة لدراسة هذه التقنية في التدعيم ضمن واقع منشآتنا الهندسية، ومدى اقتصادية هذه الطرائق والجدوى من استخدامها، وتمّ التركيز في هذا البحث على تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة بمقطع عرضي مربع الشكل **150X150mm** وبارتفاع **1000mm** وخاضعة بشكل أساسي إلى حمولة ضغط محورية.

تم تقسيم البحث إلى أربعة فصول أساسية:

الفصل الأول: يلقي الضوء على الطرق الممكنة استخدامها في تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة والعوامل التي تساهم بتحديد طريقة التدعيم المناسبة وإعطاء لمحة موجزة عن طبقة الفيروسمنت وأشكال شبكات الأسلاك الملحومة **WWMs**.

الفصل الثاني: يتضمّن عرض موجز عن الأبحاث المتعلقة بتدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام طبقة الفيروسمنت.

الفصل الثالث: يتضمّن دراسة تجريبية لأعمدة بيتونية مسلّحة. مقطعها العرضي مربع الشكل **150X150mm** وبارتفاع **1000mm**.

الفصل الرابع: ويتضمن عرض لنتائج الدراسة التجريبية وبيان أثر طريقة التدعيم على كل من:

• مقاومة الضغط القصوى للعمود **Ultimate Compressive Strength**

• مطاوعة العمود **Ductility Of the Column**

• أشكال الانهيار **Failure Modes**

وفي نهاية البحث تم وضع مجموعة من التوصيات الواجب أخذها بالاعتبار عند دراسة مثل هذا النوع من التدعيم في الأبحاث المستقبلية. وأخيراً تم إرفاق ملاحق للتجارب التي أجريت على المواد المستخدمة في البحث الحالي.

1. تدعيم الأعمدة البيتونية

المسلحة

**Repair of reinforced
concrete columns**

الفصل الأول

تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة

1-1 مقدمة:

تتعرض المنشآت الهندسية بشكل عام إلى التصدّع والعيوب الناتجة عن أسباب متعددة منها خارجية (ظروف الوسط المحيط، كوارث، حمولات غير متوقعة... الخ) أو داخلية ناتجة عن تغيّر المواصفات الفيزيائية والميكانيكية لمواد البناء مع الزمن.

تعريف أساسية:

الترميم: إصلاح العيوب المعمارية الخاصة بالإكساء وإعادة الوضع على أماكن عليه أو تحسينه. وكذلك إصلاح النوافذ، الأبواب، الدهان، الرخام وغير ذلك من العناصر المعمارية.

إعادة التأهيل (التدعيم): إصلاح العناصر الإنشائية الحاملة لتصبح قادرة على مقاومة الأحمال السابقة.

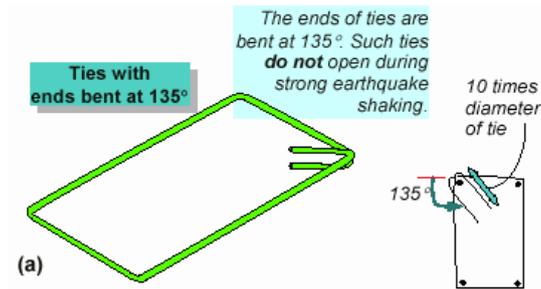
إعادة التأهيل (التقوية): استخدام أساليب تسبب زيادة قدرة التحمل للعناصر الإنشائية إلى الحد المطلوب.

الاستبدال: إزالة العنصر الإنشائي واستبداله بآخر جديد لفقدان الجدوى الاقتصادية لوجوده.

2-1 أهمية التطويق في الأعمدة البيتونية المسلحة:

يمكن أن تُعزى أسباب الأضرار النموذجية في الأعمدة البيتونية المسلحة إلى النقص في التطويق **confinement** والناتج عن التباعد الكبير بين الأساور في الأعمدة، واستعمال عكفات للأساور بزواوية 90 درجة حتى لو استخدمت تباعدات قليلة بين الأساور [1].

الشكل 1-1 يوضّح الطريقة النموذجية لربط الأساور في الأعمدة. الشكل 2-1 يوضّح انهيار أحد الأعمدة في زلزال بهاج Bhuj earthquake في الهند عام 2001.



الشكل 1-1: الطريقة النموذجية لربط الأساور في الأعمدة



الشكل 2-1: انهيار أحد الأعمدة في زلزال بهاج Bhuj earthquake في الهند عام 2001

3-1 التقنيات المستخدمة في تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة:

توجد عدة طرق لتدعيم الأعمدة منها: القمصان البيتونية **concrete jacketing**، القمصان الفولاذية **steel jacketing**، القمصان من البوليمرات المسلحة بالألياف **fiber reinforced polymer (FRP) jacketing**. أظهرت هذه الطرق الثلاثة فعالية بزيادة طاقة الحمولة المحورية للأعمدة [4].

وتوضّح الأشكال (الشكل 1-3، الشكل 1-4، الشكل 1-5) طرق التدعيم المختلفة للأعمدة البيتونية المسلحة.



(b)



(a)



(d)



(c)

الشكل 1-3: التدعيم باستخدام القمصان البيتونية Concrete Jacketing [4]

(a) قضبان التسليح Rebar Reinforcement

(b) ألياف الأسلاك الملحومة (WWF) Welded Wire Fabric

(c) نظام القفص المعدني المصنّع مسبقاً "Prefabricated Cage System (PCS)"¹

(d) باستعمال طبقة الفيروسمنت المحتوية على شبكات الأسلاك الملحومة Welded

² Wire Meshes(WWMs)

¹ يتألف من مقطع فولاذي مستمر مع وجود فتحات تطبق بمرحلة لاحقة، ويؤمن التسليح باستخدام PCS تسليح بالاتجاه الطولي والعرضاني بنفس الوقت ويمكن استخدامه من أجل المقاطع الدائرية والمستطيلة. ويمكن استعمال PCS كتسليح في الأعمدة، جدران القص، الأساسات والجوائز.

² موضوع البحث الحالي



(b)



(a)

الشكل 4-1: التدعيم باستخدام القمصان الفولاذية
 (a) الأنابيب الفولاذية المملوءة بالبيتون (CFST)
 (b) الزوايا الفولاذية Steel Caging



(b)



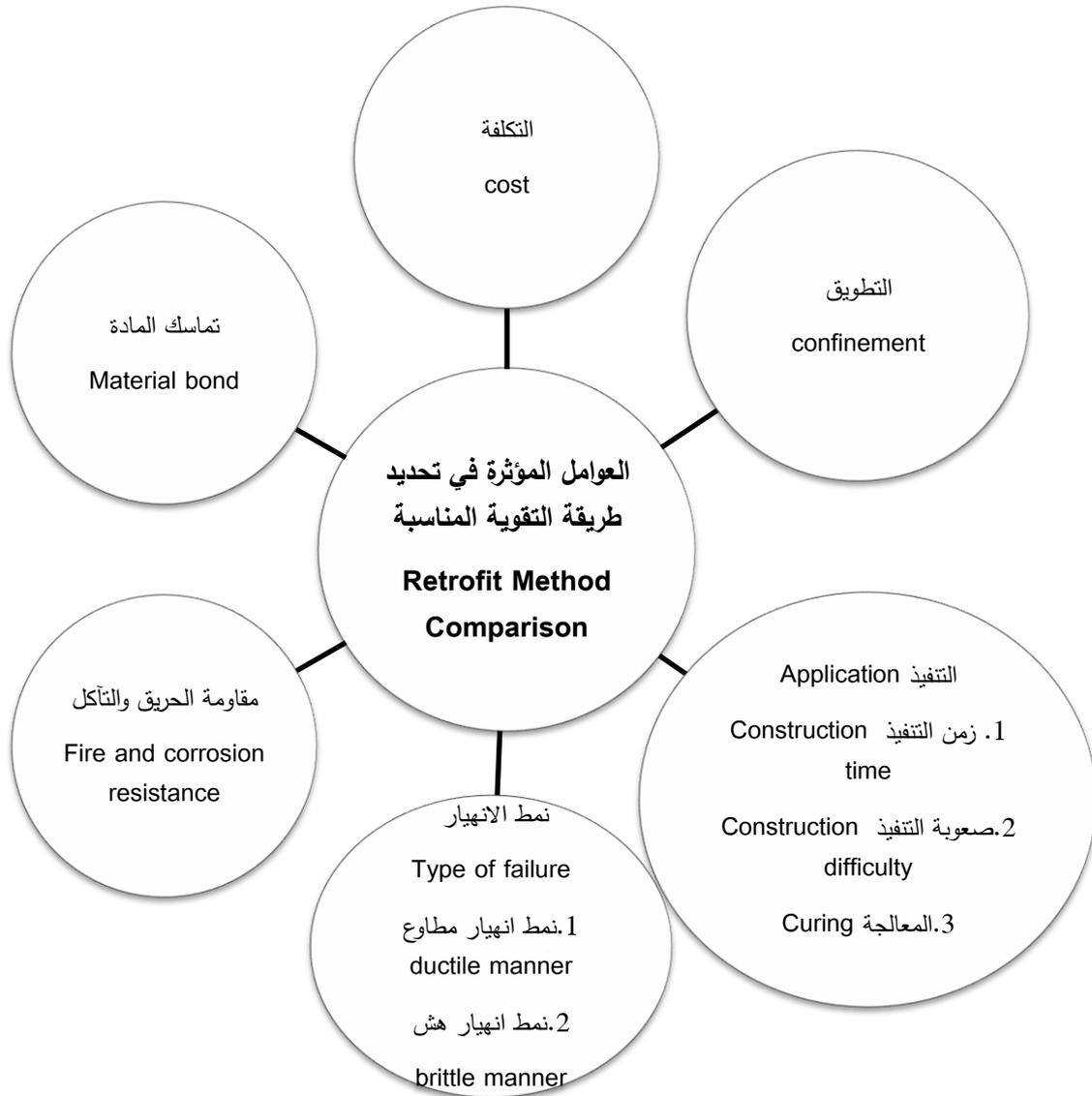
(a)

الشكل 5-1: التدعيم باستخدام قمصان البوليمرات المسلحة بالألياف
 [4] Fiber Reinforced Polymer (FRP) Jacketing
 (a) الألياف الزجاجية GFRP
 (b) الألياف الكربونية CFRP¹

¹توجد أيضاً الألياف الأراميدية.

4-1 العوامل المؤثرة في تحديد طريقة التدعيم المناسبة:

هناك مجموعة من العوامل التي تؤثر على اختيار طريقة التدعيم المناسبة وتفضيل طريقة دون غيرها. وهذه العوامل موضحة وفق الشكل 6-1.



الشكل 6-1: العوامل المؤثرة في تحديد طريقة التدعيم المناسبة [4]

5-1 لمحة عن طبقة الفيروسمنت (الملاط الحديدي) (ملاط مسلح بشباك

حديدية)¹ Ferrocement:

1-5-1 تعريف طبقة الفيروسمنت Ferrocement:

تم اكتشاف الفيروسمنت في عام 1848 كشكل أولي من البيتون المسلح واستخدمت حينها في صناعة القوارب. ومنذ عام 1940 أخذت تطبيقاتها في الهندسة المدنية بالتوسع [6].

استُخدمت طبقة الفيروسمنت في العقود الأخيرة للتقوية وإعادة التأهيل بسبب خصائصها المقاومة للتشقق **crack resisting properties**. تمتلك هذه المادة كلف منخفضة للتصنيع والتنفيذ ولا تحتاج إلى أي حماية ضد التآكل والحرائق **Fire and corrosion protection** مما يجعل من هذه المادة الرخيصة الثمن بديل عن التطويق باستخدام الفولاذ ومركبات **FRP** [7].

ويمكن تعريف الفيروسمنت كما ورد في [8]: بأنها شكل من البيتون المسلح ويستخدم فيها طبقات متعددة وبتباعدات متقاربة من الشبكات ومغطاة بشكل كامل بالمونة الاسمنتية. تطبيقات الفيروسمنت متعددة وبخاصة في المنشآت أو العناصر الإنشائية حيث تكون المهارات المطلوبة لتنفيذها بمستواها الأدنى. بالإضافة لاستعمال الفيروسمنت في القوارب والمنشآت البحرية **marine structures** فإنها تستخدم أيضاً في الوحدات السكنية **housing units**، الخزانات المائية **water tanks**، صوامع الحبوب **grain silos**، ألواح الأسقف **roofing sheets** المتموجة أو المستوية، قنوات الري **irrigation channels** [8]. والشكل 1-7 يبين مراحل إنشاء خزان مائي باستعمال الفيروسمنت.



الشكل 1-7: مراحل إنشاء خزان مائي باستعمال الفيروسمنت [9]

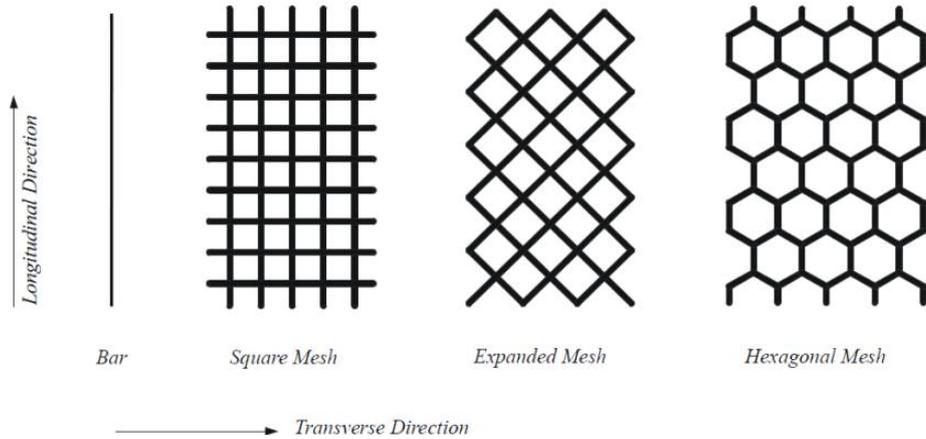
¹ الترجمة كما وردت في [5]

ويمكن تعريف الفيروسمنت كما ورد في [3]: بأنها شكل خاص من البيتون المسلح الذي يبدي سلوك مختلف عن البيتون المسلح التقليدي من ناحية سلوك المقاومة وإمكانية التطبيق. فالتوزيع المتجانس للتسليح ضمن خلطة المونة الإسمنتية يسهم بتحسين العديد من الخواص الهندسية للمادة. مثل الشد **Tensile**، مقاومة الانعطاف **Flexural strength**، الصلابة **Toughness**، الانكسار **Fracture**، التحكم بالشقوق **Crack Control**، مقاومة التعب **Fatigue Resistance**، وأيضاً مقاومة الصدم **Impact Resistance**.

1-5-2 أشكال شبكات الأسلاك الملحومة المستخدمة في طبقة الفيروسمنت:

يوجد شكلان لشبكات الأسلاك المتداولة فيمكن أن تكون الفتحات مربعة الشكل **square opening** أو سداسية الشكل **hexagonal opening**. يمكن أن يشار إلى الشبكات بالفتحات السداسية الشكل بالاسم **chicken wire mesh** وهي غير فعّالة إنشائياً كما في حالة الشبكات ذات الفتحات المربعة لأن الأسلاك لاتكون دائماً موجهة باتجاه الإجهادات الرئيسية الأعظمية. ولكنها تكون فعّالة في حالة العناصر المنحنية باتجاهين [8].

والشكل 1-8 يبيّن أشكال مختلفة من شبكات الأسلاك الملحومة WWMs.



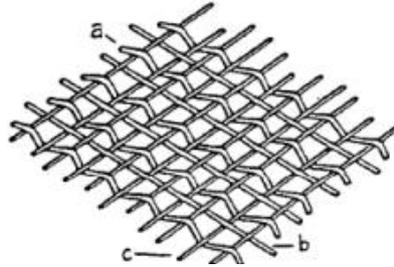
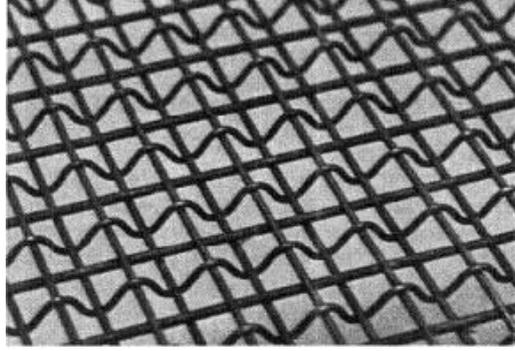
الشكل 1-8: أشكال مختلفة من شبكات الأسلاك الملحومة WWMs [8]

تتوافر الشبكات ذات الفتحات المربعة بشكليين الملحومة **welded** والمجدولة **woven**. تكون شبكات الأسلاك الملحومة مصنوعة من أسلاك مستقيمة في الاتجاهين العرضاني والطولاني وملحومة عند نقاط التقاطع، لذلك تكون سماكة الشبكة الملحومة مساوية إلى مجموع قطري سلكين. تكون الشبكات المجدولة مصنوعة من أسلاك طولانية مجدولة حول الأسلاك العرضانية المستقيمة، وبالتالي يمكن لسماكة الشبكة المجدولة أن تصل إلى مجموع أقطار ثلاثة أسلاك [8].

تكون لشبكات الأسلاك الملحومة معاملات أكبر وبالتالي صلابة أكبر من حالة الشبكات المجدولة وتؤدي أيضاً إلى ساعات شق **crack widths** أصغر في الجزء الأول من منحنى تشوه-حمولة

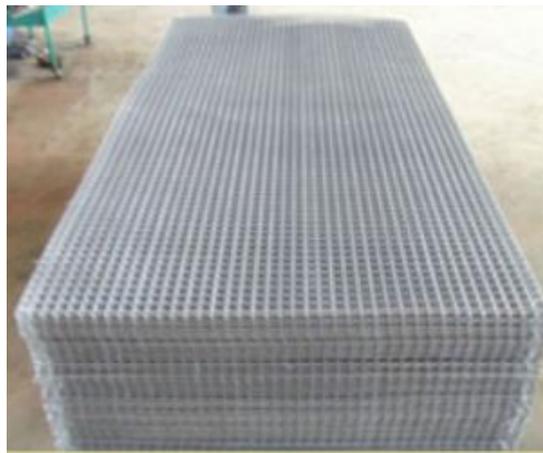
Load-deformation curve. وتكون شبكات الأسلاك المجدولة أكثر مرونة وسهولة للعمل من حالة الشبكات الملحومة. ويسبب اللحام انخفاض في مقاومة الشد [8].

وأيضاً تتوافر شبكات ثلاثية الأبعاد **three-dimensional mesh** كما في الشكل 9-1.



الشكل 9-1: شبكة ثلاثية الأبعاد [8]

يمكن ألا تتوافر شبكات الأسلاك الملحومة (WWMs) المتوافقة مع المواصفات الأمريكية **ACI Standards** في الأسواق، وهذا يؤدي لاستخدام شبكات مخصصة لأغراض غير إنشائية، وهذه الأنواع من الشبكات مصنوعة من الفولاذ المغلفن الذي يُستخدم في إنشاء التصاوين وأغراض أخرى وتكون هذه الشبكات متوفرة تجارياً في الأسواق [1]. كما هو موضح بالشكل 10-1.



الشكل 10-1: شبكات الأسلاك الملحومة المتوفرة محلياً [10]

والجدول 1-1 يبيّن مواصفات شبكات الأسلاك الملحومة من دليل إحدى الشركات المحليّة.

الجدول 1-1: مواصفات شبكات الأسلاك الملحومة من دليل إحدى الشركات المحلية [10]

Welded wire mesh			
Weight(K.g)	Hole(c.m)	Size(c.m)	Wire diameter (m.m)
3,900	2,5× 2,5	200× 100	2,00 mm
2,000	5×5	200× 100	2,00 mm
6,250	2,5× 2,5	200× 100	2,50 mm
3,000	5×5	200× 100	2,50 mm
8,250	2,5× 2,5	200× 100	3,00 mm
4,500	5×5	200× 100	3,00 mm
2,500	9×9	190× 90	3,40 mm
3,250	8×8	192× 88	3,40 mm
6,000	5×5	200× 100	3,50 mm
8,000	5×5	200× 100	4,00 mm
3,450	5×5	200× 95	2,70 mm
3,500	5×5	200× 95	2,70 mm
1,620	7,5× 7,5	100× 100	3,00 mm

ويوضِّح الشكل 1-11 شرائح الشبكات المستخدمة في البحث الحالي.



الشكل 1-11: شبكات الأسلاك الملحومة المتوفرة في السوق المحلية والتي استخدمت في التجارب الخاصة بالبحث الحالي

3-5-1 مميزات استخدام طبقة الفيروسمنت:

التدعيم باستخدام طبقة الفيروسمنت له مميزات متعددة منها:

1. إنَّ تغليف الشبكات بطبقة من المونة الإسمنتية عالية المقاومة تساعد في تأمين حماية مناسبة من التآكل لقضبان التسليح وحماية جيدة من الحرائق.
2. تُعتبر طريقة التدعيم المقترحة ذات تكلفة اقتصادية مقبولة بالمقارنة مع طرق تدعيم أخرى.
3. لا تحتاج الطريقة المقترحة إلى مهارات عالية في التنفيذ.
4. يمكن لشبكات الأسلاك الملحومة أن تأخذ الشكل الهندسي (مربع-دائري-مستطيل..الخ) لأي مقطع عرضي من عمود مطلوب تدعيمه.

5. إنَّ التوزيع المتجانس للشبكات ضمن خلطة المونة الإسمنتية يُسهم بتحسين العديد من خواص المادة.

توجد تقنيتان لزيادة طاقة تحمّل العمود المحورية، إمّا بزيادة مساحة المقطع العرضي أو باستعمال قميص خارجي من البيتون المسلّح أو بزيادة الضغط الجانبي للعمود بتغليف العمود خارجياً بطبقات متعددة من البوليمرات المسلّحة بالألياف **FRP**. التقنية الأولى تؤدّي إلى قياس أكبر للعمود والذي من الممكن ألا يكون مناسباً ويحتاج لوقت وجهد أكبر في التنفيذ، ومع ذلك يؤدي استخدام القمصان البيتونية المسلحة إلى تكلفة منخفضة نسبياً. أما التقنية الثانية باستخدام مركبات **FRP** فتؤدّي إلى طاقة تحمّل أعلى ومن دون زيادة قياس مقطع العمود، ويمكن تنفيذها خلال وقت قصير حتى لو كان المبنى في حالة الاستثمار. ولكن هذه الطريقة تؤدي إلى كلفة مرتفعة نسبياً [6].

