جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

دراسة تأثير تقوية الأعمدة البيتونية بالألياف الزجاجية GFRP

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية – قسم الهندسة الإنشائية

إعداد

المهندس محمد حسام الملك

إشراف

الدكتور المهندس هيثم زرزور

العام الدراسي

2015

الإهداء

إلى من علمني العطاء بدون انتظار....إلى من أحمل اسمه بكل افتخار....إلى من زرع في نفسي بذرة الاعتماد على الذات ومهد أمامي طريق النجاح....

والدي العزيز

إلى القلب الحنون واليد الدافئة....إلى من أعطتني من روحها وعمرها حباً وتصميماً ودفعاً لغد جميل....إلى من كانت لي خير عون....إلى أغلى الناس....

أمي الحبيبة

إلى من قاسموني هموم حياتي وكانوا لي خير عونٍ في عثراتي ....إلى من أرى نجاحي بأعينهم ..... وأرى مستقبلي بنجاحهم....

إخوتي

إلى من جعلت حبها وساماً على صدري..... إلى من نقشتها الأقدار في قلبي و حفرت اسمها في عقلي و عروقي ....

إليكِ شريكة حياتي

إلى من تحلو الأيام برفقتهم ....إلى رفاق الدرب الذين قضيت معهم أجمل أيام حياتي ....إلى من كانوا معي على طريق النجاح والخير....

أصدقائي

إلى كل من ساهم في الوصول إلى ما وصلت إليه الآن ....إلى كل من شجعني في رحلتي إلى التميز والنجاح .... إلى كل من ساندني ووقف بجانبي....أهدي لكم جميعا هذا العمل المتواضع....

المهندس محمد حسان جاويش
المهندس محمد شادي حموي
المهندسة غيداء عليا

إلى كليتي التي قضيت فيها أجمل أيام حياتي .... إلى جميع أساتذتي الذين قدموا علمهم وخبرتهم وأخص بالذكر الدكتور المهندس أمجد حلواني .... إلى لجنة التحكيم الموقرة لسعة صدرها واهتمامها المشكور وأخص بالشكر **الدكتور المهندس هيثم زرزور** على رحابة صدره وكرم أخلاقه وجهوده المبذولة في الإشراف على هذا العمل ....له مني فائق الاحترام والتقدير...

محمد حسام الملك

كانون الأول/2015

فهرس المحتويات

Contents

فهرس الأشكال

فهرس الجداول

الرموز المستخدمة

قائمة المختصرات

ملخص البحث

الفصل الأول: مقدمة.....1

1-1 مقدمة عن الأعمدة البيتونية المسلحة.....1

2-1 لمحة عن أشكال التدعيم في الأعمدة.....3

3-1 الهدف من البحث وأهميته.....9

4-1 طرائق البحث.....9

5-1 محتويات الأطروحة.....9

الفصل الثاني: الدراسات المرجعية.....11

1-2 مقدمة.....11

2-2 مادة البيتون المسلح ومكوناتها.....11

3-2 تعريف بمادة الFRP وخصائصها.....15

2-4 استخدام مادة الFRP في تدعيم الأعمدة البيتونية.....20

2-5 الدراسات والأبحاث التجريبية.....22

2-5-1 دراسة سلوك الضغط للأعمدة البيتونية المسلحة المغلفة بمركبات الFRP.
(BenZiad.R, et al 2008).....22

2-5-2 المتانة والمطاوعة للأعمدة البيتونية عالية المقاومة المغلفة بالبوليمرات المدعمة بالألياف الزجاجية. (J.Saravanan et al 2012).....30

2-5-3 دراسة تجريبية لقدرة تحمل الأعمدة البيتونية المسلحة المقواة بGFRP.
(R.Balamurugan, et al 2012).....35

2-5-4 سلوك الأعمدة المستطيلة البيتونية المسلحة المقواة بالألياف الزجاجية GFRP.
(Kumutha et al 2007).....39

2-5-5 سلوك الأعمدة البيتونية المسلحة المغلفة بالبوليميرات المدعمة بالألياف GFRP بمقاطع عرضية مختلفة. (Raval.R, Dave.U 2012).....43