وكما ورد في [6] فركّز هذا المشروع البحثي للتحقق من تقنية مختلفة لزيادة الضغط الجانبي للبيتون بهدف زيادة طاقة التحمّل للعمود، وباستعمال هذه التقنية فإنّه يتم جمع إيجابيات الطريقتين السابقتين معاً مثل: التكلفة المنخفضة نسبياً، سهولة التنفيذ، وبدون زيادة المقطع العرضي للعمود [6].

أجريت أبحاث في الماضي وأظهرت أنّه يمكن زيادة مقاومة الضغط للنواة البيتونية، ونشوّه الضغط الحدّي في البيتون وأيضاً مطاوعة العمود بشكل كبير بتأمين وسائل مناسبة للتطويق الخارجي. فظهرت شبكات الأسلاك الملحومة (**WWMs**) لتؤمّن مثل هذا التطويق عندما يتم استخدامها مع طبقة جدارية رقيقة من المونة الإسمنتية [1].

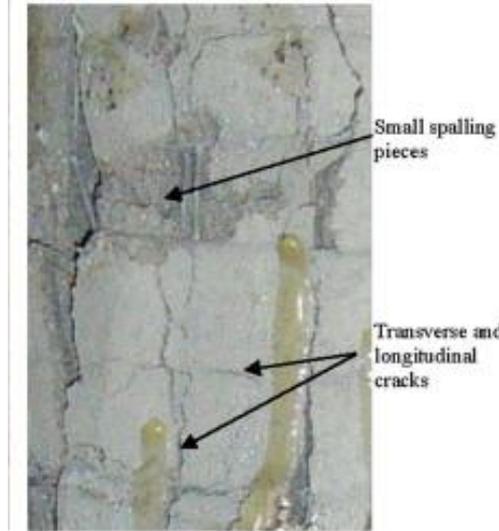
تتوافر في البلدان النامية المواد الأولية اللازمة للبناء باستخدام الفيروسمنت وأيضاً يمكن البناء بأي شكل معقد، بحيث تكون المهارات المطلوبة للتنفيذ محدّها الأدنى وتمتلك مثل هذه المواد خواص مقاومة أفضل بالمقارنة مع البيتون المسلح التقليدي [3]. وأظهر استخدام طبقة الفيروسمنت في تدعيم وتقوية العناصر الإنشائية فعالية كبيرة في تأمين مطاوعة ومقاومة إضافية. بالإضافة لذلك فإنّ مثل هذه التقنية لديها ميزات أساسية تميّزها عن التقنيات الأخرى باعتبارها طريقة تدعيم ذات تكلفة منخفضة [1].

وفي [11] أظهر فعالية استخدام المواد المختلطة بشكل خاص لتدعيم الجسور. حيث يوجد العديد من تقنيات التدعيم **retrofit techniques** من أجل تحسين الطاقة الزلزالية لأعمدة الجسور القائمة. حيث يعتبر تدعيم أعمدة الجسور المستطيلة والدائرية وذلك بإضافة قمصان فولاذية **steel jacket** دائرية أو بيضوية الشكل في المنطقة المحتملة لتشكّل المفصل اللدن **plastic hinge** فعلاً جداً كإجراء لتحسين مقاومة القص والانعطاف والمطاوعة. كبديل عن استخدام القمصان الفولاذية، تمّ تحسين المواد المختلطة المتقدّمة من أجل تدعيم الأعمدة البيتونية، مؤدية إلى تحسين الاستجابة الهيسيرية وزيادة المطاوعة [11].

كما أنّ إضافة الألياف **Fibers** إلى طبقة الفيروسمنت يمكن أن يحسّن من خصائص الخلطة بشكل ملحوظ. حيث يؤخّر إضافة الألياف من تطوّر تشكّل الشقوق ويسمح أيضاً باستعمال شبكات أسلاك بقياسات أكبر [8].

4-5-1 تأثير أقطار وتباعدات الأسلاك المستخدمة في الشبكة على نمط الانهيار:

استخدام أسلاك بأقطار صغيرة ($\leq 1.5\text{mm}$) يؤدي إلى زيادة السطح النوعي **Specific surface** (وهو النسبة بين مساحة سطح شبكات الأسلاك الملحومة **wire mesh surface area** إلى حجم المادة المركبة **volume of composite**)، وبالتالي يؤمن مساحة تماسك أكبر بين الأسلاك والمونة الإسمنتية، وبالنتيجة تتجه خصائص المادة المركبة لتصبح متجانسة **homogeneous**، أيضاً تكون التباعدات ما بين الشقوق في الأعمدة المقواة باستخدام الفيروسمنت مساوية للتباعدات ما بين الأسلاك (**6-25mm**) وهي أقل بكثير من حالة المنشآت البيتونية المسلحة. وهذا يؤدي لزيادة المطاوعة (القدرة على تبديد الطاقة **energy dissipation capacity**) [12]. و يوضّح الشكل 1-12 شكل الشقوق المتشكّلة نتيجة انهيار أحد العينات المقواة باستعمال طبقة الفيروسمنت.



(b)

الشكل 1-12: نمط انهيار أحد العينات [12]

تبيّن لنا وجود أهمية كبيرة لتدعيم العناصر الإنشائية من البيتون المسلّح وبشكل خاص الأعمدة، وأيضاً ألقينا الضوء على أهم ميّزات استخدام الفيروسمنت في الأعمال الإنشائية وبخاصة التدعيم. سيتم استعراض أهم الأبحاث العالمية المتعلقة بموضوع تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام طبقة الفيروسمنت في الفصل الثاني (الدراسة المرجعية).

2. الدراسة المرجعية

Literature Review

الفصل الثاني

الدراسة المرجعية

أصبحت الانهيارات في المنشآت البيتونية المسلّحة تُشاهد كثيراً خلال العقدین الأخيرین بسبب زيادة الحمولات الاستثمارية وبسبب مشكلات الديمومة **durability**. هناك مجموعة من العوامل التي تساهم في تدهور المنشآت البيتونية المسلّحة وبالتالي تؤثر على سلامتها، ومن هذه العوامل: التشققات التي تحدث بسبب الحمولات الديناميكية **dynamic loading** وحمولات الصدم **impact loading**، الزحف **creep**، التصميم الغير ملائم والتنفيذ الخاطئ [6].

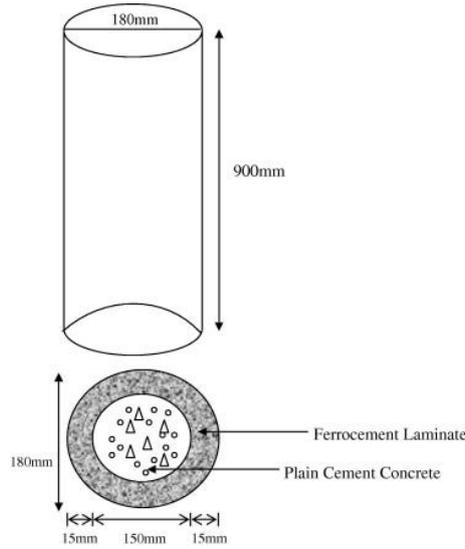
هناك العديد من الأبحاث النظرية والتجريبية التي أجريت على تدعيم وتقوية الأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام طبقة الفيروسمنت، سنستعرض عدد من هذه الأبحاث:

1-2 (B. Kondraivendhan and Bulu Pradhan, 2009):

قام الباحثان باستخدام الفيروسمنت كتطويق خارجي للعينات البيتونية (غير مسلّحة). وتمّ التحقق من فعالية التطويق بمقارنة سلوك العينات المدعّمة مع العينات الأساسية الغير مدعّمة. ويوضّح الشكل 1-2: أبعاد العينة البيتونية المقواة (confined concrete specimen).

وتمّت التجارب على عينات إسطوانية الشكل بأبعاد **150mmX900mm** وبنسبة ارتفاع العينة إلى قطر المقطع **L/d=6**.

واعتبر الباحثان أنّ متغيّرات الدراسة هي مقاومة الضغط للبيتون فقط **concrete compressive strength** أمّا باقي العوامل فهي ثابتة لكافة العينات مثل: أبعاد العينات، الشكل، عدد طبقات شبكات الأسلاك، نسبة ارتفاع العينة إلى قطر المقطع.



الشكل 1-2: أبعاد العينة البيتونية المقواة (confined concrete specimen) [3]

وقد تمّ اختيار خلطات بيتونية للحصول على مقاومات مختلفة للبيتون كما في الجدول 1-2.

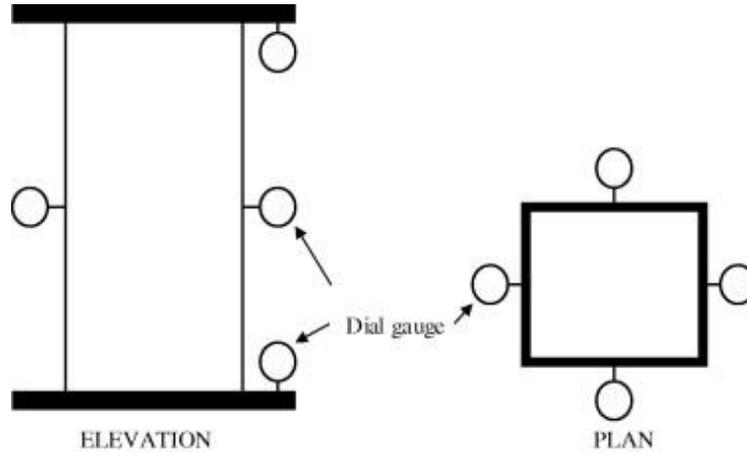
الجدول 1-2: مواصفات الخلطات البيتونية [3]

M55	M50	M45	M40	M35	M30	M25	صنف البيتون
55	50	45	40	35	30	25	مقاومة الضغط المميزة $F_{ck}(N/mm^2)$

وتّم صب 42 عينة إسطوانية الشكل (21 عينة لكل من حالة عينات المقارنة والمقواة) بقطر 150mm وبارتفاع 900mm بحيث يوجد 3 عينات لكل صنف من أصناف البيتون [3].

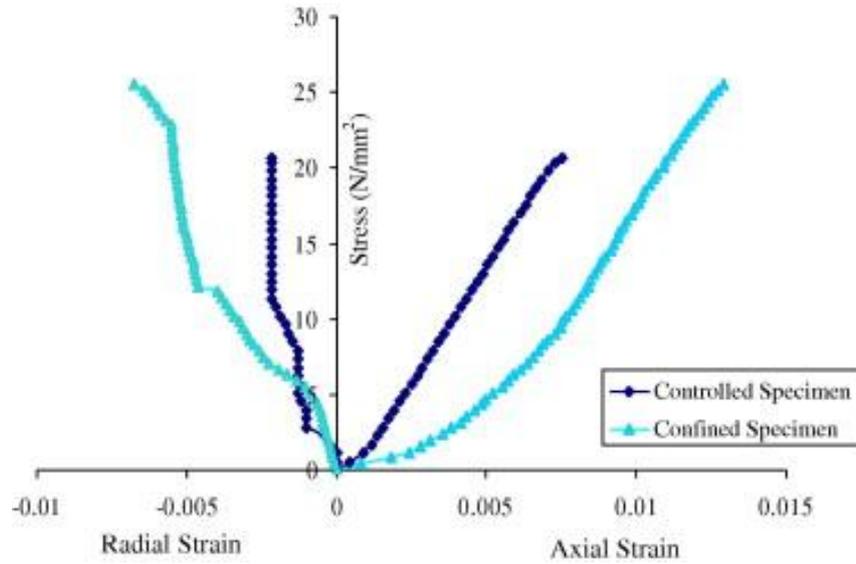
وبعدها تمّ لف العينات بطبقة واحدة **Single Layer** فقط من شبكة الأسلاك، ثمّ وضعت طبقة من المونة الاسمنتية بنسب خلط 1:2 ونسبة ماء إلى إسمنت تعادل 0.4 بحيث تكون سماكة طبقة التدعيم 15mm وبالتالي يكون قطر العينات المطوقة 80mm، ثمّ عولجت العينات المقواة لمدة 7 أيام.

يوضح الشكل 2-2 أماكن تثبيت مقاييس التشوه الطولية والجانبية على العينات. ثمّ أجريت تجربة التحميل بمعدل زيادة في التحميل 0.5 Ton، وقيست التشوهات باستخدام مقاييس مدرّجة dial gauges بدقة 0.01mm. تمّ وضع مقاييس للتشوه بالاتجاه المحوري (أحدهما في الأعلى والآخر في الأسفل) كما في الشكل 2-2. ووضعت المقاييس الخاصة بالتشوهات الجانبية في منتصف ارتفاع العينة وعلى الجوانب الأربعة للمقطع العرضي [3].



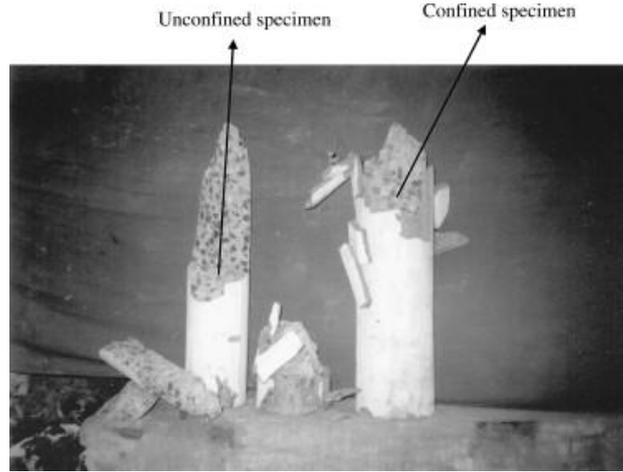
الشكل 2-2: تثبيت مقاييس التشوه [3]

ويوضح الشكل 3-2 منحنى الإجهاد-التشوه (المحوري والجانبى) حيث يُلاحظ من هذا المنحنى أنّ العينات المقواة أعطت قيم مرتفعة للحمولة الحدية والتشوهات بالمقارنة مع حالة العينات الأساسية [3].



الشكل 3-2: منحنى إجهاد-تشوه للعينات البيتونية الأساسية والمقواة من أجل صنف البيتون M25 [3]

ويوضح الشكل 4-2 أشكال الانهيار من أجل صنف معين للبيتون.



الشكل 2-4: أنماط الانهيار للعينات البيتونية الأساسية والمقواة [3]

من الدراسة التجريبية والنظرية خلص الباحثان إلى النتائج التالية [3]:

1. يمكن استعمال طبقة الفيروسمنت بشكل فعال لتطويق البيتون.
2. تطويق البيتون باستعمال طبقة الفيروسمنت أدى إلى زيادة في المقاومة بالمقارنة مع العينات الأساسية وفق النسب التالية بحسب صنف البيتون.

الجدول 2-2: الزيادة بقيمة حمولة الانهيار كنسبة مئوية [3]

M55	M50	M45	M40	M35	M30	M25	صنف البيتون
45.3	47.2	46.3	60.25	54.6	54.8	78	نسبة من الحمولة الحدية (%)

3. تطويق البيتون باستعمال طبقة الفيروسمنت أدى إلى زيادة التشوهات الجانبية والمحورية بالمقارنة مع العينات الأساسية وفق النسب التالية بحسب صنف البيتون.

الجدول 3-2: الزيادة بقيمة التشوهات المحورية والجانبية كنسبة مئوية [3]

M55	M50	M45	M40	M35	M30	M25	صنف البيتون
21.9	32.3	47.3	34.5	4.02	22.3	38.8	نسب الزيادة في التشوهات الطولية (%)
39.2	37.8	48.8	34.4	18.8	27.2	50.7	نسب الزيادة في التشوهات الجانبية (%)

2-2 (S.M. Mourad and M.J. Shannag, 2012):

قام الباحثان في هذا البحث بدراسة تدعيم وتقوية الأعمدة البيتونية المسلحة والمربعة الشكل باستخدام طبقة من الفيروسمنت. حيث تم صب مجموعة من 10 عينات من الأعمدة البيتونية المسلحة والمربعة الشكل بمقياس 3/1 وتم تحميلها مسبقاً بحمولة ضغط محوري **axial compression** بنسب مختلفة (0%-60%-80%-100%) من الحمولة الحديدية، ثم تم تدعيمها باستخدام قمصان من الفيروسمنت تحتوي على طبقتين من شبكات الأسلاك الملحومة **WWMs** ومتوضعة ضمن طبقة من المونة الإسمنتية عالية المقاومة **high strength mortar** ومن ثم أعيدت تجربة التحميل حتى حدوث الانهيار.

قام الباحثان بدراسة طاقة قدرة التحمل، الانتقال المحوري، الإجهادات والتشوهات المحورية، الانتقال الجانبي، والمطاوعة.

شملت الدراسة التجريبية اختبار عينات من الأعمدة البيتونية المسلحة والمربعة وذلك ضمن ثلاثة حالات:

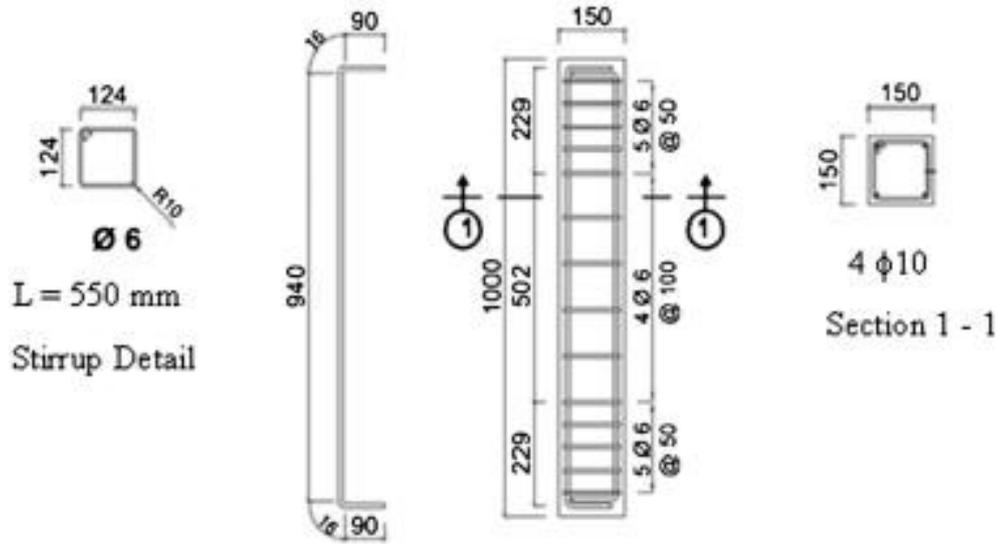
الحالة الأولى: عينات من الأعمدة للمقارنة **control column specimens** وبدون أي تحميل مسبق وبدون تقويتها بطبقة من الفيروسمنت. رقم العينة **SC**

الحالة الثانية: عينات من الأعمدة المقواة **Jacketed column specimens** وبدون أي تحميل مسبق ولكن بوجود قمصان من الفيروسمنت. رقم العينة **SJ-0**

الحالة الثالثة: عينات من الأعمدة المدعمة باستخدام طبقة الفيروسمنت بعد تحميلها بحمولات أعظمية كنسب من الحمولة الحديدية (60-80-100). رقم العينة **SJ-X%**

ويوضح الشكل 2-5: تفاصيل التسليح وأبعاد عينات الأعمدة المربعة الشكل. وتم استخدام تغطية بيتونية بسماكة تعادل **13mm** من كل الجوانب. تفاصيل وعدد عينات الأعمدة المختبرة موضحة في الجدول 4-2.

استخدمت شبكات الأسلاك الملحومة العادية والمتوافرة محلياً كمادة ذات تكلفة منخفضة لتدعيم وتقوية الأعمدة البيتونية المسلحة. حيث تتألف شبكات الأسلاك الملحومة (**WWMs**) من فتحات مربعة الشكل (**12X12mm**) ويقطر أسلاك **0.94mm**. حد الخضوع الوسطي لشبكات الأسلاك الملحومة **385 Mpa** عند تشوه حدي **0.0037**، وإجهاد الشد الحدي الوسطي **524 Mpa**، ومعامل المرونة الوسطي **106.10³ Mpa**. ومقاومة الضغط للمونة الإسمنتية **63 Mpa** ومقاومة الشد **5 Mpa** بعد 28 يوم [1].



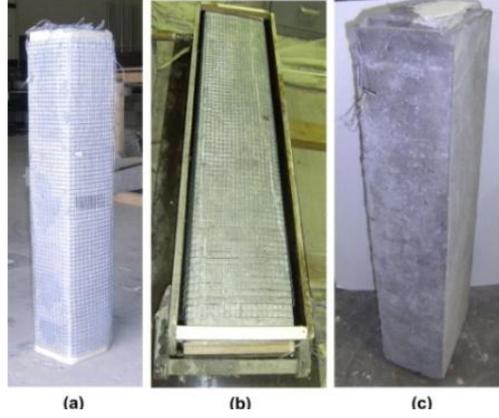
الشكل 5-2: تفاصيل التسليح وأبعاد عينات الأعمدة المربعة الشكل [1]

الجدول 4-2: تفاصيل وعدد عينات الأعمدة المختبرة [1]

عدد العينات	رقم العينة	التحميل المسبق (نسبة من الحمولة الحدية) %	طبقة Ferrocement
2 (control)	SC-1 SC-2	0	لا يوجد طبقة تفوية
2	SJ-0-1 SJ-0-2	0	
2	SJ-60-1 SJ-60-2	60	طبقتين من شبكات الأسلاك الملحومة المتوضعة ضمن طبقة من المونة الإسمنتية عالية المقاومة
2	SJ-80-1 SJ-80-2	80	
2	SJ-100-1 SJ-100-2	100	

SC: control specimens; SJ-XX: jacketed specimens after preloading by XX% of ultimate load.

و الشكل 6-2 يوضح مراحل إعداد قمصان Ferrocement. حيث تمّ استخدام طبقة من المونة الاسمنتية عالية المقاومة وبسماكة 20mm. ونلاحظ من الشكل أنّه تم ترك مسافة 20mm من كلا طرفي طبقة التدعيم أي أن طبقة التدعيم لاتصل إلى نهايتي العمود المسلح وبذلك تكون مهمتها فقط تأمين التطويق الخارجي دون أن تأخذ أي حمولات أثناء الإختبار. الشكل 7-2 يوضح تجربة التحميل على عينات الأعمدة.

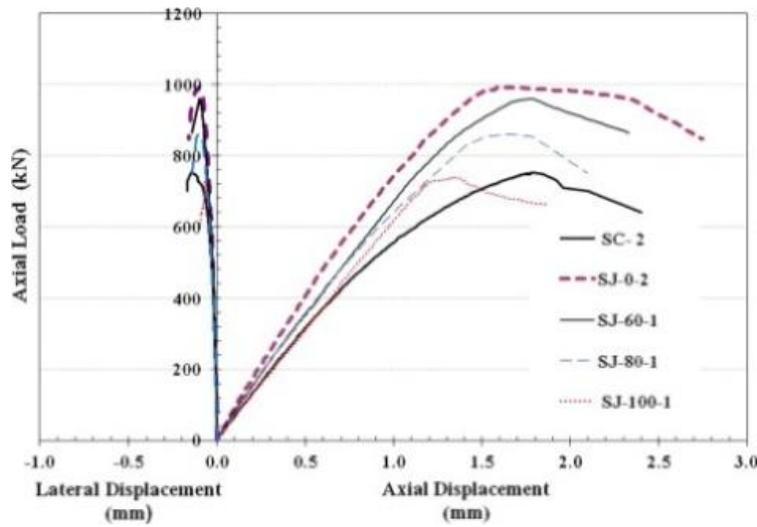


الشكل 6-2: مراحل إعداد قمصان Ferrocement [1]

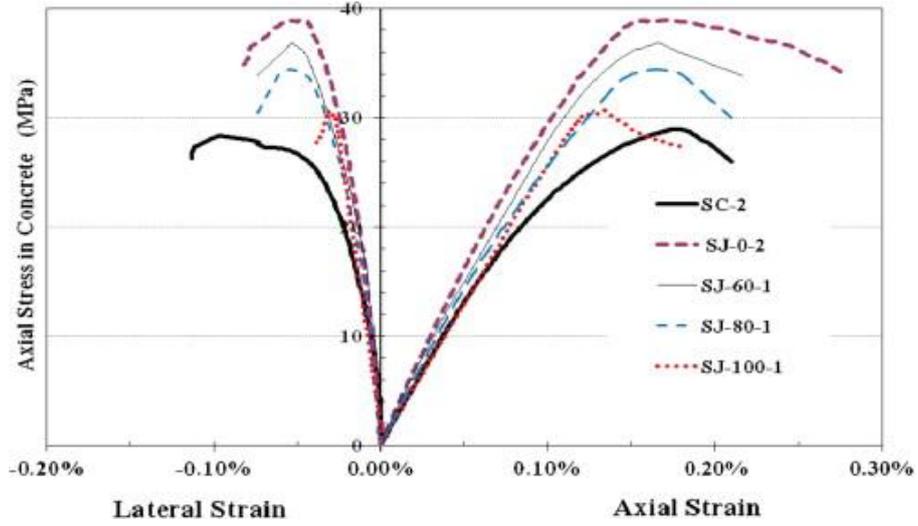


الشكل 7-2: تجربة التحميل على عينات الأعمدة [1]

الشكل 8-2 و الشكل 9-2 يوضّحان منحنى انتقال-حمولة (Load-displacement) للعينات المختبرة و منحنى تشوّه-إجهاد (Stress-Strain) للعينات المختبرة على الترتيب.



الشكل 8-2: منحنى انتقال-حمولة (Load-displacement) للعينات المختبرة [1]

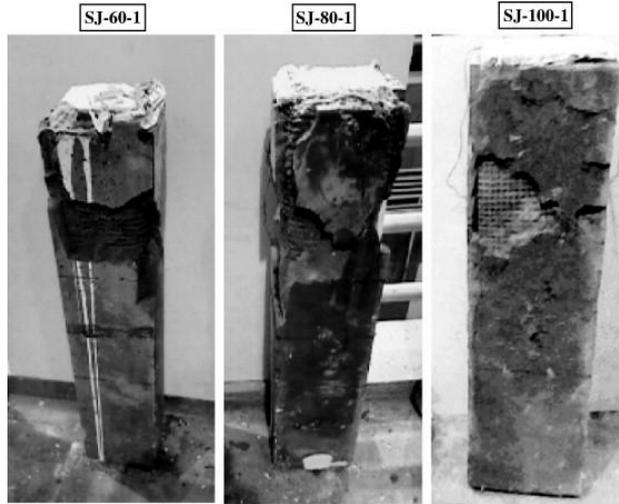


الشكل 9-2: منحنى تشوه-إجهاد (Stress-Strain) للعينات المختبرة [1]

أما أنماط انهيار العينات بعد إجراء تجربة التحميل فهي موضحة وفق الشكل 10-2 والشكل 11-2.



الشكل 10-2: شكل الإنهيار للعينات المقواة [1]



الشكل 2-11: شكل الإنهيار النموذجي من أجل عينات الأعمدة المدعّمة [1]

وفي نهاية البحث تمّ التوصل إلى النتائج التالية:

1. استُخدمت قمصان من الفيروسمنت كتقنية تدعيم وتقوية بديلة لزيادة طاقة التحمل المحورية وأيضاً لزيادة مطاوعة الأعمدة البيتونية المسلحة. تركّزت الدراسة على القمصان من الفيروسمنت والمؤلفة من طبقتين من شبكات الأسلاك الملحومة **WWMs** والمتوضّعة ضمن طبقة من المونة الإسمنتية عالية المقاومة وبسماكة **20mm**.
2. أظهرت النتائج أنّ تقوية الأعمدة البيتونية المسلحة والغير محمّلة مسبقاً بأبعاد مقطع عرضي **150X150mm** وبارتفاع **1000mm**، وباستعمال طبقتين من **WWMs** زيادة مقدارها **33%** و **26%** على طاقة تحمّل الحمولة المحورية و الصلابة على الترتيب بالمقارنة مع العينات الأساسية.
3. أظهرت نتائج الإختبار أنّ تدعيم نفس الأعمدة البيتونية المسلحة بمقطع عرضي مربع الشكل ومحمّلة مسبقاً حتى **60%** و **80%** من طاقة الحمولة المحورية الحديدية وباستخدام نفس القمصان، زيادة مقدارها **28%** و **15%** في طاقة تحمل الحمولة المحورية الحديدية بالمقارنة مع العينات الأساسية.
4. أظهرت نتائج الإختبار أنّ تدعيم نفس الأعمدة البيتونية المسلحة بمقطع عرضي مربع الشكل ومحمّلة مسبقاً حتى الإنهيار وباستخدام نفس القميص، أنّه استرجعت معظم طاقة تحمّل الحمولة المحورية الحديدية والصلابة للعينات الأساسية.
5. تنهار العينات المدعّمة والمقواة بشكل انهيار مطاوع **Ductile Failure** ويتم تمييزه من خلال المساحة الكبيرة المحصورة بمنحني انتقال-حمولة عند نهاية الإختبار بالمقارنة مع شكل انهيار هش **Brittle Failure** لحالة العينات الأساسية.

(G.J. Xiong and X.Y. Wu and F.F. Li and Z. Yan, 3-2

:2011)

تمّ في هذا البحث دراسة المطاوعة وقدرة التحمل لحالة الأعمدة البيتونية الدائرية والمطوقة باستخدام الفيروسمنت بالإضافة لوجود قضبان تسليح معها واصطلاح على تسمية هذا النوع من التطويق **FS (Ferrocement including steel bars)**، بهدف زيادة قدرة التحمل وأيضاً المطاوعة للأعمدة البيتونية الدائرية. ويهدف تقدير سلوك الأعمدة المقواة باستخدام هذه التقنية بشكل متعمق وموضوعي، تمّ إجراء تجارب بهدف دراسة سلوك الضغط المحوري للأعمدة البيتونية المقواة باستخدام ثلاثة طرق كمايلي [12]:

باستخدام **BM (bar mat-mortar)** أي باستخدام قميص بيتوني مشكّل من القضبان الفولاذية فقط. باستخدام **FS (Ferrocement including steel bars)** أي باستخدام شبكات الأسلاك الملحومة بالإضافة لوجود قضبان فولاذية.

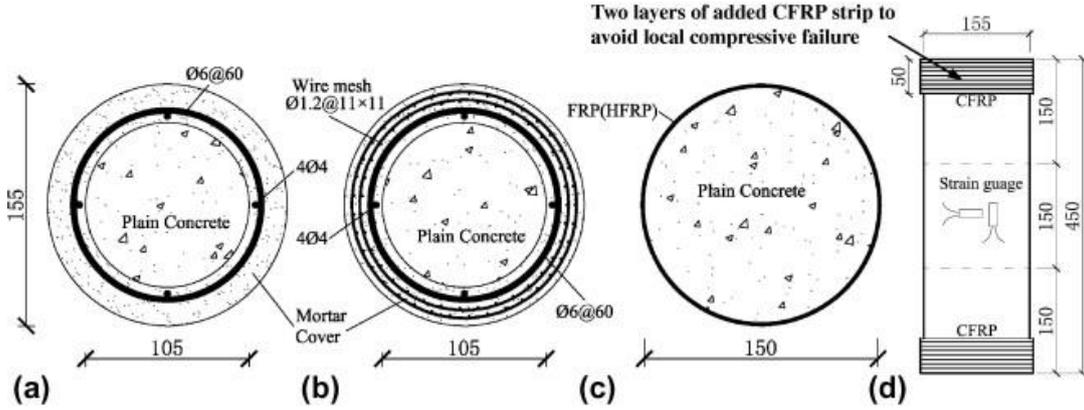
باستخدام **FRP (Fiber Reinforced Polymer)** أي البوليمرات المسلحة بالألياف.

درست منحنيات التشوه-حمولة، أشكال الانهيار، الحمولة الحدية، المطاوعة لمختلف الأعمدة المطوقة. وفي النهاية طوّر الباحثون صيغة رياضية مخصصة لحساب الحمولة الحدية لحالة الأنابيب الفولاذية المملوءة بالبيتون **CFST (concrete-filled steel tube)** من أجل اقتراح صيغة تجريبية لحساب الحمولة الحدية للأعمدة البيتونية المقواة باستخدام **FS**، وأظهرت نتائج الحسابات باستخدام الصيغة المقترحة توافقاً جيداً مع نتائج الاختبار [12].

تمّ صب 51 عينة بيتونية إسطوانية الشكل (33 عينة بقطر 105mm وأيضاً 18 عينة بقطر 150mm) وبارتفاع 450mm، وتمّ صب العينات باستخدام أنابيب من **PVC (polyvinyl chloride)** [12]. والشكل 2-12 يوضح المقطع العرضي والطولي للعينات (الوحدات mm).

مكوّنات الخلطة البيتونية **water:cement:sand:stone=0.44:1:1.5:2.41** وزناً. وكانت المقاومة المكعبية **cube strength** بعد 28 يوم تساوي **35.8Mpa**.

مكوّنات المونة الإسمنتية المستخدمة في طبقة التقوية **water:cement:sand=0.4:1:2** وزناً. وكانت المقاومة المكعبية بعد 28 يوم تساوي **40.1Mpa**.



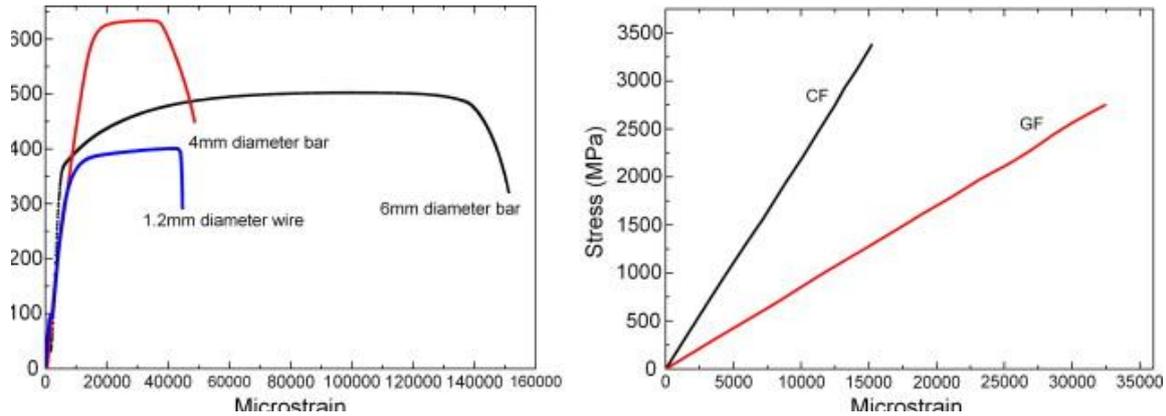
الشكل 2-12: المقطع العرضي والطولي للعينات (الوحدات mm) [12]

- (a) التقوية باستخدام قميص بيتوني مشكّل من قضبان التسليح BM.
 (b) التقوية باستخدام شبكات الأسلاك الملحومة بالإضافة إلى قضبان التسليح FS.
 (c) التقوية باستخدام البوليميرات المسلحة بالألياف (FRP OR HFRP).
 (d) مقطع طولي في العينات.

الجدول 2-5: مواصفات المواد المستخدمة

معامل المرونة GPa	مقاومة الشد MPa	
218	3256	الألياف الكربونية CF
82.9	2727	الألياف الزجاجية GF
سماكة شرائح الألياف الكربونية CF وشرائح الألياف الزجاجية GF تساوي 0.167mm		
210	403	قضبان تسليح بقطر 6mm
195	615	قضبان تسليح بقطر 4mm
207	350	شبكات أسلاك ملحومة بالمواصفات 11X11X1.2-mm

ويوضّح الشكل 2-13 منحنيات تشوّه-إجهاد لمختلف المواد المستخدمة في التقوية. وتفاصيل العينات المستخدمة في التجارب موضّحة وفق الجدول 2-6 [12].



الشكل 13-2: منحنيات تشوه-إجهاد لمختلف المواد المستخدمة في التقوية [12]

الجدول 6-2: تفاصيل العينات المستخدمة في التجارب [12]

Specimen type	Specimen group/ number ^a	Diameter (mm)		Reinforcement ratio (%)		Ratio between CF and GF	Remarks
		Before strengthening	After strengthening	Stirrup	Wire		
P	P1/3	105	-	-	-	-	Plain concrete
	P2/3	150	-	-	-	-	Plain concrete
BM ^b	BM/6	105	155	1.67	-	-	One layer of BM
FS ^c	FS1/6	105	142	1.67	0.329	-	One layer of BM + one layer of wire mesh
	FS2/6	105	148	1.67	0.658	-	One layer of BM + two layers of wire mesh
	FS3/6	105	154	1.67	0.987	-	One layer of BM + three layers of wire mesh
	FS4/6	105	160	1.67	1.316	-	One layer of BM + four layers of wire mesh
FRP ^d	CF2/3	150	154	-	-	1:0	Two layers of CF
	GF2/3	150	154	-	-	0:1	Two layers of GF
	CF-GF2/3	150	154	-	-	1:1	Two layers of HFRP ^e
	CF-2GF2/3	150	154	-	-	1:2	Two layers of HFRP
	CF-3GF2/3	150	154	-	-	1:3	Two layers of HFRP

^a Number of specimens for each group.

^b BM = steel bar mat.

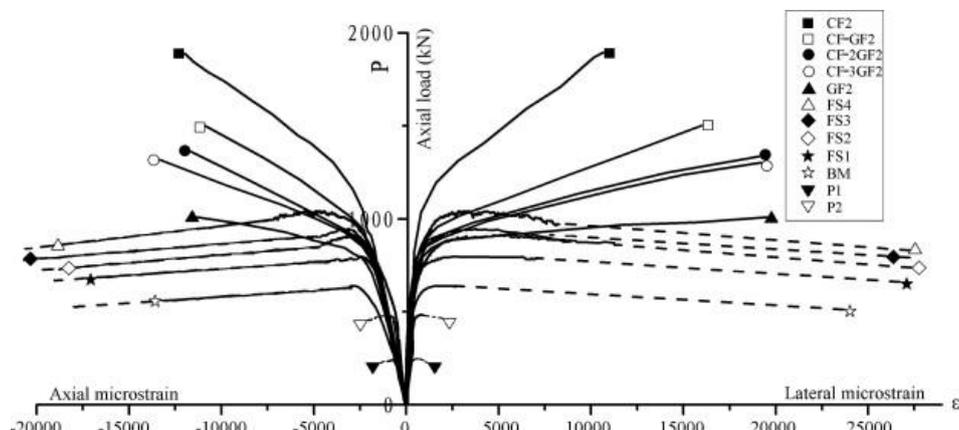
^c FS = steel bar mat and wire mesh.

^d FRP = carbon fibre (CF), glass fibre (GF) or Hybrid CF and GF.

^e HFRP = CF and GF were woven in same layer.

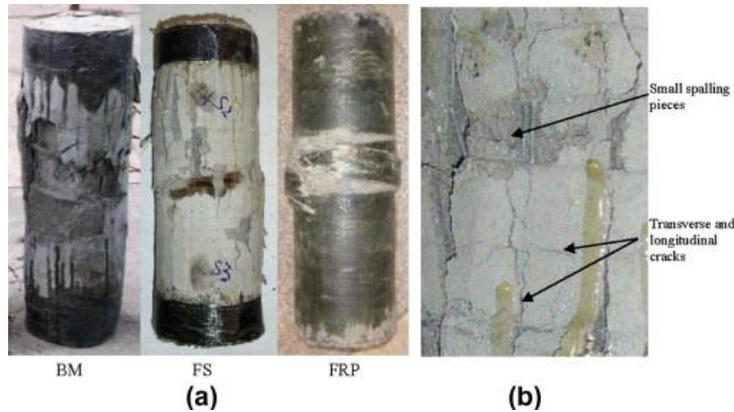
تم تحميل جميع العينات تحت تأثير ضغط محوري حتى حدوث الانهيار. وطبقت الحمولة بمعدل تزايد ثابت 0.3MPa/s ، وبعد انتهاء التجارب تم دراسة أشكال الانهيار والعلاقة بين التشوهات والاجهادات.

ويوضح الشكل 14-2 العلاقة بين الحمولة والتشوهات لمختلف العينات.



الشكل 14-2: العلاقة بين الحمولة والتشوهات لمختلف العينات [12]

ويوضح الشكل 2-15 أوضاع أشكال الانهيار للعينات حيث نلاحظ أن الشقوق في حالة FS تأخذ شكل التبايدات بين خطوط الشبكة 11X11mm.



الشكل 2-15: أشكال الانهيار للعينات [12]

(a) العينات المقواة باستخدام BM,FS,FRP.

(b) شكل التشققات وانفصال القشرة الخارجية لطبقة المونة الاسمنتية من أجل العينات المقواة باستخدام

.FS

و يوضح الجدول 2-7 القيم الناتجة من التجارب ومن الصيغ الرياضية. حيث نلاحظ توافق جيد بين الحالتين.

الجدول 2-7: نتائج الدراسة التجريبية [12]

Specimen type	Specimen group	نتائج الدراسة التجريبية		Calculated value		قيم ناتجة عن تطبيق المعادلات التجريبية
		Tested value Ultimate load P_u^c (kN)/ coefficient of variation	Nominal compressive strength of confined core concrete f_{cc}^a (MPa)	Axial displacement $\Delta_y/\Delta_r/\Delta_u^b$ (mm)	Displacement ductility $\beta_d = \Delta_r/\Delta_y$		Ultimate load $P_u^c$ (kN)/ difference with tested value (%)
P	P1	234.6/6.73%	27.1	-	-	-
	P2	489.3/3.43%	27.7	-	-	-
BM	BM	561.3/5.01%	46.4	0.76/2.6/5.3	3.4	573.5/+2.2%
FS	FS1	789.1/10.3%	66.2	0.96/6.5/7.5	6.8	749.6/-5.0%
	FS2	896.9/8.71%	75.6	0.98/6.9/8.0	7.0	838.4/-6.5%
	FS3	906.3/7.54%	76.4	0.99/7.2/8.1	7.3	930.4/+2.7%
	FS4	1036.7/7.75%	87.8	0.97/7.6/8.2	7.8	1025.5/-1.1%
FRP	CF2	1910.0/3.24%	108.1	1.22/-/5.5	-	1448.2/-24%
	GF2	1040.0/2.81%	58.9	0.84/-/5.2	-	1302.5/+25%
	CF-GF2	1402.5/1.76%	79.4	1.07/-/4.5	-	1427.2/+1.2%
	CF-2CF2	1366.7/3.30%	77.3	0.70/-/5.2	-	1343.2/-1.2%
	CF-3GF2	1366.6/0.42%	77.3	1.11/-/5.9	-	1271.1/-7.0%

^a $f_{cc}^c = P_u^c/A_{core}$, where A_{core} is the area of the core concrete calculated according to the diameter of column before strengthening

^b Δ_y , Δ_r and Δ_u (refer Fig. 2) are the axial displacements corresponding to yield, 0.85 ultimate load and final failure load, respectively.

تم في هذا البحث التوصل إلى النتائج التالية [12]:

1. يمكن تحسين المقاومة، المطاوعة، امتصاص الطاقة **energy absorption** للأعمدة البيتونية القائمة بتنفيذ طبقة تقوية مؤلفة من شبكات الأسلاك الملحومة محتوية على قضبان التسليح **FS**.

2. بسبب حدوث تشققات أكثر في طبقة المونة الاسمنتية للعينات المقواة باستخدام FS لذلك تكون مطاوعة الأعمدة المقواة باستخدام FS أكبر بشكل واضح من الأعمدة المقواة باستخدام BM .FRP &

3. يمكن استخدام المعادلة المقترحة لحساب الحمولة الحدية لحالة الأعمدة المقواة باستخدام FS.

(A. B. M. Amrul Kaish, Md. Abdul Wahed, Md. Rabiul Alam, 2011)

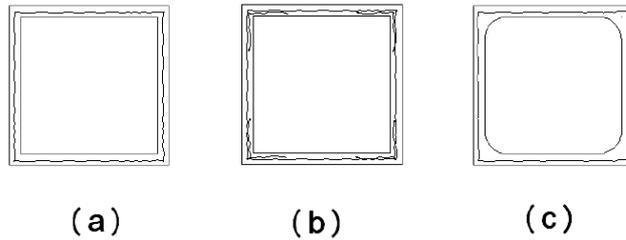
تم في هذا البحث دراسة سلوك الأعمدة البيتونية المسلحة بمقطع عرضي مربع الشكل والمقواة باستخدام طبقة من الفيروسمنت تحت تأثير التحميل اللامركزي **Eccentric Loading**، حيث استُخدمت ثلاثة طرق مختلفة لتقوية الأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام الشبكات، وأظهرت النتائج أن الأعمدة المرجعية الغير مقواة أظهرت نمط انهيار هش على عكس الأعمدة المقواة التي أظهرت نمط انهيار مطاوع مهما كانت طريقة التقوية المستخدمة وأيضا لوحظ زيادة في الحمولة الحدية بحالة الأعمدة المقواة عن مثيلاتها في حالة الأعمدة المرجعية الغير مقواة.