2-6 خلاصة الفصل الثاني.....50

الفصل الثالث: الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة.....51

3-1 مقدمة.....51

3-2 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة.....51

3-2-1 توصيف النموذج.....51

3-2-2 العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج ABAQUS.....52

3-2-3 الشروط المحيطية للنموذج.....53

3-2-4 الأحمال المطبقة على النموذج.....53

3-2-5 التحليل المستخدم.....54

3-2-6 طرائق نمذجة المواد المستخدمة.....54

3-3 دراسة أثر تقارب الشبكة.....61

4-3 مقارنة نتائج النموذج التحليلي مع النتائج التجريبية..... 64

5-3 خلاصة الفصل الثالث.....68

الفصل الرابع: الدراسة البارامترية.....69

1-4 مقدمة.....69

2-4 أثر تغير شكل ومعامل المقطع العرضي على سلوك الأعمدة المقواة بالألياف الزجاجية.....69

3-4 أثر وجود شطفات وحواف مدورة عند زوايا المقطع العرضي للعمود..... 75

4-4 أماكن توضع طبقة الألياف الزجاجية على طول العمود..... 79

5-4 خلاصة الفصل الرابع.....83

الفصل الخامس: النتائج والتوصيات.....84

1-5 النتائج.....84

2-5 التوصيات.....85

المراجع.....86

فهرس الأشكال

الشكل (1-1): الجملة الإنشائية المكونة من البلاطات والجوائز والأعمدة..... 1

الشكل (1-2): أعمدة حجرية 2

الشكل (1-3): أعمدة خشبية.....2

الشكل (1-4): أعمدة معدنية 2

الشكل (1-5): أعمدة بيتونية مسلحة.....2

الشكل (1-6): أشكال التسليح في الأعمدة.....3

الشكل (1-7): بعض أنواع وأشكال مركبات الFRP المستخدمة في صناعة البناء والتشييد (B.K.Williams 2004).....5

الشكل (1-8) الألياف الزجاجية بشكل خيوط منفصلة.....6

الشكل (1-9) الألياف الزجاجية بشكل لفافة مستمرة.....6

الشكل (1-10) الألياف الزجاجية بشكل شبكة.....6

الشكل (1-11) أنواع متعددة من شبكات الألياف الزجاجية.....7

الشكل (1-9): استخدام مركبات الFRP في تدعيم العمود (B.K.Williams 2004).....8

الشكل (1-13): حالة الإجهادات الناشئة في العمود عند تعرضه للضغط (B.K.Williams 2004).....8

الشكل(2-1): منحني الإجهاد – التشوه للبيتون على الضغط وفق الكود الأوربي (EuroCode2-2004).....13

الشكل(2-2): منحني الإجهاد – التشوه النسبي لفولاذ التسليح وفق الكود الأوربي (EuroCode2-2004).....14

الشكل (2-3): أنواع البوليميرات المدعمة بالألياف (Ricamato, 2007).....15

الشكل (2-4): الأشكال الشائعة لتوزع الألياف ضمن مادة FRP (McCrum et al 1997).....16

الشكل (2-5): منحني الإجهاد-التشوه لمادة الألياف وللمادة الرابطة ولمادة الFRP (B.K.Williams. 2004)..17

الشكل (2-6): مقارنة بين سلوك مواد ال FRP والفولاذ (Baghpour, 2012).....18

الشكل (2-7): ميكانيكية التطويق للأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام مركبات الFRP .B.K.Williams)
2004).....20

الشكل (2-8): مقارنة بين منحنيات الإجهاد – التشوه المحوري لأعمدة بيتونية مدعمة بالFRP وغير مدعمة.....21

الشكل (2-9) يوضح آلية تشقق أغلفة الألياف الزجاجية في العينات الاسطوانية (Benziad.R et al 2008).....25

الشكل (2-10) يوضح أماكن تشقق أغلفة الألياف الزجاجية في العينات المربعة (Benziad.R et al 2008).....25

الشكل (2-11) يوضح منحنيات الاجهاد – التشوه من أجل العينات الاسطوانية (Benziad.R et al 2008).....27

الشكل (2-12) يوضح منحنيات الاجهاد – التشوه من أجل العينات المربعة (Benziad.R et al 2008).....29

الشكل (2-13) يوضح كيفية تغليف العينات (J.Saravanan et al 2012).....31

الشكل (2-14) يبين التزايد في المتانة من أجل كل أنواع العينات (J.Saravanan et al 2012).....32

الشكل (2-15) يبين التزايد في التشوه من أجل كل أنواع العينات (J.Saravanan et al 2012).....34

الشكل (2-16): شكل الانهيار للعمود البيتوني المغلف بGFRP (R.Balamurugan, et al 2012) 36

الشكل (2-17): شكل الانهيار للعمود البيتوني دون تدعيم (R.Balamurugan, et al 2012).....36

الشكل (2-18): منحني الحمولة – التشوه المحوري للأعمدة البيتونية دون تغليف. a- للطول 600 mm . b- للطول
750 mm (R.Balamurugan, et al 2012).....37