وتم اختبار ثمانية أعمدة مربعة الشكل منها ستة أعمدة مقواة واثنان من الأعمدة الغير مقواة **NJ**، حيث اختبرت هذه الأعمدة تحت تأثير حمولة ضغط بلامركزية صغيرة حتى حدوث الانهيار. وتم استعمال ثلاث طرق مختلفة بالتقوية هي [7]:

أعمدة مقواة باستخدام طبقة واحدة من شبكات الأسلاك الملحومة **Single layer wire mesh** وأعطيت الرمز **SL**.

أعمدة مقواة باستخدام طبقة واحدة من شبكات الأسلاك الملحومة ولكن مع تدوير زوايا الأعمدة وأعطيت الرمز **RSL**.

أعمدة مقواة باستخدام طبقة واحدة من شبكات الأسلاك الملحومة بالإضافة إلى استخدام طبقات إضافية من الشبكات **extra layers mesh** عند كل زاوية من العمود وأعطيت الرمز **SLTL**.

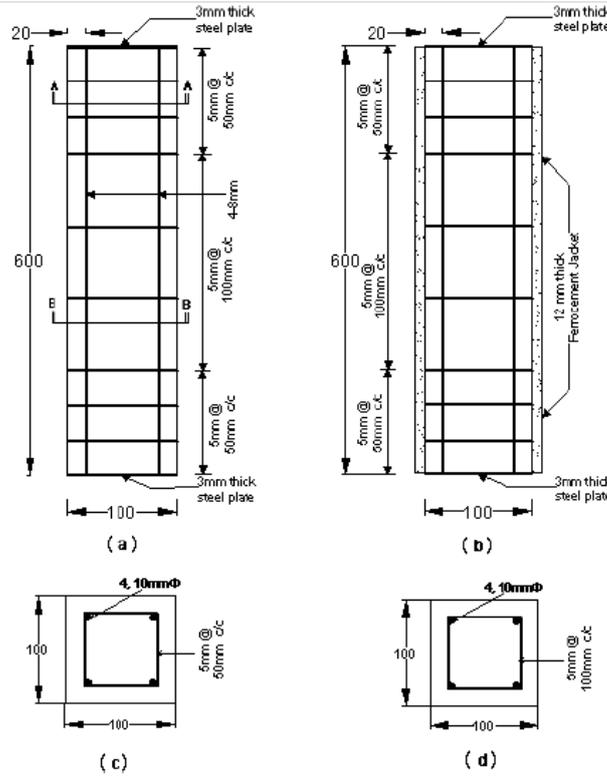


Jacketing schemes, (a) SL, (b) SLTL (c) RSL

الشكل 2-16: الأشكال المستخدمة في تقوية الأعمدة البيتونية المسلحة [7]

المقطع العرضي للأعمدة مربع الشكل بأبعاد **100X100mm** وبارتفاع **600mm**، سماكة طبقة التقوية **12mm** لكل العينات وبالتالي تصبح أبعاد المقطع العرضي للعينات المقواة **124X124mm**. وتم استخدام طبقة من شبكات الاسلاك الملحومة ذات التقاطعات المربعة الشكل **12X12mm**. وتم وضع شبكة الأسلاك في منتصف طبقة التقوية مع المحافظة على سماكة تغطية داخلية وخارجية **6mm**، وتم الإبقاء على فراغ **3mm** عند كل من الطرف الأعلى والأسفل للعينات من أجل تجنب تحميل طبقة التقوية بأي حمولة ضغط [7].

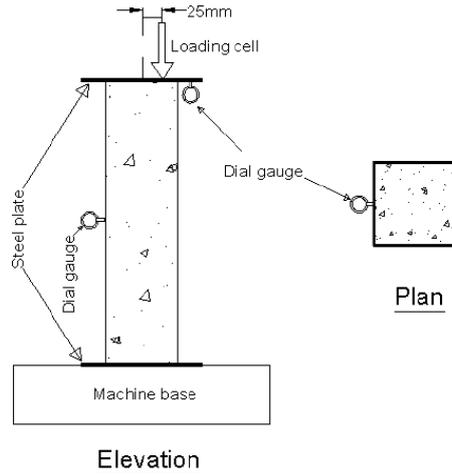
أبعاد وتفاصيل التسليح للأعمدة المرجعية والمقواة مبينة وفق الشكل 2-17.



Column specimen details, (a) Non-jacketed column, (b) Ferrocement jacketed column. (c) Section A-A. (d) Section B-B.

الشكل 2-17: أبعاد وتفاصيل التسليح للأعمدة المرجعية والمقواة [7]

وبعد تقوية الأعمدة وفق الطرق المقترحة تم تحميلها بحمولة ضغط لامركزية حتى حدوث الانهيار، وتم الحفاظ على نفس قيمة اللامركزية **25mm** من أجل كافة العينات (المرجعية والمقواة) كما هو موضح في الشكل 2-18. الجدول 2-8 يبين وسطي قيم الحمولة الحديدية لكافة العينات. الشكل 2-19 يبين أشكال انهيار العينات.



الشكل 2-18: أماكن توضع مقاييس التشوه الطولية والجانبية على العينات وقيمة اللامركزية الثابتة [7]

الجدول 2-8: وسطي قيم الحمولة الحديدية لكافة العينات [7]

Sl No.	Specimen Type	Ultimate load of encased specimens (kN)	Difference of loading (%)
1	NJ	246.85	0
2	SL	323.15	30.91
3	RSL	364.75	47.76
4	SLTL	329.17	33.35

نلاحظ تأثير تدوير زوايا الأعمدة في رفع قيمة الحمولة الحديدية



الشكل 2-19: أشكال انهيار العينات [7]

نلاحظ من الشكل 2-19 السابق تشكل شقوق كثيرة في الأعمدة التي تم تدوير زواياها قبل التقوية RSL، وهذا يشير إلى مطاوعة أكبر بالمقارنة مع الطرق الأخرى في التقوية [7].

تم التوصل إلى النتائج التالية [7]:

1. يمكن استعمال القمصان من الفيروسمنت كمادة تقوية لأعمدة الأبنية الخاضعة لتحميل

لامركزي **eccentric loading**.

2. أظهرت التقوية باستخدام الفيروسمنت زيادة في الحمولة الحدية وأيضاً في التشوهات الطولية والجانبية.
3. أظهرت العينات **SL&SLTL** تقريباً نفس الحمولة الحدية. ولكن العينات **SLTL** أعطت قيم للتشوهات الحدية أكبر من حالة العينات **SL**.
4. أظهرت العينات **RSL** قيم أكبر للحمولة الحدية وأيضاً خصائص مطاوعة أكبر بالمقارنة مع العينات المقواة والمرجعية.
5. أظهر شكل انهيار العينات **RSL** مطاوعة أكبر بالمقارنة مع العينات الأخرى.

5-2 (Sung-Hoon Kim and Dae-Kon Kim, 2011) :

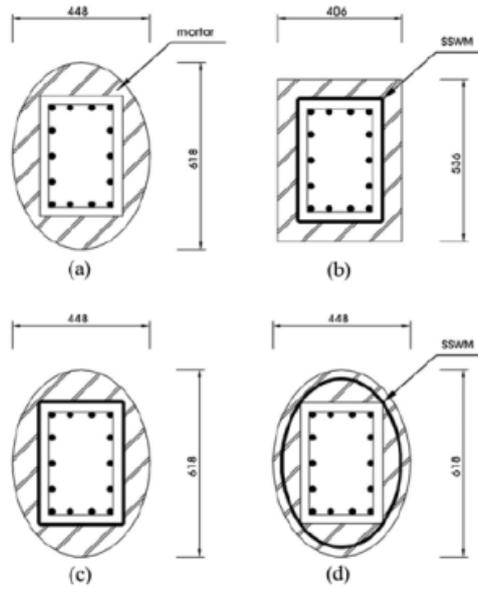
تمّ في هذا البحث دراسة التدعيم ضد الزلازل لحالة أعمدة الجسور البيتونية المسلحة باستخدام تطويق من شبكات الأسلاك.

كما هو معلوم فإن معظم الجسور قد أنشئت قبل تطبيق اشتراطات التصميم الزلزالي في كوريا. ولذلك فإنه من المتوقع أن تكون الاستجابة الزلزالية ضعيفة أثناء حدوث الزلزال لحالة أعمدة الجسور البيتونية ذات تفاصيل غير متوافقة مع الزلازل. فإن الهدف من هذا البحث هو بيان نتائج الاختبارات لطريقة التدعيم الزلزالي لحالة أعمدة الجسور البيتونية المسلحة ومستطيلة الشكل وذات تفاصيل غير متوافقة مع الزلازل وذلك بتطويق منطقة التراكب **Lap-splice region** بشبكة من الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ **Stainless Steel Wire Mesh (SSWM)** وأيضاً طبقة من المونة البوليميرية المسامية [11].

حيث تمّ تنفيذ خمس عينات بمقطع عرضي مستطيل الشكل أبعاده **400mmX270mm** وبارتفاع **2000mm** كما هو موضح وفق الشكل 2-20 حيث تبين الحالة (a) عينة العمود الأساسية قبل التدعيم، حيث استُخدم تسليح طولي **14-D16** من أجل العينات الخمسة وبنسبة تسليح **2.9%**. وتم وصل قضبان التسليح الطولي عند أعلى الأساسات بطول منطقة تراكب **320mm**. تفاصيل التسليح العرضي موضحة على نفس الشكل وهي أقل مما هو مطلوب وفق الكود **ACI**. وتبين الحالة (b) من الشكل 2-20 ارتفاع طبقة التدعيم وتم اختيارها لتساوي **2.Lp**.

حيث **Lp**: الطول المكافئ للمفصل اللدن **equivalent plastic hinge length** ويعطى وفق المعادلة (1-2).

$$L_p = 0.08.L + 6.d_b \quad (1-2)$$



(a) Specimen EC, (b) Specimen RW-RC
(c) Specimen RW-EC, (d) Specimen EW-EC

الشكل 2-22: أبعاد العينات المدعمة [11]

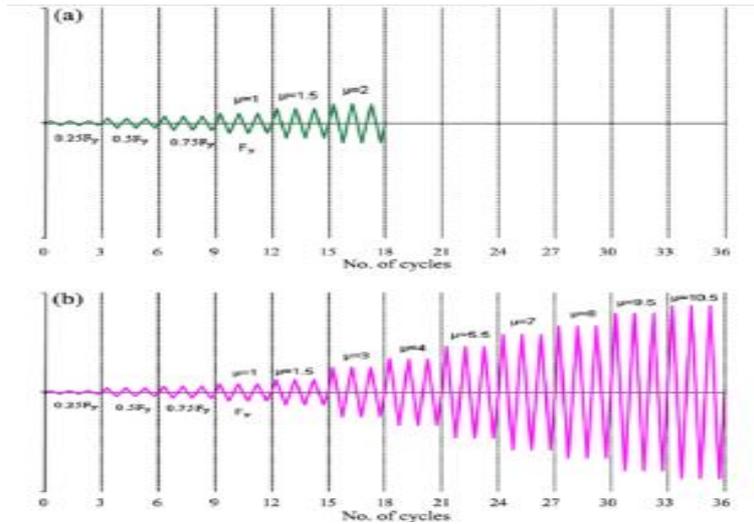
والجدول 9-2 يوضح مواصفات العينات بعد التدعيم.

الجدول 9-2: مواصفات العينات [11]

Specimen name	Description	
	Shape of SSWM wrapping	Shape of mortar casing
As-built	-	-
EC	-	Elliptical
RW-RC	Rectangular	Rectangular
RW-EC	Rectangular	Elliptical
EW-EC	Elliptical	Elliptical

R=Rectangular, E=Elliptical, W=Wrapping (wire), C=Casing (mortar)

تم إخضاع جميع العينات إلى حمولات جانبية دورية **cyclic lateral loads** عند أعلى العمود الظفري. وقبل تطبيق الانتقالات الجانبية تم إخضاع العينات إلى حمولة محورية مقدارها $0.1.F_c.A_g = 314KN$ [11]. ويبين الشكل 2-23 سجل التحميل Loading Histories الخاص بالعيونة الأساسية (الحالة a) وأيضا الخاص بالعينات المدعمة (الحالة b).



الشكل 2-23: سجل التحميل [11]

(a) للعينة الأساسية (قبل التدعيم)

(b) للعينات المدعّمة

في النهاية تمّ التوصل إلى النتائج التالية [11]:

1. يمكن تحسين الطاقة الزلزالية الضعيفة لحالة أعمدة الجسور البيتونية المسلحة وذات مقطع عرضي مستطيل الشكل بتنفيذ طريقة التدعيم المقترحة قبل حدوث الزلزال.
2. يمكن تحسين مقاومة الانعطاف الأعظمية **maximum flexural strength** والمطاوعة لحالة أعمدة الجسور البيتونية المسلحة وذات مقطع عرضي مستطيل الشكل باستعمال التدعيم من شبكات الاسلاك **SSWM** ذات التغليف البيضوي الشكل وبتطبيق بيضوي الشكل لطبقة المونة.
3. يُنصح باستعمال التدعيم المؤلف من شبكات الاسلاك **SSWM** وطبقة المونة بشكل بيضوي حول أعمدة الجسور البيتونية الغير متوافقة مع الاشتراطات الزلزالية وذلك في المناطق متوسطة الخطورة الزلزالية.

بعد عرض أهم الأبحاث العالمية حول موضوع تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام طبقة الفيروسمنت سيتم التحقق من كفاءة هذه التقنية من خلال الدراسة التجريبية موضوع الفصل الثالث. وستتمحور الدراسة التجريبية حول تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة المربعة الشكل ذات المقطع العرضي **150X150mm** وبارتفاع **1000mm** وباستخدام طبقتين من شبكات الأسلاك الملحومة **WWMs** وباستخدام سماكة طبقة التدعيم **30mm**.

3. الدراسة التجريبية

Experimental Study

الفصل الثالث

الدراسة التجريبية

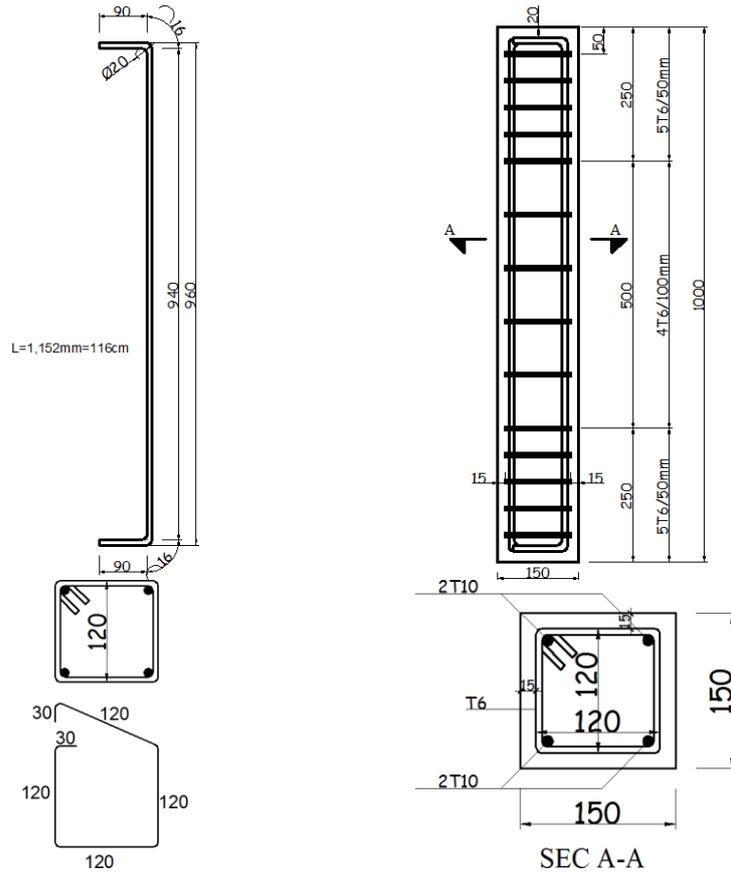
1-3 مقدمة:

كما وجدنا في الفصل الأول أنه يمكن استخدام طرق مختلفة لتدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة. واختيار الطريقة المناسبة للتدعيم دون غيرها يعتمد على مجموعة من العوامل مثل: زمن التنفيذ، طريقة التنفيذ، المعالجة، الكلفة الاقتصادية، فعالية التطويق، نمط الانهيار، تماسك المادة، مقاومة الحريق والتآكل. ووجدنا أن القمصان البيتونية تؤمن حماية جيدة لفلواذ التسليح من الحريق والتآكل. وتمّ الإضاءة في الفصل الثاني على أهم الدراسات التي تتعلّق بتدعيم وتقوية الأعمدة البيتونية باستخدام طبقة الفيروسمنت.

في الفصل الحالي سيتم إجراء دراسة تجريبية لتدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام طبقة خارجية من الفيروسمنت والتي استُخدمت فيها طبقتين من شبكات الأسلاك الملحومة **WWMs** المتوافرة محلياً ودراسة أثر التدعيم على مقاومة الضغط القصوى للعمود، مطاوعة العمود، نمط الانهيار.

2-3 تحضير العينات للتجربة:

تمّ صب 15 عينة من الأعمدة البيتونية المسلحة المربعة الشكل بمقطع عرضي **150X150mm** وبارتفاع **1000mm** باستخدام المواد المحلية. وسلّحت بتسليح طولي بقطر **10mm** عالي المقاومة بحد خضوع **Fy=491 MPa** وتسليح عرضي بقطر **6mm** من النوع الأملس بحد خضوع **Fy=420 MPa**. ومقاومة البيتون المستخدم **F^c=15 Mpa**. وتمّ تعيين مواصفات المواد المستخدمة من خلال تجارب أجريت على عينات نظامية في مخبر البيتون (راجع ملحق A وملحق B). والشكل 1-3 يبيّن مخطط أبعاد وتفاصيل التسليح لعينات الأعمدة البيتونية المسلحة.



الشكل 3-1: مخطط أبعاد وتفاصيل التسليح لعينات الأعمدة البيتونية المسلحة (الأبعاد بـ (mm)

ولقياس التشوهات الطولية تم استخدام مقياسين للانتقالات الطولية من النوع **Digital Dial Gauge**، ولقياس التشوهات الجانبية تم وضع مقياسين للانتقالات الجانبية بشكل معامد لأوجه العمود كما هو موضَّح في الشكل 3-2. (دقة مقياس الانتقال المتوفر 1/100).



الشكل 3-2: توضع مقاييس الانتقال الطولية والجانبية للعينة SJ-0-1

والشكل 3-3 يوضّح الشكل النهائي لتسليح عينات الأعمدة.



الشكل 3-3: تنفيذ التسليح لعينات الأعمدة البيتونية المسلحة كما في المخططات

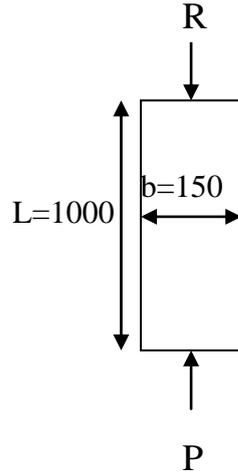
والشكل 4-3 يبيّن عينات الأعمدة البيتونية المسلحة التي استخدمت في التجارب.



الشكل 4-3: عينات الأعمدة البيتونية المسلحة بعد فك القوالب

3-3 الدراسة التحليلية:

يبيّن الشكل 5-3 الجملة الإنشائية للأعمدة والقوى المطبقة، وتم اختيار أبعاد الأعمدة بحيث يبقى العمود قصير حتى نتجنّب الدخول في مشكلة التحنيب.



الشكل 3-5: الجملة الإنشائية للأعمدة والقوى المطبقة (الأبعاد بـ mm)

1-3-3 التحقق أن العمود قصير وفق الكود العربي السوري:

يعد العنصر المضغوط (العمود) قصيراً إذا كانت نحافته λ أقل من 40 [13].

$$\lambda = \frac{L_0}{i} \quad (1-3)$$

حيث:

L_0 : الطول الحسابي للعمود $L_0 = L = 100 \text{ cm}$.

i : نصف قطر العطالة في الاتجاه المدروس ويعطى وفق المعادلة التالية.

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2-3)$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{(15) \cdot (15)^3}{12} = 4218.75 \text{ cm}^4$$

$$A = b \cdot h = 15 \cdot 15 = 225 \text{ cm}^2$$

$$i = \sqrt{\frac{4218.75}{225}} = 4.33 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{100}{4.33} = 23.09 < 40$$

وبالتالي نعتبر أنّ عينات الأعمدة قصيرة.

2-3-3 تحمّل المقطع العرضي:

يحدّد الحمل الأقصى للعمود القصير ذي الأساور (الكانات) العادية بالعلاقة التالية:

$$N_u = 0.8\Omega[0.85f'_c A'_c + F_y A'_s] \quad (3-3)$$

Ω : معامل تخفيض المقاومة (0.7)، f'_c : المقاومة المميزة للبيتون على الضغط، A'_c : مساحة المقطع العرضي للعمود، F_y : إجهاد الخضوع (المقاومة المميزة) للتسليح الطولي المضغوط، A'_s : مساحة التسليح الطولي. العامل (0.8) يأخذ اللامركزية الطارئة من الصنع حصراً.

نعوّض في المعادلة (3-3) وبدون العاملين (0.8) و(0.7) فنجد أن مقاومة العمود حسابياً:

$$N_u = [0.85 * 15 * 150 * 150 + 491 * 314.16] . 10^{-4} = 44.1 \text{ Tons}$$

4-3 الدراسة التجريبية:

تمّ تقسيم التجارب المخبرية إلى ثلاث مراحل:

1-4-3 المرحلة الأولى:

وتهدف لتعيين مقاومة الضغط الحديدية **Ultimate Compressive Strength** الوسطية تجريبياً للأعمدة البيتونية المسلحة المتماثلة. أرقام العينات لهذه المرحلة هي (SC-3، SC-2، SC-1).

P_0 : قيمة حمولة الانهيار للعينات الغير مدعّمة.

تمّ وضع زوايا معدنية بأطراف كل عينة عمود أثناء التحميل منعاً لحدوث انهيارات موضعية مفاجئة في الأطراف [1]. كما هو موضّح بالشكل 3-6.



الشكل 3-6: العينة SC1 أثناء الاختبار

وتم الحصول على حمولة الانهيار للعينات الأساسية : $P_0 = \frac{46.5 + 43 + 44}{3} = 44.5 \text{Tons}$

2-4-3 المرحلة الثانية:

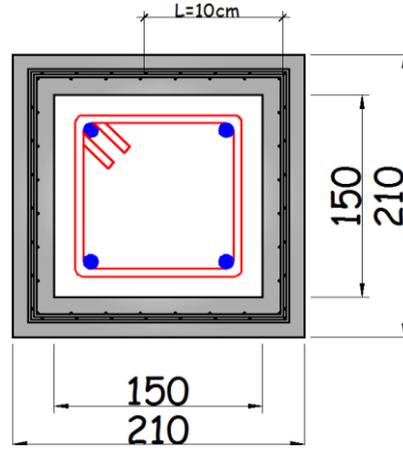
تشمل تقوية العمود (دون تحميل مسبق) بطبقة خارجية من الفيروسمنت. أرقام العينات لهذه المرحلة (SJ-0-3, SJ-0-2, SJ-0-1).

P_{max} : قيمة حمولة الانهيار في نهاية هذه المرحلة ($P_{max} > P_0$). (عدد العينات لهذه المرحلة 3 عينات).

الشكل 3-7 يبين مخطط تفصيلي لتوضع الشبكات وأبعاد طبقة التدعيم. حيث استُخدمت طبقتين من الشبكات متوضعة في منتصف طبقة التدعيم.

الشكل 3-8 يبين الأعمدة البيتونية المسلحة بعد تغليفها بشبكات الأسلاك الملحومة. الشكل 3-9 يوضح تغليف شبكات الأسلاك الملحومة بطبقة من المونة الإسمنتية وبسماكة 30mm. الشكل 3-10 يوضح العينة SJ-0-1 بعد تنفيذ طبقة التدعيم. الشكل 3-11 يوضح تجربة التحميل على العينة SJ-0-1.

من الجدير بالملاحظة أنّ جميع العينات المدعّمة والمقواة حملت بحمولة ضغط محورية متزايدة حتى حدوث الانهيار وتمّ التحميل على مساحة العمود الأساسي فقط، وتمّ تسوية سطحي العينة قبل التحميل.



الشكل 3-7: مخطط تفصيلي لتوضع الشبكات وأبعاد طبقة التدعيم (الأبعاد بـmm)



الشكل 3-8: الأعمدة البيتونية المسلحة بعد تغليفها بشبكات الأسلاك الملحومة



الشكل 3-9: تغليف شبكات الأسلاك الملحومة بطبقة من المونة الإسمنتية وبسماكة 30mm



الشكل 11-3: تجربة التحميل على العينة SJ-0-1



الشكل 10-3: العينة SJ-0-1 بعد تنفيذ طبقة التدعيم

3-4-3 المرحلة الثالثة:

وتشمل تدعيم عينات من الأعمدة المتصدعة بنسب مختلفة ناتجة عن التحميل المسبق وهذا يتضمن مراحل العمل التالية: اعتماداً على قيمة $P_0 = 44.5 \text{ Ton}$ المعلومة (من المرحلة الأولى) نحمل مجموعة من العينات الأساسية (غير المدعمة) بقيم تحميل أعظمية كنسبة من الحمولة P_0 . ولقد اخترنا نسب التحميل المسبق $(50-70-90)\%$.

$$P_1 = (50-70-90)\% \cdot P_0$$

فنتجت عينات بنسب تصدع مختلفة تبعاً لقيمة نسبة التحميل. الجدول 1-3 يوضح أرقام عينات المرحلة الثالثة وقيم التحميل المسبق.

الجدول 1-3: أرقام عينات المرحلة الثالثة وقيم التحميل المسبق

التحميل المسبق كنسبة من الحمولة الحدية P_0 %	أرقام العينات			قيمة التحميل المسبق Tons
50	SJ-50-3	SJ-50-2	SJ-50-1	22.25
70	SJ-70-3	SJ-70-2	SJ-70-1	31.15
90	SJ-90-3	SJ-90-2	SJ-90-1	40

الشكل 12-3 يوضح تجربة لتطبيق التحميل المسبق على أحد عينات الأعمدة وقد حُمّلت بحمولة أعظمية تعادل 90% من حمولة انهيار العينات الأساسية أي بحمولة (40طن) فنتجت العينة ذات الرقم SJ-90-1 والتي تم تدعيمها لاحقاً وفق الطريقة المقترحة.



الشكل 12-3: تحميل عينة عمود بحمولة أعظمية 40 طن

وبعدها قمنا بتدعيم العينات المتصدّعة وفق الطريقة المقترحة. (عدد العينات الكلي لهذه المرحلة 9 عينات).

الشكل 13-3 يوضح الأعمدة البيتونية المسلحة المدعّمة.



الشكل 13-3: الأعمدة البيتونية المسلحة المدعّمة

تمّ تحميل العينات المدعّمة الناتجة بحمولة ضغط محورية متزايدة حتى حدوث الانهيار.

وتبين الجداول (الجدول 2-3، الجدول 3-3، الجدول 4-3، الجدول 5-3، الجدول 6-3، الجدول 7-3، الجدول 8-3، الجدول 9-3، الجدول 10-3، الجدول 11-3) قيم نتائج التحميل لبعض العينات المختبرة.

الجدول 2-3: التشوهات الطولية للعيينة SC-1

التشوه الطولي 3-10 .	التشوه الطولي في نقاط القياس . 3-10		قراءات أجهزة القياس (mm)		الحمولات المطبقة والإجهادات		
	2	1	2	1	الإجهادات	الحمولة	رقم التحميل
					N/mm ²	KN	....
0.000	0.000	0.000	0	0	0.000	0	1
0.017	0.034	0.000	0.01	0	0.889	20	2
0.017	0.034	0.000	0.01	0	1.778	40	3
0.017	0.034	0.000	0.01	0	2.667	60	4
0.051	0.034	0.068	0.01	0.02	3.556	80	5
0.102	0.068	0.135	0.02	0.04	4.444	100	6
0.136	0.102	0.169	0.03	0.05	5.333	120	7
0.136	0.102	0.169	0.03	0.05	5.778	130	8
0.170	0.136	0.203	0.04	0.06	6.222	140	9
0.238	0.205	0.271	0.06	0.08	7.111	160	10
0.357	0.341	0.373	0.1	0.11	8.889	200	11
0.510	0.477	0.542	0.14	0.16	11.111	250	12
0.629	0.580	0.677	0.17	0.2	13.333	300	13
0.901	0.887	0.914	0.26	0.27	15.556	350	14
1.172	1.125	1.219	0.33	0.36	17.778	400	15
1.393	1.330	1.456	0.39	0.43	19.556	440	16
1.648	1.603	1.694	0.47	0.5	20.444	460	17
1.801	1.739	1.863	0.51	0.55	20.667	465	18
			293.25	295.25	المسافة بين المماسك		

الجدول 3-3: التشوهات الجانبية للعيينة SC-1

التشوه الجانبي 10 ⁻³ .	التشوه الجانبي في نقاط القياس. 10 ⁻³		قراءات أجهزة القياس (mm)		الحمولات المطبقة والإجهادات		
	2	1	2	1	الإجهادات	الحمولة	رقم التحميل
					N/mm ²	KN	....
0.000	0.000	0.000	0	0	0.000	0	1
0.000	0.000	0.000	0	0	0.889	20	2
0.000	0.000	0.000	0	0	1.778	40	3
0.000	0.000	0.000	0	0	2.667	60	4
0.000	0.000	0.000	0	0	3.556	80	5
0.000	0.000	0.000	0	0	4.444	100	6
0.000	0.000	0.000	0	0	5.333	120	7
0.000	0.000	0.000	0	0	5.778	130	8
-0.067	0.133	0.000	0.01	0	6.222	140	9
-0.067	0.133	0.000	0.01	0	7.111	160	10
-0.067	0.133	0.000	0.01	0	8.889	200	11
-0.133	0.133	0.133	0.01	0.01	11.111	250	12
-0.133	0.133	0.133	0.01	0.01	13.333	300	13
-0.200	0.267	0.133	0.02	0.01	15.556	350	14
-0.267	0.267	0.267	0.02	0.02	17.778	400	15
-0.267	0.267	0.267	0.02	0.02	19.556	440	16
-0.333	0.400	0.267	0.03	0.02	20.444	460	17
-0.467	0.533	0.400	0.04	0.03	20.667	465	18

الجدول 3-4: التشوهات الطولية للعيينة SJ-0-1

التشوه الطولي 10 ⁻³ .	التشوه الطولي في نقاط القياس . 10 ⁻³		قراءات أجهزة القياس (mm)		الحمولات المطبقة والإجهادات		
	2	1	2	1	الإجهادات	الحمولة	رقم التحميل
					N/mm ²	KN	....
0.000	0.000	0.000	0	0	0.000	0	1
0.000	0.000	0.000	0	0	0.889	20	2
0.000	0.000	0.000	0	0	1.778	40	3
0.000	0.000	0.000	0	0	2.667	60	4
0.000	0.000	0.000	0	0	3.556	80	5
0.017	0.000	0.033	0	0.01	4.444	100	6
0.133	0.100	0.166	0.03	0.05	7.111	160	7
0.183	0.134	0.232	0.04	0.07	8.000	180	8
0.233	0.167	0.299	0.05	0.09	8.889	200	9
0.266	0.201	0.332	0.06	0.1	10.222	230	10
0.333	0.267	0.398	0.08	0.12	10.667	240	11
0.383	0.334	0.432	0.1	0.13	11.556	260	12
0.433	0.368	0.498	0.11	0.15	12.444	280	13
0.483	0.434	0.531	0.13	0.16	13.333	300	14
0.533	0.468	0.598	0.14	0.18	14.222	320	15
0.599	0.535	0.664	0.16	0.2	15.111	340	16
0.666	0.635	0.697	0.19	0.21	16.000	360	17
0.716	0.668	0.763	0.2	0.23	16.889	380	18
0.733	0.668	0.797	0.2	0.24	17.778	400	19
0.866	0.835	0.896	0.25	0.27	18.667	420	20

0.916	0.869	0.963	0.26	0.29	19.556	440	21
1.066	1.003	1.129	0.3	0.34	20.444	460	22
1.332	1.303	1.361	0.39	0.41	21.333	480	23
1.465	1.437	1.494	0.43	0.45	22.222	500	24
1.648	1.571	1.726	0.47	0.52	23.111	520	25
1.815	1.704	1.925	0.51	0.58	24.000	540	26
2.298	2.272	2.324	0.68	0.7	24.889	560	27
2.664	2.573	2.755	0.77	0.83	25.333	570	28
7.443	7.185	7.701	2.15	2.32	26.667	600	29
8.374	7.686	9.062	2.3	2.73	27.556	620	30
9.356	8.354	10.357	2.5	3.12	28.444	640	31
10.206	9.357	11.054	2.8	3.33	28.889	650	32
			299.25	301.25	المسافة بين المماسك		

الجدول 3-5: التشوهات الجانبية للعيينة SJ-0-1

التشوه الجانبي 10 ⁻³ .	التشوه الجانبي في نقاط القياس 10 ⁻³		قراءات أجهزة القياس (mm)		الحمولات المطبقة والإجهادات		
	2	1	2	1	الإجهادات	الحمولة	رقم التحميل
					N/mm ²	KN	....
0.000	0.000	0.000	0	0	0.000	0	1
0.000	0.000	0.000	0	0	0.889	20	2
0.000	0.000	0.000	0	0	1.778	40	3
0.000	0.000	0.000	0	0	2.667	60	4
0.000	0.000	0.000	0	0	3.556	80	5
-0.048	0.095	0.000	0.01	0	4.444	100	6

-0.048	0.095	0.000	0.01	0	7.111	160	7
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	8.000	180	8
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	8.889	200	9
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	10.222	230	10
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	10.667	240	11
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	11.556	260	12
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	12.444	280	13
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	13.333	300	14
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	14.222	320	15
-0.143	0.095	0.190	0.01	0.02	15.111	340	16
-0.143	0.095	0.190	0.01	0.02	16.000	360	17
-0.143	0.095	0.190	0.01	0.02	16.889	380	18
-0.143	0.095	0.190	0.01	0.02	17.778	400	19
-0.143	0.095	0.190	0.01	0.02	18.667	420	20
-0.190	0.190	0.190	0.02	0.02	19.556	440	21
-0.238	0.190	0.286	0.02	0.03	20.444	460	22
-0.238	0.190	0.286	0.02	0.03	21.333	480	23
-0.286	0.286	0.286	0.03	0.03	22.222	500	24
-0.286	0.286	0.286	0.03	0.03	23.111	520	25
-0.286	0.286	0.286	0.03	0.03	24.000	540	26
-0.381	0.381	0.381	0.04	0.04	24.889	560	27
-0.429	0.381	0.476	0.04	0.05	25.333	570	28
-0.524	0.381	0.667	0.04	0.07	26.667	600	29
-2.190	1.905	2.476	0.2	0.26	27.556	620	30
-2.619	2.286	2.952	0.24	0.31	28.444	640	31
-2.857	2.571	3.143	0.27	0.33	28.889	650	32

الجدول 3-6: التشوهات الطولية للعيينة SJ-50-1

التشوه الطولي 10^{-3}	التشوه الطولي في نقاط القياس. 10^{-3}		قراءات أجهزة القياس (mm)		الحمولات المطبقة والإجهادات		
	2	1	2	1	الإجهادات	الحمولة	رقم التحميل
					N/mm ²	KN	....
0.000	0.000	0.000	0	0	0.000	0	1
0.000	0.000	0.000	0	0	0.889	20	2
0.017	0.035	0.000	0.01	0	1.778	40	3
0.034	0.035	0.034	0.01	0.01	2.667	60	4
0.034	0.035	0.034	0.01	0.01	3.556	80	5
0.085	0.069	0.101	0.02	0.03	4.444	100	6
0.119	0.069	0.169	0.02	0.05	7.111	160	7
0.187	0.138	0.236	0.04	0.07	8.000	180	8
0.256	0.207	0.304	0.06	0.09	8.889	200	9
0.290	0.242	0.338	0.07	0.1	10.222	230	10
0.375	0.346	0.405	0.1	0.12	10.667	240	11
0.444	0.415	0.473	0.12	0.14	11.111	250	12
0.495	0.484	0.506	0.14	0.15	12.000	270	13
0.529	0.484	0.574	0.14	0.17	12.889	290	14
0.597	0.553	0.641	0.16	0.19	13.333	300	15
0.615	0.588	0.641	0.17	0.19	14.222	320	16
0.649	0.622	0.675	0.18	0.2	15.111	340	17
0.751	0.726	0.776	0.21	0.23	16.000	360	18
0.854	0.830	0.878	0.24	0.26	16.889	380	19

0.905	0.864	0.945	0.25	0.28	17.778	400	20
1.041	1.003	1.080	0.29	0.32	18.667	420	21
1.417	1.383	1.452	0.4	0.43	20.000	450	22
1.707	1.659	1.755	0.48	0.52	21.333	480	23
1.826	1.729	1.924	0.5	0.57	22.667	510	24
2.424	2.351	2.498	0.68	0.74	24.000	540	25
2.886	2.870	2.903	0.83	0.86	24.444	550	26
6.660	6.569	6.751	1.9	2	24.889	560	27
8.094	7.952	8.236	2.3	2.44	25.333	570	28
9.478	9.335	9.620	2.7	2.85	25.778	580	29
			289.25	296.25	المسافة بين المماسك		

الجدول 7-3: التشوهات الجانبية للعينه SJ-50-1

التشوه الجانبي 10 ⁻³ .	التشوه الجانبي في نقاط القياس . 10 ⁻³		قراءات أجهزة القياس (mm)		الحمولات المطبقة والإجهادات		
	2	1	2	1	الإجهادات	الحمولة	رقم التحميل
					N/mm ²	KN	....
0.000	0.000	0.000	0	0	0.000	0	1
-0.048	0.000	0.095	0	0.01	0.889	20	2
-0.048	0.000	0.095	0	0.01	1.778	40	3
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	2.667	60	4
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	3.556	80	5
-0.190	0.190	0.190	0.02	0.02	4.444	100	6

-0.190	0.190	0.190	0.02	0.02	7.111	160	7
-0.238	0.286	0.190	0.03	0.02	8.000	180	8
-0.286	0.286	0.286	0.03	0.03	8.889	200	9
-0.286	0.286	0.286	0.03	0.03	10.222	230	10
-0.286	0.286	0.286	0.03	0.03	10.667	240	11
-0.333	0.381	0.286	0.04	0.03	11.111	250	12
-0.333	0.381	0.286	0.04	0.03	12.000	270	13
-0.381	0.381	0.381	0.04	0.04	12.889	290	14
-0.381	0.381	0.381	0.04	0.04	13.333	300	15
-0.381	0.381	0.381	0.04	0.04	14.222	320	16
-0.429	0.381	0.476	0.04	0.05	15.111	340	17
-0.476	0.476	0.476	0.05	0.05	16.000	360	18
-0.524	0.571	0.476	0.06	0.05	16.889	380	19
-0.571	0.667	0.476	0.07	0.05	17.778	400	20
-0.714	0.667	0.762	0.07	0.08	18.667	420	21
-0.762	0.762	0.762	0.08	0.08	20.000	450	22
-1.381	1.429	1.333	0.15	0.14	21.333	480	23
-1.619	1.714	1.524	0.18	0.16	22.667	510	24
-1.619	1.714	1.524	0.18	0.16	24.000	540	25
-2.190	2.381	2.000	0.25	0.21	24.444	550	26
-2.429	2.381	2.476	0.25	0.26	24.889	560	27
-2.714	2.762	2.667	0.29	0.28	25.333	570	28
-2.714	2.762	2.667	0.29	0.28	25.778	580	29

الجدول 8-3: التشوهات الطولية للعيينة SJ-70-1

التشوه الطولي 10 ⁻³ .	التشوه الطولي في نقاط القياس . 10 ⁻³		قراءات أجهزة القياس (mm)		الحمولات المطبقة والإجهادات		
	2	1	2	1	الإجهادات	الحمولة	رقم التحميل
					N/mm ²	KN	....
0.000	0.000	0.000	0	0	0.000	0	1
0.017	0.000	0.033	0	0.01	1.333	30	2
0.017	0.000	0.033	0	0.01	1.778	40	3
0.033	0.033	0.033	0.01	0.01	2.222	50	4
0.033	0.033	0.033	0.01	0.01	3.556	80	5
0.066	0.033	0.099	0.01	0.03	4.444	100	6
0.066	0.033	0.099	0.01	0.03	5.333	120	7
0.116	0.067	0.165	0.02	0.05	6.667	150	8
0.166	0.100	0.232	0.03	0.07	7.111	160	9
0.216	0.167	0.265	0.05	0.08	8.000	180	10
0.299	0.234	0.364	0.07	0.11	9.778	220	11
0.315	0.234	0.397	0.07	0.12	10.667	240	12
0.415	0.368	0.463	0.11	0.14	11.111	250	13
0.465	0.401	0.529	0.12	0.16	12.444	280	14
0.532	0.468	0.596	0.14	0.18	13.333	300	15
0.615	0.535	0.695	0.16	0.21	14.222	320	16
0.681	0.635	0.728	0.19	0.22	15.111	340	17
0.814	0.769	0.860	0.23	0.26	15.556	350	18
0.864	0.835	0.893	0.25	0.27	16.000	360	19
0.964	0.936	0.993	0.28	0.3	16.444	370	20

1.014	0.969	1.059	0.29	0.32	17.333	390	21
1.280	1.236	1.323	0.37	0.4	20.000	450	22
1.413	1.337	1.489	0.4	0.45	20.889	470	23
1.479	1.404	1.555	0.42	0.47	21.333	480	24
1.596	1.537	1.654	0.46	0.5	21.778	490	25
3.407	3.175	3.639	0.95	1.1	22.667	510	26
7.227	6.182	8.271	1.85	2.5	23.556	530	27
7.975	7.018	8.933	2.1	2.7	24.000	540	28
			299.25	302.25	المسافة بين المماسك		

الجدول 9-3: التشوهات الجانبية للعيينة SJ-70-1

التشوه الجانبي 10^{-3}	التشوه الجانبي في نقاط القياس 10^{-3}		قراءات أجهزة القياس (mm)		الحمولات المطبقة والإجهادات		
	2	1	2	1	الإجهادات	الحمولة	رقم التحميل
					N/mm ²	KN	....
0.000	0.000	0.000	0	0	0.000	0	1
0.000	0.000	0.000	0	0	1.333	30	2
-0.048	0.000	0.095	0	0.01	1.778	40	3
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	2.222	50	4
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	3.556	80	5
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	4.444	100	6
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	5.333	120	7
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	6.667	150	8
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	7.111	160	9

-0.143	0.190	0.095	0.02	0.01	8.000	180	10
-0.190	0.190	0.190	0.02	0.02	9.778	220	11
-0.190	0.190	0.190	0.02	0.02	10.667	240	12
-0.190	0.190	0.190	0.02	0.02	11.111	250	13
-0.190	0.190	0.190	0.02	0.02	12.444	280	14
-0.190	0.190	0.190	0.02	0.02	13.333	300	15
-0.238	0.286	0.190	0.03	0.02	14.222	320	16
-0.238	0.286	0.190	0.03	0.02	15.111	340	17
-0.286	0.286	0.286	0.03	0.03	15.556	350	18
-0.333	0.381	0.286	0.04	0.03	16.000	360	19
-0.333	0.381	0.286	0.04	0.03	16.444	370	20
-0.381	0.381	0.381	0.04	0.04	17.333	390	21
-0.429	0.381	0.476	0.04	0.05	20.000	450	22
-1.143	1.238	1.048	0.13	0.11	20.889	470	23
-1.190	1.238	1.143	0.13	0.12	21.333	480	24
-1.286	1.238	1.333	0.13	0.14	21.778	490	25
-1.667	1.619	1.714	0.17	0.18	22.667	510	26
-2.190	2.476	1.905	0.26	0.2	23.556	530	27
-2.333	2.476	2.190	0.26	0.23	24.000	540	28

الجدول 10-3: التشوهات الطولية للعينة SJ-90-1

التشوه الطولي 10 ⁻³ .	التشوه الطولي في نقاط القياس 10 ⁻³		قراءات أجهزة القياس (mm)		الحمولات المطبقة والإجهادات		
	2	1	2	1	الإجهادات	الحمولة	رقم التحميل
					N/mm ²	KN	....
0.000	0.000	0.000	0	0	0.000	0	1
0.017	0.033	0.000	0.01	0	1.333	30	2
0.017	0.033	0.000	0.01	0	1.778	40	3
0.033	0.033	0.033	0.01	0.01	2.222	50	4
0.067	0.100	0.033	0.03	0.01	3.556	80	5
0.083	0.100	0.066	0.03	0.02	4.444	100	6
0.116	0.134	0.099	0.04	0.03	5.333	120	7
0.200	0.234	0.165	0.07	0.05	7.111	160	8
0.266	0.301	0.232	0.09	0.07	7.556	170	9
0.299	0.334	0.265	0.1	0.08	8.444	190	10
0.399	0.434	0.364	0.13	0.11	9.778	220	11
0.449	0.501	0.397	0.15	0.12	10.667	240	12
0.516	0.568	0.463	0.17	0.14	11.111	250	13
0.582	0.635	0.529	0.19	0.16	12.444	280	14
0.665	0.735	0.596	0.22	0.18	13.778	310	15
0.782	0.869	0.695	0.26	0.21	14.222	320	16
0.881	0.936	0.827	0.28	0.25	14.667	330	17
0.965	1.036	0.893	0.31	0.27	16.000	360	18
1.064	1.136	0.993	0.34	0.3	16.444	370	19
1.131	1.203	1.059	0.36	0.32	17.333	390	20

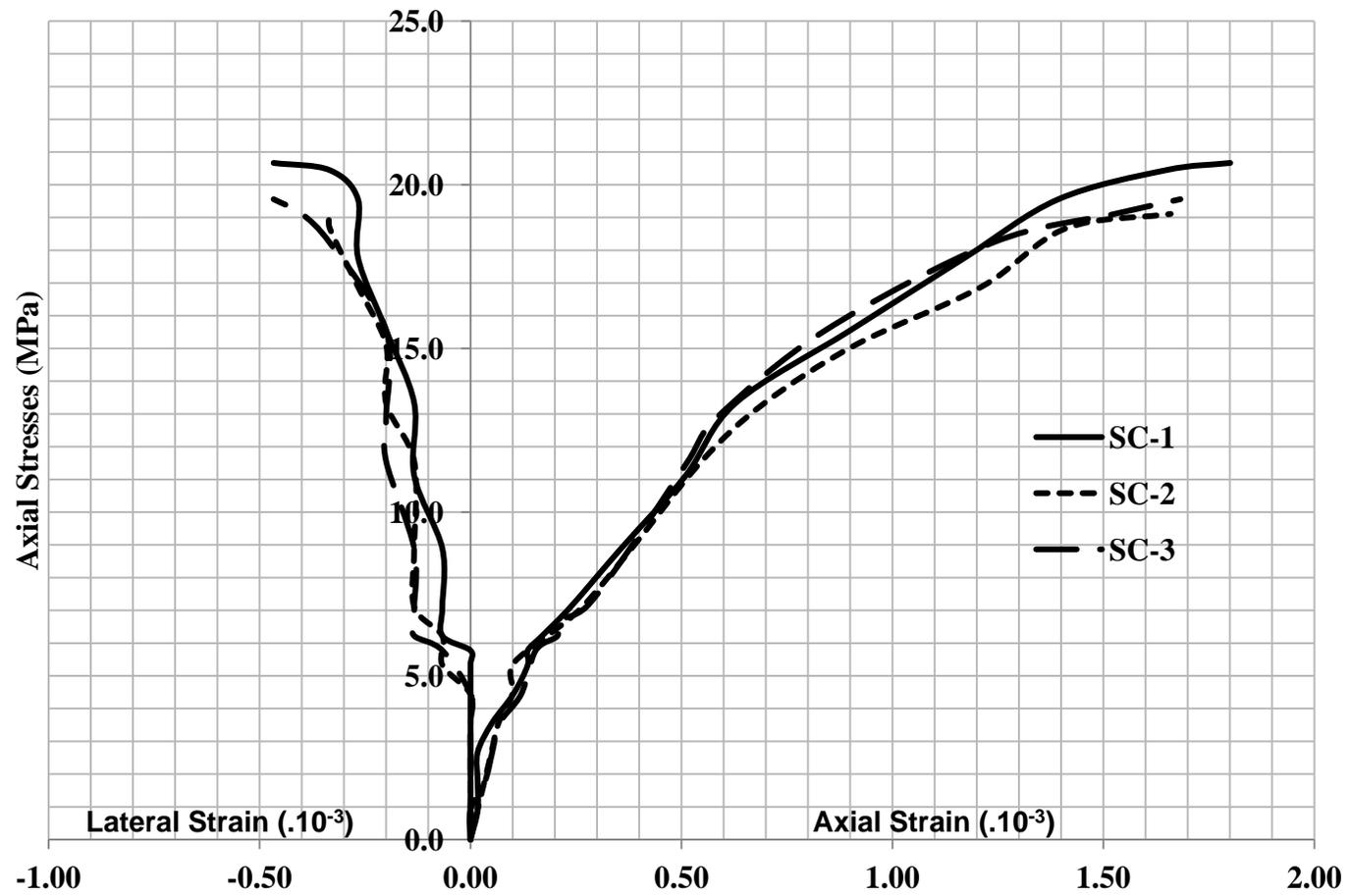
1.280	1.337	1.224	0.4	0.37	17.778	400	21
1.480	1.571	1.390	0.47	0.42	18.667	420	22
2.195	2.339	2.051	0.7	0.62	19.111	430	23
2.627	2.740	2.515	0.82	0.76	19.556	440	24
4.790	5.213	4.367	1.56	1.32	20.444	460	25
6.652	7.018	6.286	2.1	1.9	20.889	470	26
			299.25	302.25	المسافة بين المماسك		

الجدول 11-3: التشوهات الجانبية للعيينة SJ-90-1

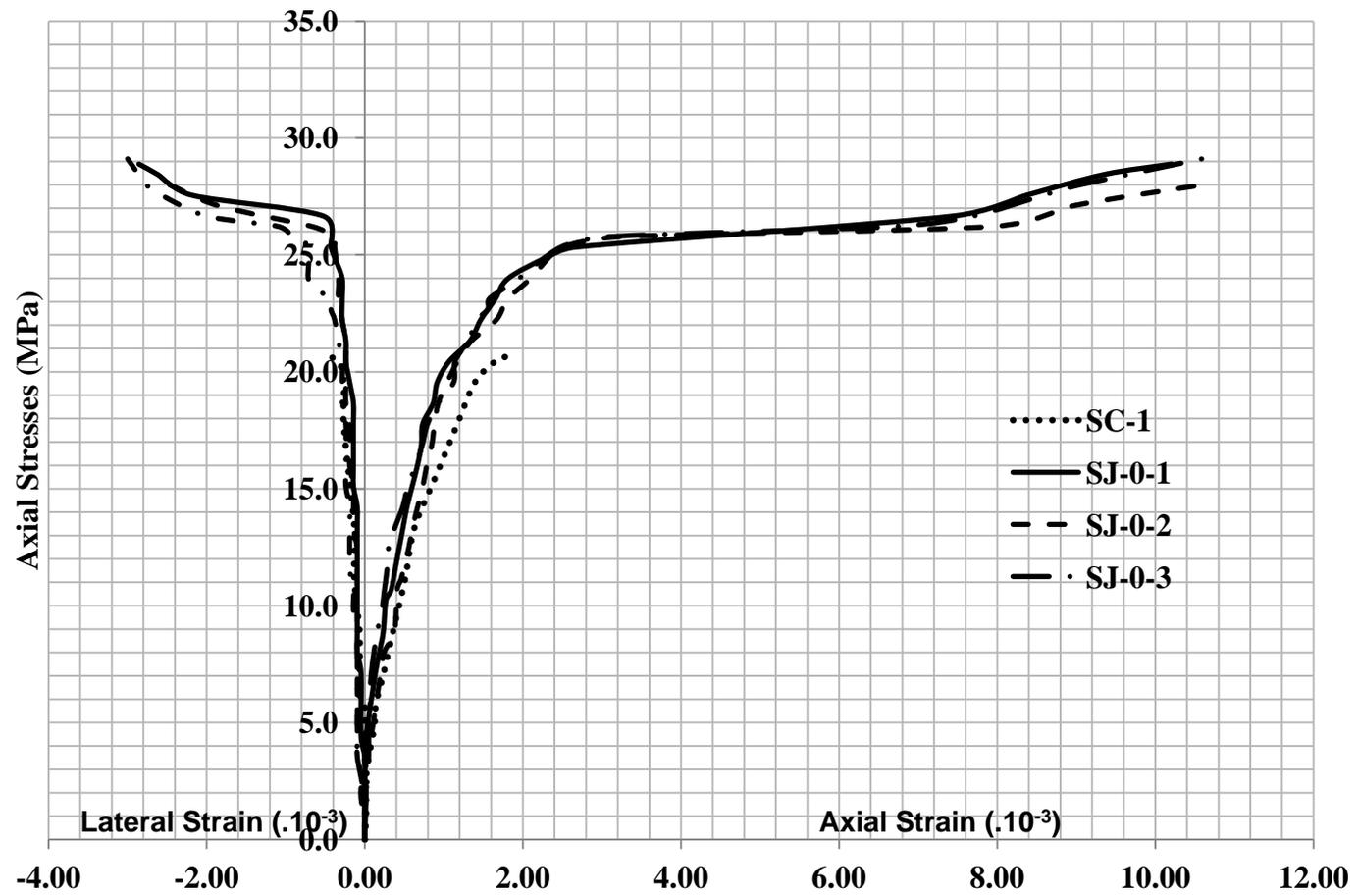
التشوه الجانبي 10 ⁻³	التشوه الجانبي في نقاط القياس 10 ⁻³		قراءات أجهزة القياس (mm)		الحمولات المطبقة والإجهادات		
	2	1	2	1	الإجهادات	الحمولة	رقم التحميل
					N/mm ²	KN	....
0.000	0.000	0.000	0	0	0.000	0	1
-0.048	0.000	0.095	0	0.01	1.333	30	2
-0.048	0.000	0.095	0	0.01	1.778	40	3
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	2.222	50	4
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	3.556	80	5
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	4.444	100	6
-0.095	0.095	0.095	0.01	0.01	5.333	120	7
-0.143	0.190	0.095	0.02	0.01	7.111	160	8
-0.143	0.190	0.095	0.02	0.01	7.556	170	9
-0.143	0.190	0.095	0.02	0.01	8.444	190	10
-0.190	0.190	0.190	0.02	0.02	9.778	220	11

-0.238	0.286	0.190	0.03	0.02	10.667	240	12
-0.286	0.286	0.286	0.03	0.03	11.111	250	13
-0.286	0.286	0.286	0.03	0.03	12.444	280	14
-0.286	0.286	0.286	0.03	0.03	13.778	310	15
-0.333	0.381	0.286	0.04	0.03	14.222	320	16
-0.429	0.476	0.381	0.05	0.04	14.667	330	17
-0.429	0.476	0.381	0.05	0.04	16.000	360	18
-0.429	0.476	0.381	0.05	0.04	16.444	370	19
-0.476	0.476	0.476	0.05	0.05	17.333	390	20
-0.571	0.571	0.571	0.06	0.06	17.778	400	21
-0.571	0.571	0.571	0.06	0.06	18.667	420	22
-1.143	1.238	1.048	0.13	0.11	19.111	430	23
-1.238	1.333	1.143	0.14	0.12	19.556	440	24
-1.381	1.524	1.238	0.16	0.13	20.444	460	25
-1.762	1.810	1.714	0.19	0.18	20.889	470	26

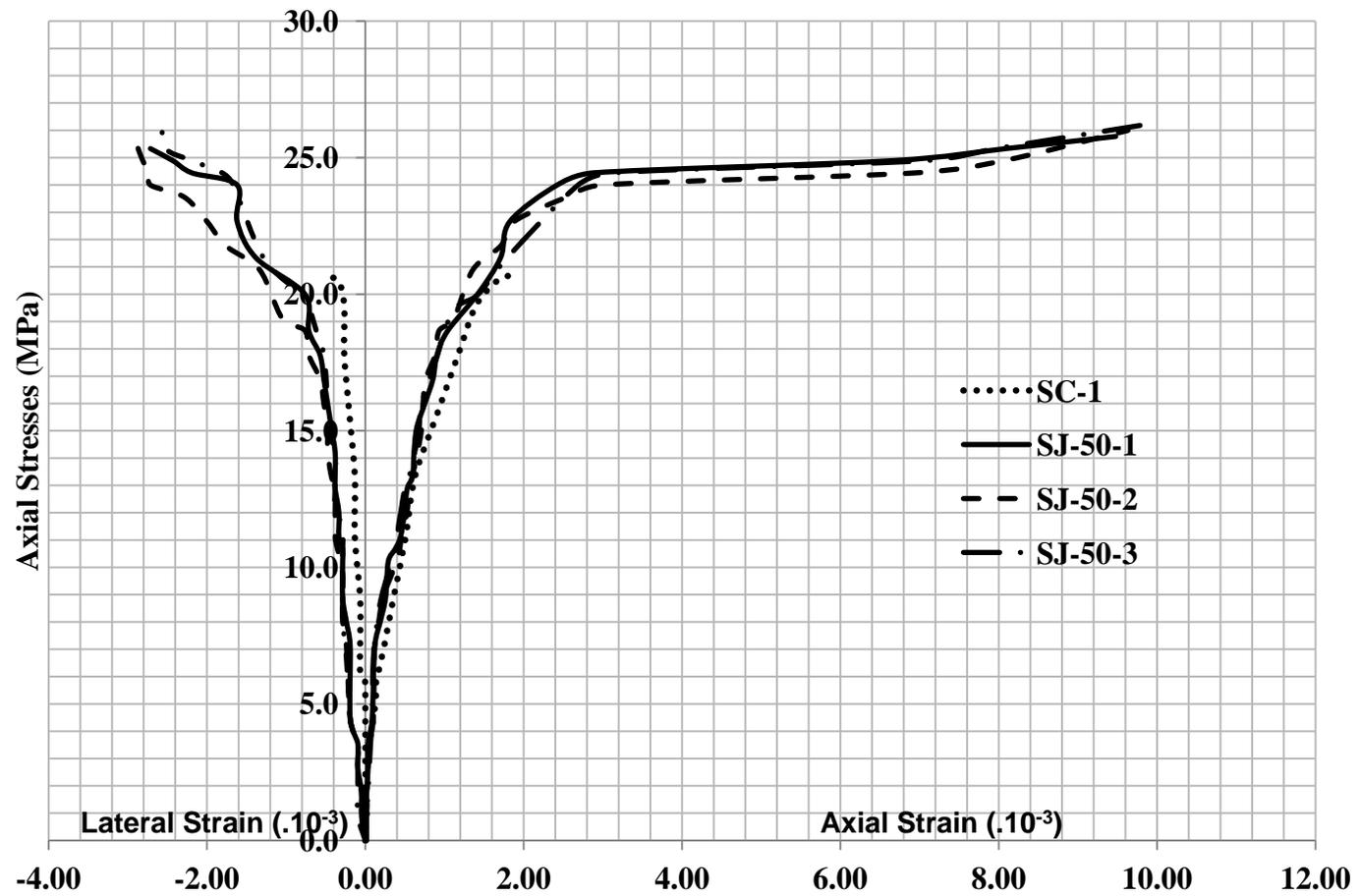
وتّم عرض النتائج السابقة بشكل مخططات بيانية كما هو موضّح في المخططات البيانية (المخطط البياني 3-1، المخطط البياني 3-2، المخطط البياني 3-3، المخطط البياني 3-4، المخطط البياني 3-5، المخطط البياني 3-6).



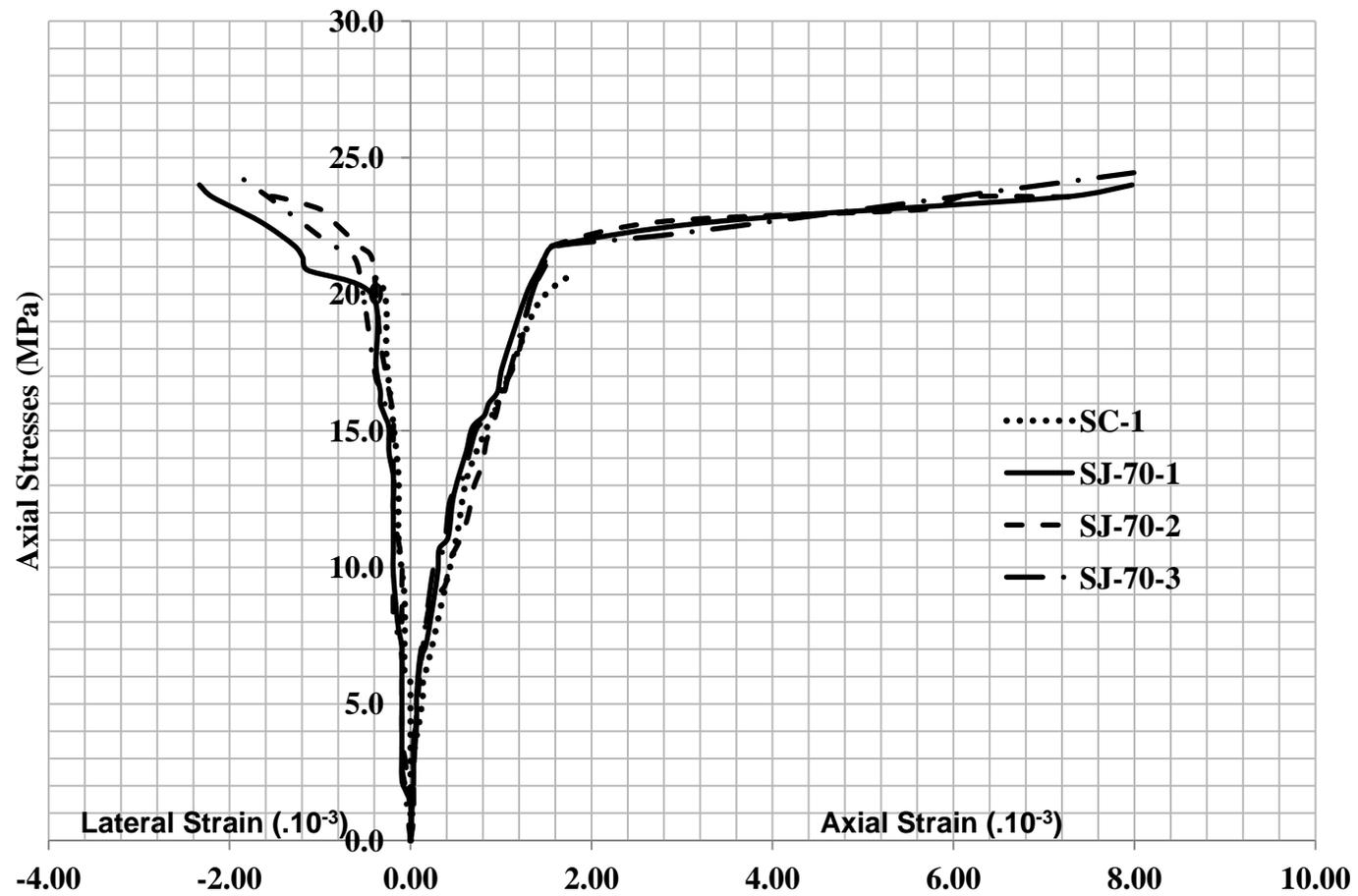
المخطط البياني 1-3: نتائج تحميل العينات SC



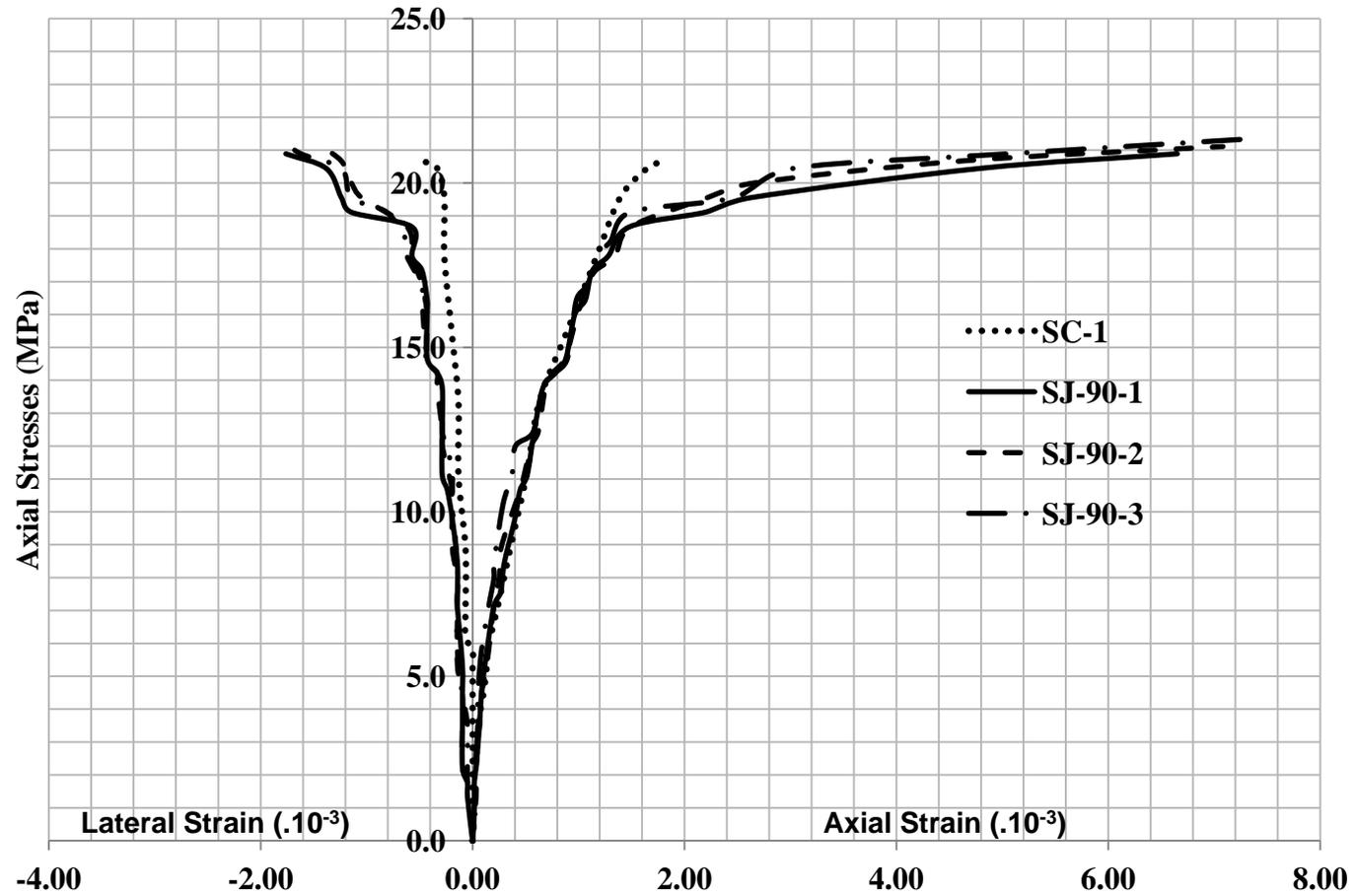
المخطط البياني 2-3: نتائج تحميل العينات SJ-0



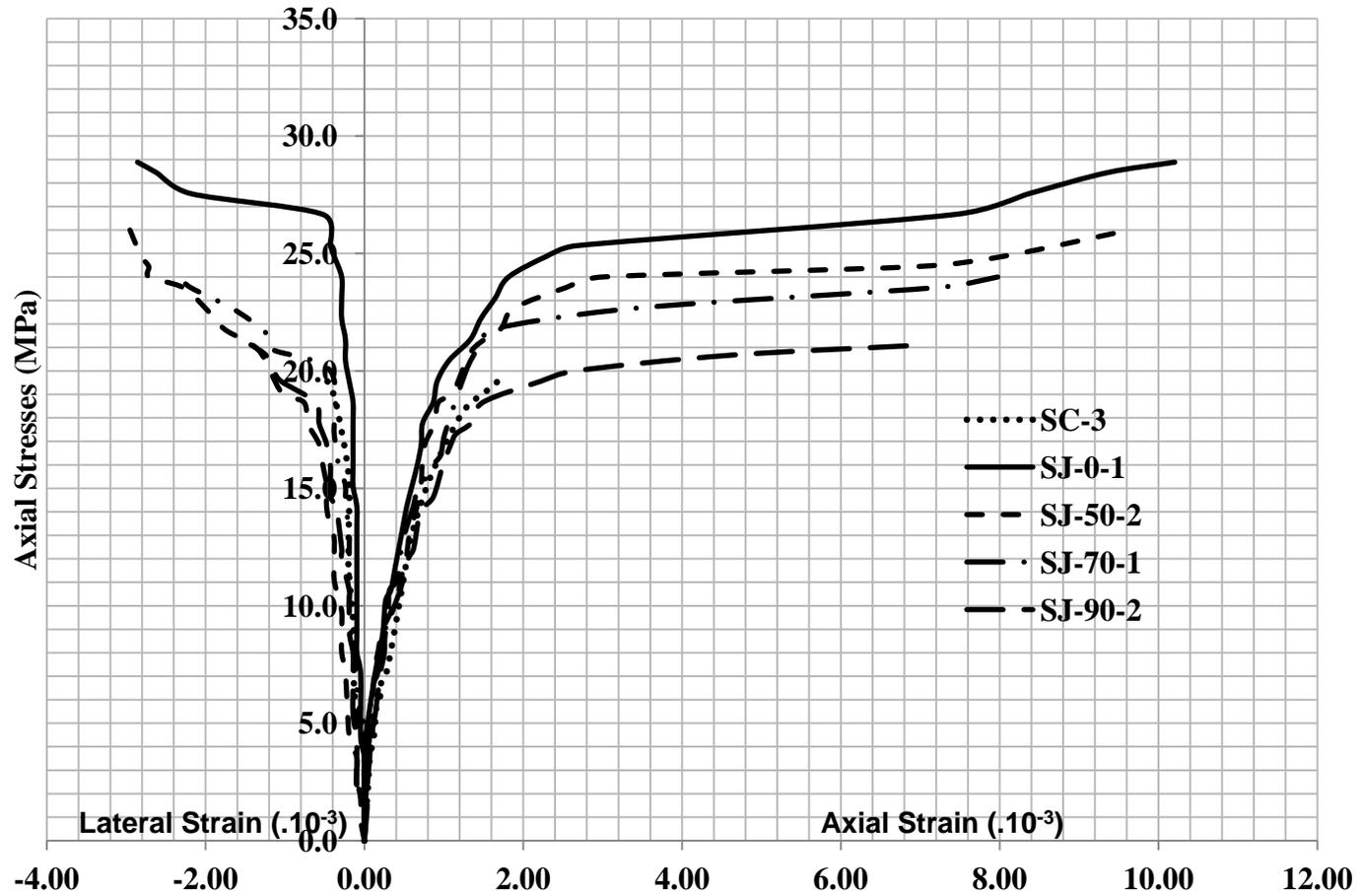
المخطط البياني 3-3: نتائج تحميل العينات SJ-50



المخطط البياني 4-3: نتائج تحميل العينات SJ-70



المخطط البياني 5-3: نتائج تحميل العينات SJ-90



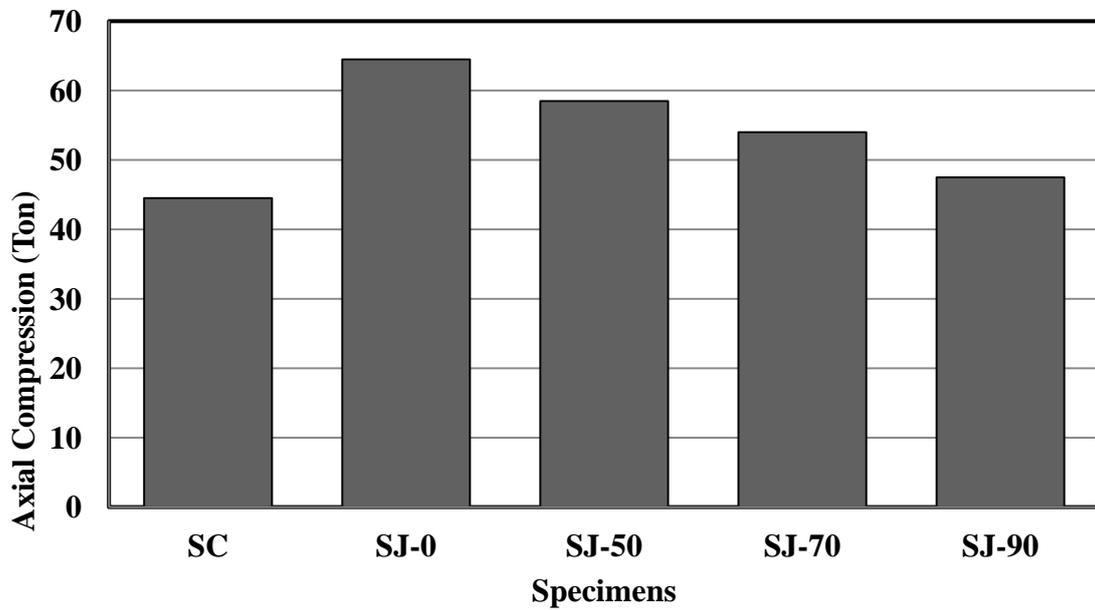
المخطط البياني 6-3: مقارنة نتائج التحميل لبعض العينات

الجدول 12-3 يوضّح القيمة الوسطية لحمولة الانهيار ولكل حالة من حالات التحميل، وأيضاً يبيّن الزيادة في قيمة حمولة الانهيار لكل حالة بالنسبة للعينة الأساسية.

الجدول 12-3: الزيادة في حمولة الانهيار بالنسبة للعينة الأساسية

الزيادة الحاصلة بحمولة الانهيار بالنسبة للعينة الأساسية %	وسطي حمولة الانهيار Ton	العينة
	44.5	SC
45	64.5	SJ-0
31	58.5	SJ-50
21	54	SJ-70
7	47.5	SJ-90

تمّ عرض نتائج الجدول السابق بشكل مخطط بياني كما في الشكل 14-3.



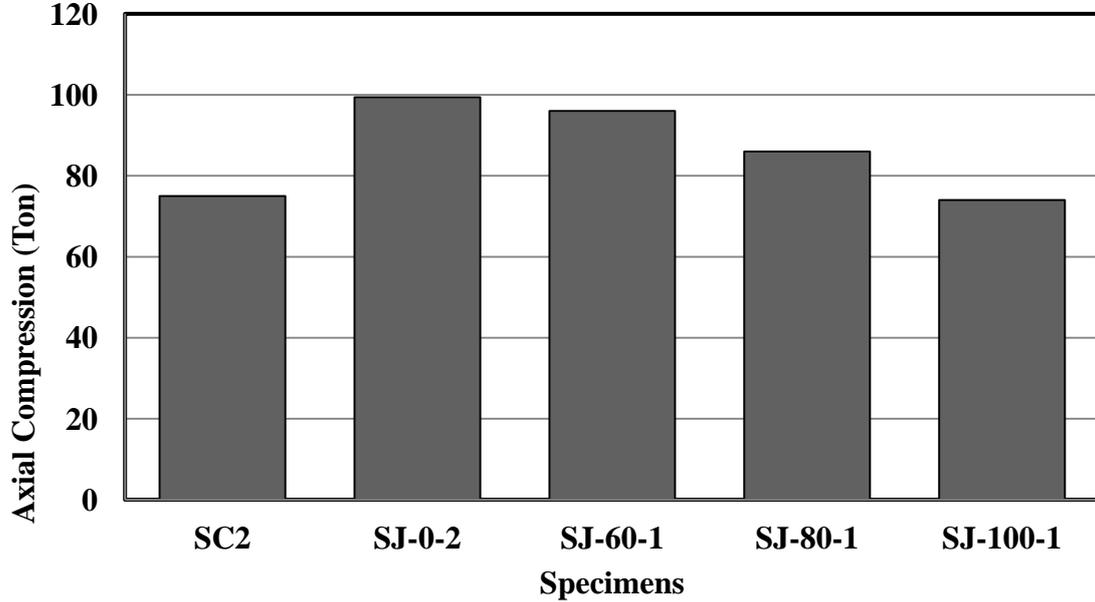
الشكل 14-3: مقارنة نتائج التحميل للعينات المختبرة

ومن أجل المقارنة مع الدراسة المرجعية [1] تمّ وضع نتائج الدراسة المرجعية لبعض العينات كما في الجدول 13-3.

الجدول 3-13: الزيادة في حمولة الإنهيار بالنسبة للعينة الأساسية SC2

العينة	وسطي حمولة الانهيار Ton	مقدار الزيادة الحاصلة بحمولة الانهيار بالنسبة للعينة الأساسية %
SC2	75	
SJ-0-2	99.4	33
SJ-60-1	96	28
SJ-80-1	86	15
SJ-100-1	74	-1.3

تمّ عرض نتائج الجدول السابق بشكل مخطط بياني كما في الشكل 3-15.



الشكل 3-15: مقارنة نتائج التحميل للعينات المختبرة في الدراسة المرجعية

من أجل بيان أثر طريقة التدعيم المقترحة في زيادة مطاوعة الأعمدة البيتونية المسلحة. تمّ حساب معامل مطاوعة الإزاحة.

5-3 معامل مطاوعة الإزاحة displacement ductility ratio:

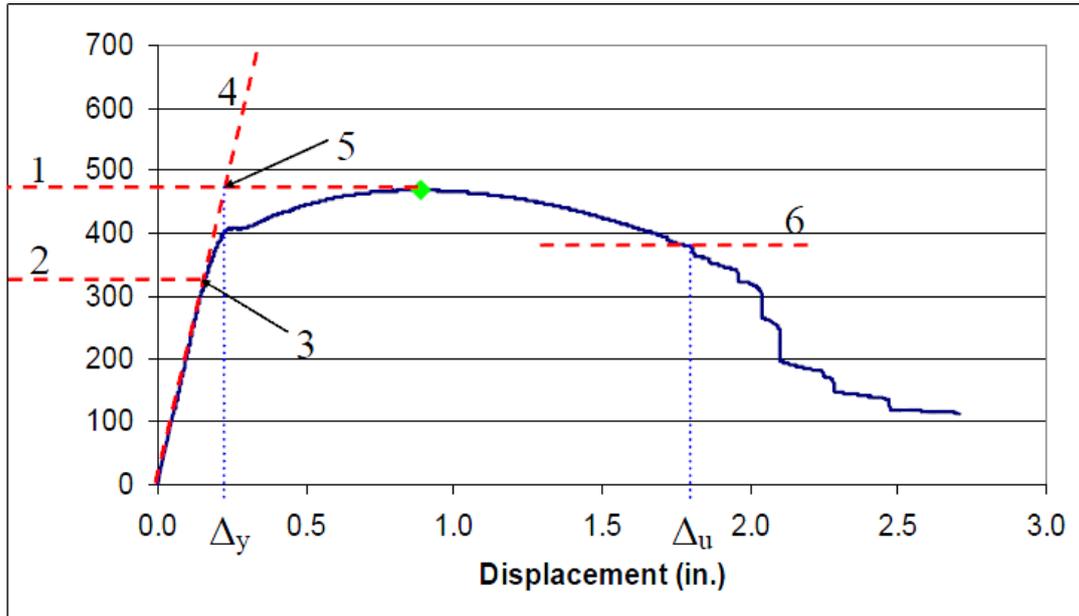
يمكن للعناصر الإنشائية بمطاوعة كبيرة أن تتحمل تشوهات غير مرنة **inelastic deformations** كبيرة قبل حدوث الانهيار. بالإضافة لذلك فإن العناصر المطاوعة تكون قادرة على امتصاص طاقة وأيضاً تُظهر تشوه كبير قبل حدوث الانهيار في حال حملت بشكل زائد. ولا تلاحظ مثل هذه الخاصية في حالة الأعمدة المدعمة باستخدام قمصان من البوليمرات المسلحة بالألياف **FRP** وتتهار بشكل مفاجئ عند زيادة التحميل [4].

تُعطى نسبة مطاوعة الإزاحة وفق المعادلة (4-3) ويرمز له بالرمز μ .

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (4-3)$$

Δ_y : الانتقال عند حد الخضوع، Δ_u : الانتقال الحدي.

لا يمكن تحديد الانتقال عند حد الخضوع بشكل قاطع للعينات المؤلفة من طبقات متعددة من البيتون والفولاذ وبخصائص مختلفة. لذلك سيتم استخدام طريقة هندسية كما هو موضَّح وفق الشكل 16-3 لتحديد Δ_u ، Δ_y [4].



الشكل 16-3: طريقة تعيين الانتقالات عند حد الخضوع والانهيار [4]

يتم تحديد قيمة الانتقال الموافق لحد الخضوع وفق الخطوات التالية:

1. نرسم مستقيم أفقي عند القيمة الحدية القصوى.

2. نرسم مستقيم أفقي عند قيمة للحمولة تعادل 0.7 من الحمولة الحدية القصوى فيتقاطع هذا المستقيم مع المنحني بنقطة رقم 3.

3. نصل بين النقطة 3 ونقطة الاصل بمستقيم ونمدد هذا المستقيم إلى ما بعد المستقيم الأفقي 1 فيتقاطع معه بنقطة 5.

4. ننزل عمود من النقطة 5 على المحور الأفقي فتكون هي قيمة الانتقال الموافق لحد الخضوع Δy .

أما الانتقال الموافق لحد الانهيار Δu فيتم تعيينه من منحنى الانتقال-حمولة عند تقاطع المستقيم الأفقي (6) الموافق للقيمة 0.8 من حمولة الانهيار مع الجزء المنحدر من منحنى حمولة-انتقال.

الجدول 3-14 يوضّح وسطي معامل الإزاحة للعينات. حيث نلاحظ أنّ العينات المقواة والمدعّمة أظهرت مطاوعة أكبر بالمقارنة مع حالة العينات الأساسية.

الجدول 3-14: وسطي معامل الإزاحة للعينات

الزيادة الحاصلة بمعامل المطاوعة بالنسبة للعيّنة الأساسية %	وسطي معامل مطاوعة الإزاحة $\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y}$	العيّنة
	1.64	SC
400	6.56	SJ-0
420	6.90	SJ-50
340	5.57	SJ-70
330	5.39	SJ-90

4. النتائج والتوصيات

Results and Recommendations

الفصل الرابع

النتائج والتوصيات

1-4 نتائج البحث:

1. أظهرت الدراسة الحالية فعالية استخدام شبكات الأسلاك الملحومة **WWMs** المتوافرة محلياً لتدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة.
2. تنهار العينات المقواة والمدعمة بشكل انهيار مطاوع **Ductile Failure** ويتم تمييزه من خلال المساحة الكبيرة المحصورة بمنحني انتقال-حمولة عند نهاية الاختبار بالمقارنة مع شكل انهيار هش **Brittle Failure** لحالة العينات الأساسية (مثل حالة المنحني **SC-3** من المخطط البياني 3-6).
3. أظهرت النتائج أن تقوية الأعمدة البيتونية المسلحة وغير محملة مسبقاً وباستعمال طبقتين من شبكات الأسلاك الملحومة **WWMs** زيادة مقدارها **45%** على حمولة الضغط المحورية القصوى بالمقارنة مع العينات الأساسية (ويعود ذلك إلى الحد من التشوهات الجانبية التي تؤدي لزيادة مساهمة النواة البيتونية الأساسية في تحمل حمولة الضغط المحورية).
4. أظهرت نتائج الاختبار أن تدعيم نفس الأعمدة البيتونية المسلحة بمقطع عرضي مربع الشكل ومحملة مسبقاً حتى **50%** و **70%** و **90%** من طاقة الحمولة المحورية الحدية وباستخدام نفس القمصان، زيادة مقدارها **31%** و **21%** و **7%** على الترتيب على حمولة الضغط المحورية القصوى بالمقارنة مع العينات الأساسية. فكّما كانت نسبة التحميل المسبق المطبّق على الأعمدة أقل قيل التدعيم كلّما كانت فعالية التدعيم أكبر.
5. أسهم التدعيم بزيادة مطاوعة الأعمدة البيتونية المسلحة وتمّ إثبات ذلك من خلال الزيادة الحاصلة في نسبة مطاوعة الإزاحة **displacement ductility ratio**. حيث وجدنا أن الأعمدة المحملة مسبقاً بنسب تحميل **0%، 50%، 70%، 90%** من طاقة الحمولة المحورية الحدية قد أعطت زيادة في معامل مطاوعة الإزاحة مقدارها **330%، 340%، 420%، 400%** على الترتيب.

وتكمن أهمية المطاوعة بشكل خاص بإبداء العنصر تشوهات لدنة كبيرة قبل حدوث الانهيار وهذا يسهم بتبديد الطاقة **energy dissipation** أثناء التعرض للحمولات الزلزالية.

2-4 التوصيات:

بما أنّ هذه التقنية أثبتت فعالية في تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة. لذلك من أجل استخدامها بشكل آمن وفعال في منشآتنا الهندسية فإننا نوصي بتعميق الدراسة في هذا المجال لنقاط أخرى لم تشملها الدراسة الحالية منها:

دراسة التدعيم (باستخدام مواصفات مختلفة للمونة الاسمنتية ولشبكات الأسلاك الملحومة - استخدام أعداد مختلفة من طبقات الشبكات- تأثير تدوير زوايا الأعمدة - التدعيم دون رفع الحمولات المطبقة- حالة الأعمدة المعرضة لضغط لامركزي- الأعمدة البيتونية المسلحة بمقاطع عرضية مختلفة).

5. المراجع

References

LIST OF REFERENCES

- [1] S.M. Mourad and M.J. Shannag, "Repair and strengthening of reinforced concrete square columns using ferrocement jackets," *Cement and Concrete Composites*, vol. 34, no. 2, pp. 288-294, February 2012.
- [2] مأمون سمكري; غادة العسراوي، "دراسة التشوهات وأشكال الانهيار للأعمدة المدعّمة بألياف الكربون"، *مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية*، المجلد 21، رقم 1، pp. 67-91، 2005.
- [3] B. Kondraivendhan and Bulu Pradhan, "Effect of ferrocement confinement on behavior of concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 3, pp. 1218 - 1222, 2009.
- [4] Eric Andrew Miller, *Experimental Research of Reinforced Concrete Column: Retrofit Methods*, The Ohio State University, 2006.
- [5] رضوان الجرف; علي شاش، "معجم مصطلحات الهندسة وإدارة التشييد إنكليزي_عربي"، تأليف الميسر *AL-MUYASSIR*، الظهران، جامعة الملك فهد للبترول والمعادن، 1995.
- [6] Shehab Eldin M. Mourad, "Performance of Plain Concrete Specimens Externally Confined with Welded Wire Fabric," *King Saud University college of Engineering*, 2006.
- [7] A. B. M. Amrul Kaish, Md. Abdul Wahed, Md. Rabiul Alam, "BEHAVIOUR OF FERROCEMENT ENCASED SQUARE REINFORCED CONCRETE COLUMN UNDER ECCENTRIC LOADING," in *ICSECM 2011*, Kandy - Sri Lanka, 2011.
- [8] ACI Committee 549 (ACI 549.1R-93), "Guide for the Design, Construction, and Repair of Ferrocement," 1993.
- [9] [Online]. Available:

- <http://waterforwaslala.wordpress.com/2011/08/08/ferrocement-the-coolest-invention-since-the-smart-phone/>. [Accessed 7 December 2013].
- [10] Syrian Wire, [Online]. Available:
http://www.syrianwire.com/wire_mesh_a.html. [Accessed 25 June 2013].
- [11] Sung-Hoon Kim and Dae-Kon Kim, "Seismic retrofit of rectangular RC bridge columns using wire mesh wrap casing," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 15, no. 7, pp. 1227-1236, 2011.
- [12] G.J. Xiong and X.Y. Wu and F.F. Li and Z. Yan, "Load carrying capacity and ductility of circular concrete columns confined by ferrocement including steel bars," *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 5, pp. 2263 - 2268, 2011.
- [13] الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة، المجلد الطبعة الثالثة، دمشق: نقابة المهندسين، 2004.
- [14] M. Yaqub, Axial compressive and seismic shear performance of post-heated columns repaired with composite materials, vol. Ph.D. thesis, Manchester University, 2010.

6. ملحق A

إختبارات الفولاذ

في هذا الملحق عرض موجز عن التجارب التي تمّت على العينات الفولاذية بأقطار 6mm و 10mm والتي أُجريت في مخبر البيتون في كليّة الهندسة المدنية.



الشكل 1-6: قضبان التسليح 10mm المستخدم في التسليح الطولي للأعمدة البيتونية المسلّحة



الشكل 2-6: قضبان التسليح 6mm المستخدم في التسليح العرضي (الأساور) للأعمدة البيتونية المسلّحة

والشكل 3-6 يبيّن العينة الفولاذية أثناء تجربة الشد



الشكل 3-6: تجربة شد العينات الفولاذية

الجدول 1-6: نتائج تجربة الشد لفولاذ التسليح

مساحة مقطع التسليح 10 مم	0.78	سم ²
مساحة مقطع التسليح 6 مم	0.28	سم ²

7	6	5	4	3	2	1	رقم العينة
-	-	-	-	-	-	-	رمز العينة
أملس	أملس	أملس	محلزن	محلزن	محلزن	محلزن	نوع العينة
6مم	6مم	6مم	10مم	10مم	10مم	10مم	القطر الإسمي/ق/ (مم)
0.143	0.142	0.143	0.472	0.445	0.497	0.509	وزن العينة (كغ)
53.6	53.6	53.6	76.8	73.1	80.7	80.9	طول العينة (سم)
266.79	264.93	266.79	614.58	608.76	615.86	629.17	وزن المتر الطولي (غ/م)
266.17			617.09				وسطي وزن المتر الطولي (غ/م)
3	3	3	5	5	5	5	الطول (سم) قبل التجربة (سم)
3.74	3.74	3.75	6.46	6.56	6.52	6.49	بعد التجربة (سم) ل=5ق
0.74	0.74	0.75	1.46	1.56	1.52	1.49	المطلقة (سم)
24.67%	24.67%	25.00%	29.20%	31.20%	30.40%	29.80%	النسبية (%) الاستطالة
24.78%			30.15%				وسطي الاستطالة النسبية (%)
1175	1130	1220	3860	3600	3870	4000	حمولة المرونة (كغ)
4196.43	4035.71	4357.14	4948.72	4615.38	4961.54	5128.21	حد المرونة (كغ/سم ²)
4196.43			4913.46				وسطي حد المرونة (كغ/سم ²)
1685	1650	1720	4630	4380	4680	4800	حمولة الانقطاع (كغ)
6017.86	5892.86	6142.86	5935.90	5615.38	6000.00	6153.85	حد الانقطاع (كغ/سم ²)
6017.86			5926.28				وسطي حد الانقطاع (كغ/سم ²)

7. ملحق B

إختبارات البيتون والمونة الإسمنتية

7-1 اختبار مقاومة الضغط للعينات البيتونية بعد 28 يوم من الصب:

تحدّد المقاومة المميزة للخرسانة في الضغط والشد من نتائج اختبارات الضغط والشد والانفلاق على عينات قياسية عمرها 28 يوماً، محفوظة في الماء بدرجة حرارة 20 ± 2 درجة مئوية [13].

الجدول 7-1: نتائج اختبار مقاومة الضغط للعينات البيتونية

رقم العينة	ترميز المخبر	شكل العينة	أبعاد العينة (مم)			وزن العينة (غ)	حمولة الانهيار (كغ)	المقاومة المكعبة kg/cm^2	المقاومة الاسطوانية المميزة kg/cm^2
			الطول	العرض	الارتفاع				
1	2/4	مكعبة	150	150	150	7770	41250	183.33	146.67
2	2/4	مكعبة	150	150	150	7700	42230	187.69	150.15
3	2/4	مكعبة	150	150	150	7790	42340	188.18	150.54
4	2/4	مكعبة	150	150	150	7930	41181	183.03	146.42
5	2/4	مكعبة	150	150	150	7860	42300	188.00	150.40
6	2/4	مكعبة	150	150	150	7740	43610	193.82	155.06
149.87						ملاحظات: اختبرت العينات بتاريخ 30/4/2013 أي بعد 28 يوم من تاريخ الصب			
						وسطي المقاومة الاسطوانية المميزة kg/cm^2			

7798.33	وسطي وزن العينة (غ)
2310.62	الوزن الحجمي kg/m^3

تمّ اعتماد القيمة $f'_c = 15 \text{Mpa}$ (مقاومة الضغط المميزة الاسطوانية).

7-2 تصميم خلطة المونة الاسمنتية الخاصّة بطبقة التدعيم:

تمّ الاعتماد بشكل مبدئي على النسب الموصى بها والواردة في المرجع [14] حيث أعطى الباحث مجالات النسب المقترحة لطبقة الفيروسمنت وهي بالشكل التالي:

sand-cement ratio by weight 1.5 To 2.5
water-cement ratio by weight 0.35 To 0.5

ويفضّل استعمال الخلطة ذات القوام الجامد **stiff mix**، وتحسين قابلية التشغيل للخلطة يجب استعمال ملدنات **superplasticizers** [14].

في البحث الحالي تمّ اعتماد النسب التالية للخلطة الخاصة بالمونة الاسمنتية. $C:S:W=1:2:0.55$.
 واستخدمنا ملدنات بنسبة 1.5% من وزن الإسمنت.

تمّ صب 8 عينات مكعبية كما في الشكل 7-1. وبعدها تمّ حفظ العينات تحت الماء في درجة حرارة 20 ± 2 درجة مئوية لمدة 28 يوم. الشكل 7-2 يوضّح شكل انهيار العينة المكعبية ($10X10X10$ cm).



الشكل 7-1: العينات المكعبية (10x10x10 cm) الخاصة بالمونة الاسمنتية



الشكل 7-2: شكل انهيار العينة المكعبية (10X10X10 cm)

الجدول 2-7: نتائج اختبار مقاومة الضغط لعينات المونة الاسمنتية بعد 28 يوم

رقم العينة	ترميز المخبر	شكل العينة	أبعاد العينة (مم)			وزن العينة (غ)	حمولة الانهيار (كغ)	المقاومة المكعبة kg/cm^2	عمر العينة Days	عامل تصحيح الزمن	عامل تصحيح الشكل	المقاومة الاسطوانية المميزة kg/cm^2
			الارتفاع	العرض	الطول							
1	1	مكعبة	100	100	100	2100	28506	28	1.000	0.78	222.35	
2	2	مكعبة	100	100	100	2080	30710	28	1.000	0.78	239.54	
3	3	مكعبة	100	100	100	2090	26321	28	1.000	0.78	205.30	
4	4	مكعبة	100	100	100	2115	27720	28	1.000	0.78	216.22	
5	5	مكعبة	100	100	100	2130	26910	28	1.000	0.78	209.90	
6	6	مكعبة	100	100	100	2135	27604	28	1.000	0.78	215.31	
7	7	مكعبة	100	100	100	2080	30710	28	1.000	0.78	239.54	
8	8	مكعبة	100	100	100	2100	28780	28	1.000	0.78	224.48	
221.58		ملاحظات: تم صب العينات بتاريخ 24/9/2013					وسطي المقاومة الاسطوانية المميزة kg/cm^2					
							C:S:W:P=1:2:0.55:0.015					
							2103.75					
							وسطي وزن العينة (غ)					
							2103.75					
							الوزن الحجمي kg/m^3					

8. ملحق C

الإختبارات على شبكات الأسلاك

الملحومة WWMs

1-8 الاختبارات على شبكات الأسلاك الملحومة WWMs:

تم إجراء الاختبارات لتحديد المواصفات الميكانيكية **mechanical properties** لشبكات الأسلاك الملحومة WWMs، وذلك بإجراء اختبار الشد **tensile test** على ثلاث عينات وأيضاً بالاعتماد على ماورد في [8] و [6].

1-1-8 تحضير العينات لشبكات الأسلاك الملحومة WWMs بحسب [8]:

يمكن من أجل الشبكات ذات الفتحات المستطيلة و المربعة الشكل، الحصول على حد الخضوع **yield strength**، معامل المرونة **elastic modulus**، ومقاومة الشد الحدية **ultimate tensile strength** وذلك بإجراء اختبارات الشد المباشر على عينات من الأسلاك أو على قسائم **coupons** مقطوعة من الشبكة. أظهرت الاختبارات أن الشبكات تبدي استجابة لمنحني تشوه-إجهاد **stress-strain** يختلف جوهرياً باختلاف اتجاهات التحميل [8].

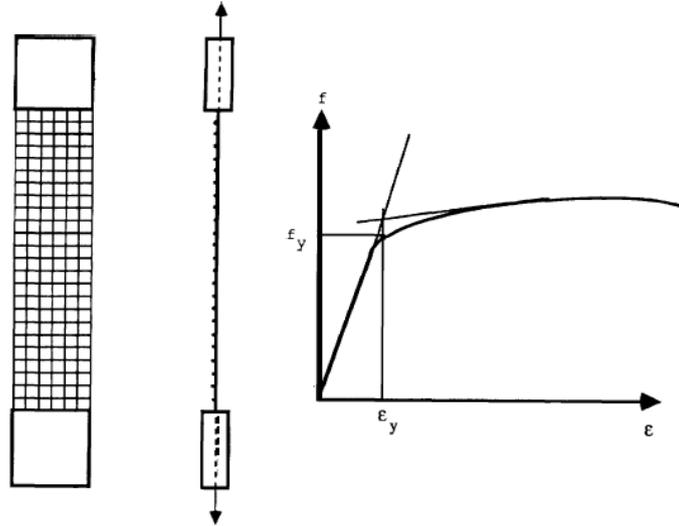
1. تحضّر عينة الاختبار وذلك بتغليف نهايتي العينة المستطيلة بالمونة الاسمنتية ويطول لا يقل عن عرض العينة. ويكون الجزء الحر من العينة هو عينة الاختبار كما هو موضح في الشكل 1-8.

2. يجب ألا يقل عرض عينة الاختبار عن 6 مرات من فتحة الشبكة أو تباعدات الأسلاك المقاسة بشكل معامد لاتجاه التحميل.

3. يجب ألا يقل طول عينة الاختبار عن 3 مرات عرضها أو **6in (150mm)** أيهما أكبر.

4. يجب أن تؤخذ قياسات الاستطالات **elongations** على امتداد نصف طول عينة الاختبار.

5. يؤخذ تشوه الخضوع **yield strain** للعينة مساو للتشوه عند التقاطع بين أفضل خط مستقيم يلائم الجزء الأولي من منحني تشوه-إجهاد **stress-strain curve** وأفضل خط مستقيم يلائم الجزء المتلدّن من منحني تشوه-إجهاد. ويؤخذ إجهاد الخضوع **yield stress** عند نقطة الإجهاد من منحني تشوه-إجهاد والمقابلة لتشوه الخضوع الذي وجد سابقاً كما هو موضح في الشكل 1-8.



الشكل 8-1: رسم تخطيطي لعينة الاختبار على الشد ومنحني تشوه-إجهاد [8]

2-1-8 أبعاد عينات شبكات الأسلاك الملحومة WWMs:

تم اعتماد الأبعاد التالية:

عرض العينة: التباعد الداخلي بين الأسلاك 22.90mm .

$$\text{width} = 6 * 22.90 = 137.40\text{mm}$$

سنعتمد القيمة **Width=150mm**

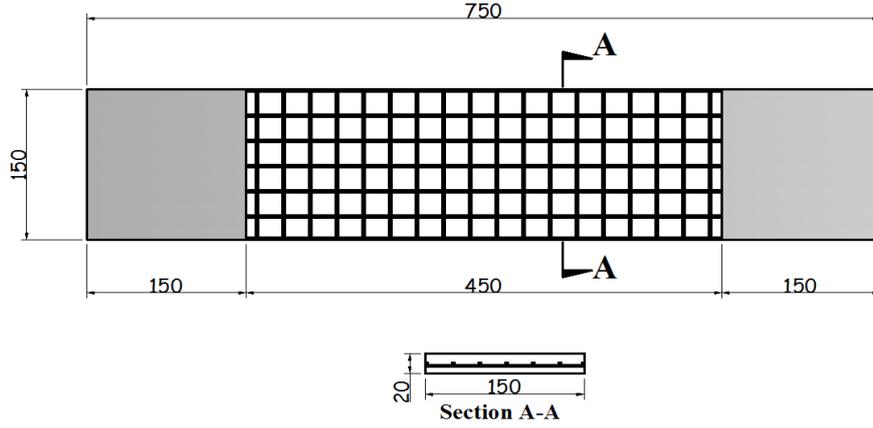
طول العينة:

$$\text{Length} = \max \left\{ \begin{array}{l} 3 * \text{width} = 3 * 150 = 450\text{mm} \\ 150\text{mm} \end{array} \right\} = 450\text{mm}$$

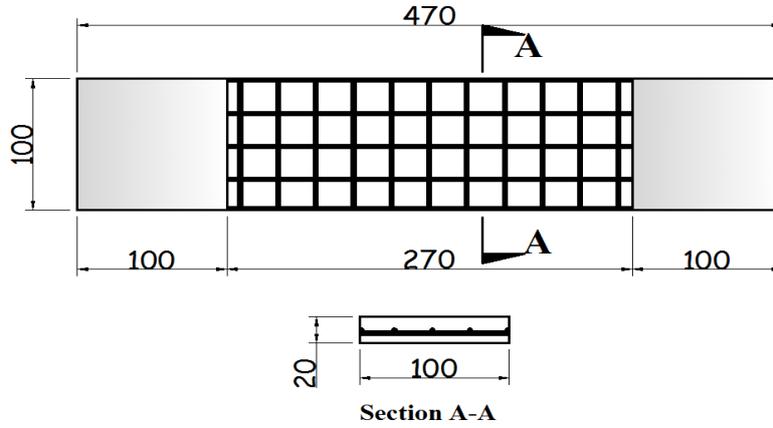
سنعتمد القيمة **Length=450mm**، وسنعتمد سماكة لطبقة المونة الإسمنتية مساوية إلى 20mm .

والشكل 8-2 يوضّح أبعاد العينات اللازمة لإجراء تجربة الشد وفق [8].

ولكن بسبب عدم توافر جهاز للشد في مخبر البيتون متوافق مع الأبعاد السابقة تمّ استبدال الأبعاد السابقة بأبعاد جديدة وفق الشكل 8-3 وذلك من أجل إعطاء صورة تقريبية عن مقاومة الشد للأسلاك.



الشكل 2-8: أبعاد العينات اللازمة لإجراء تجربة الشد على شبكات الأسلاك الملحومة



الشكل 3-8: الأبعاد المعدلة للعينات المختبرة

2-8 مواصفات شبكة الأسلاك الملحومة WWMs :

1-2-8 حساب النسبة الحجمية Volume Fraction لشبكات الأسلاك الملحومة

:WWMs

يمكن حساب النسبة الحجمية V_f لشبكة الأسلاك في طبقة الفيروسمنت مباشرة عند معرفة كثافة مادة الشبكات والوزن من أجل واحدة المساحة للشبكة [8].

المعادلة (1-8) تعطي قيمة V_f مهما كان شكل الشبكة:

$$V_f = \frac{\text{volume of mesh}}{\text{volume of ferrocement section}} = \frac{V_m}{V_c} \quad (1-8)$$

حيث:

$$V_m = N.W_m.area \quad (2-8)$$

$$V_c = \gamma_m.h.area \quad (3-8)$$

N : عدد طبقات شبكات الأسلاك الملحومة. h : سماكة طبقة **Ferrocement**. W_m : الوزن من أجل واحدة المساحة للشبكة. γ_m : كثافة مادة الشبكات. ويمكن بشكل بديل حساب V_f من أجل الشبكات ذات الفتحات المربعة أو المستطيلة كما في المعادلة (4-8).

$$V_f = \frac{N \pi d_b^2}{4h} \left(\frac{1}{D_L} + \frac{1}{D_t} \right) \quad (4-8)$$

حيث:

N : عدد طبقات شبكات الأسلاك الملحومة.

D_b : قطر أسلاك الشبكة.

h : سماكة طبقة **Ferrocement**.

D_L : التباعد من المركز إلى المركز للأسلاك المتوضعة بالاتجاه الطولي في شبكة الأسلاك.

D_t : التباعد من المركز إلى المركز للأسلاك المتوضعة بالاتجاه العرضي في شبكة الأسلاك.

بسبب وجود عيوب تصنيعية **industrial defects** للشبكات والتي تمنع من أخذ القطر الفعلي للأسلاك، لذلك تم الاعتماد على ماورد في [6] لأخذ قيم الأقطار والتباعدات ما بين الأسلاك.

من أجل قيمة D_b تم أخذ وسطي 8 قراءات بأماكن مختلفة من الشبكة لكل من الأسلاك بالاتجاه الأفقي والشاقولي، واعتمدنا: $D_b=2.278 \text{ mm}$.

وأخذنا وسطي 20 قراءة بأماكن مختلفة من الشبكة لحساب التباعدات الداخلية الصافية ما بين الأسلاك لكل من الأسلاك بالاتجاه الأفقي والشاقولي فكانت التباعدات الداخلية الصافية ما بين الأسلاك **22.90 mm**.

وأخذت 4 قراءات عند تقاطعات الشبكة لحساب سماكة الطبقة الواحدة من شبكات الأسلاك الملحومة فكانت السماكة: **4.25 mm**.

$$D_L = D_t = 22.90 + 2.278 = 25.18 \text{ mm}$$

باستخدام طبقتين من شبكات الأسلاك الملحومة $N=2$ ، سماكة طبقة **Ferrocement** : **h=30mm**.
نعوض في المعادلة 4-8 لحساب **Vf**.

$$V_f = \frac{2 * \pi * 2.278^2}{4 * 30} \left(\frac{1}{25.18} + \frac{1}{25.18} \right) * 100 = 2.16\%$$

ومن أجل $N=3$ نعوض:

$$V_f = \frac{3 * \pi * 2.278^2}{4 * 30} \left(\frac{1}{25.18} + \frac{1}{25.18} \right) * 100 = 3.24\%$$

2-2-8 نتائج إختبار عينات شبكات الأسلاك الملحومة:

توضّح الأشكال التالية مراحل إعداد العينات وإجراء تجربة الشد على شبكات الأسلاك الملحومة.



الشكل 4-8: عينات شبكات الأسلاك الملحومة المعدة للاختبار

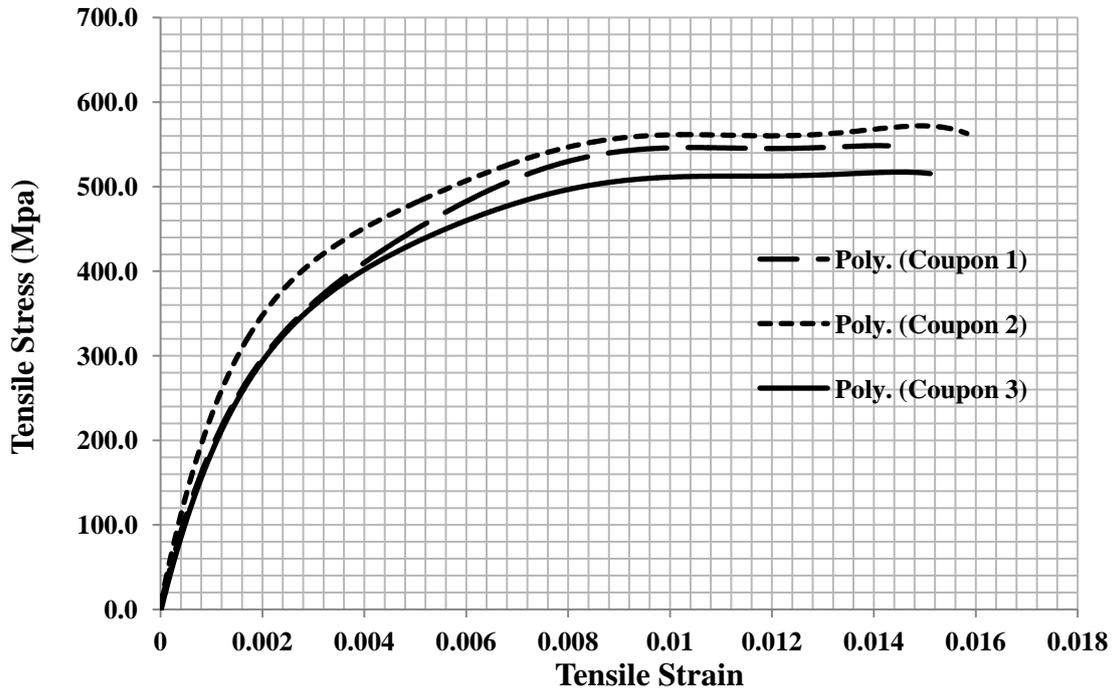


الشكل 5-8: اختبار الشد على العينة رقم (1)



الشكل 6-8: شكل انهيار العينة رقم (3)

بعد إجراء تجربة الشد تم رسم المنحنيات إجهاد-تشوه لكل عينة كما في المخطط البياني 1-8.



المخطط البياني 1-8: منحنيات تشوه-إجهاد للعينات الثلاثة

تم الحصول على قيم إجهاد الخضوع **yield stress**، الإجهاد الحدي **ultimate stress**، معامل المرونة **modulus of elasticity** للعينات المختبرة من المنحنيات السابقة ووفق ماورد في [8]. الجدول 1-8 يبين نتائج الاختبار للعينات.

الجدول 1-8: نتائج اختبار الشد على عينات شبكات الأسلاك الملحومة

Coupon	Yield Stress (Mpa)	Yield Strain	Modulus of Elasticity (Mpa).10³	Ultimate Stress (Mpa)
Coupon 1	350	0.0028	125	550
Coupon 2	362	0.0022	165	564
Coupon 3	346	0.0026	133	515
Average	353	0.0025	141	543

Damascus University
Faculty of Civil Engineering
Structure Engineering Department



**Repair Of Reinforced Concrete Columns Using Locally
Available Welded Wire Meshes (WWMS)**

A thesis prepared to get a master degree in Civil Engineering-
Department of Structural Engineering

Prepared by student:

Eng. Yamen Ali

Supervised by Dr Eng:

Abd Al Hamid Kikhia

Damascus 2014