الشكل (2-19): منحني الحمولة – التشوه الجانبي للأعمدة البيتونية دون تغليف. a- للطول 600 mm . b- للطول
750 mm (R.Balamurugan, et al 2012).....37

الشكل (2-20): منحني الحمولة – التشوه المحوري للأعمدة البيتونية المغلفة بطبقة واحدة من الألياف الزجاجية. a-
للطول 600 mm . b- للطول 750 mm (R.Balamurugan, et al 2012).....37

الشكل (2-21): منحني الحمولة – التشوه الجانبي للأعمدة البيتونية المغلفة بطبقة واحدة من الألياف الزجاجية. a-
للطول 600 mm . b- للطول 750 mm (R.Balamurugan, et al 2012).....38

الشكل (2-22): منحني الحمولة – التشوه المحوري للأعمدة البيتونية المغلفة بطبقتين من الألياف الزجاجية. a-
للطول 600 mm . b- للطول 750 mm (R.Balamurugan, et al 2012).....38

الشكل (2-23): منحني الحمولة – التشوه الجانبي للأعمدة البيتونية المغلفة بطبقتين من الألياف الزجاجية. a- للطول 750 mm (R.Balamurugan, et al 2012) -b للطول 600 mm 38

الشكل (2-24): توضع العينة ضمن جهاز الاختبار (Kumutha et al 2007).....41

الشكل (2-25): تأثير معامل المقطع على الحمولة الأعظمية في الأعمدة (Kumutha et al 2007).....42

الشكل (2-26): الزيادة في الحمولة الأعظمية مع تغير عدد الطبقات ومعامل المقطع العرضي (Kumutha et al 2007).....42

الشكل (2-27): تفاصيل التسليح في عينات الأعمدة (Raval.R, Dave.U 2012).....43

الشكل (2-28): صفائح الألياف الزجاجية. (a) الصفائح على شكل رول. (b) شرائح الGFRP وحيد الاتجاه (Raval.R, Dave.U 2012).....44

الشكل (2-29): تحضير العينات وتغليفها بشرائح الGFRP (Raval.R, Dave.U 2012).....45

الشكل (2-30): شكل تخطيطي يوضح العينة ضمن جهاز الاختبار (Raval.R, Dave.U 2012).....46

الشكل (2-31): العينات في المختبر (Raval.R, Dave.U 2012).....46

الشكل (2-32): مقارنة الحمولة الأعظمية لعينات لأعمدة (Raval.R, Dave.U 2012).....47

الشكل (2-32): منحنيات الحمولة - التشوهات المحورية للأعمدة (Raval.R, Dave.U 2012).....48

الشكل (2-33): انهيار العمود المربع غير المغلف (Raval.R, Dave.U 2012).....48

الشكل (2-34): انهيار العمود المستطيل غير المغلف (Raval.R, Dave.U 2012).....49

الشكل (2-35): انهيار العمود المربع المغلف بGFRP (Raval.R, Dave.U 2012).....49

الشكل (2-36): انهيار العمود المستطيل المغلف بGFRP (Raval.R, Dave.U 2012).....50

الشكل (3-1) تمثيل العنصر الفراغي بثمان عقد (ABAQUS Ver6.12 Doucmentation,2012).....53

الشكل (3-2) تمثيل العنصر الشبكي ذو العقدتين (ABAQUS Ver6.12 Doucmentation,2012).....53

الشكل (3-3): تمثيل العنصر المساحي بأربع عقد (ABAQUS Ver6.12 Doucmentation,2012).....53

الشكل (3-4): منحني الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الضغط (ABAQUS Ver6.12 Doucmentation,2012).....55

الشكل (3-5): منحني الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الشد (ABAQUS Ver6.12 Doucmentation,2012).....56

الشكل(3-6): منحني الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الضغط (EuroCode2-2004).....57

الشكل(3-7): منحني الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الشد المعتمد.....59

الشكل (3-8): منحني الإجهاد-التشوه النسبي للفولاذ.....60

الشكل(3-9): منحني الإجهاد-التشوه النسبي لمادة الألياف الزجاجية.....61

الشكل (3-10) دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج المدروس وفق تجربة (Kumutha et al 2007).....62

الشكل (3-11): شكل النموذج وفق برنامج الاباكوس الموافق لتجربة (Kumutha et al 2007) 62

الشكل رقم (3-12) دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج المدروس وفق تجربة (Raval.R, Dave.U 2012).....63

الشكل (3-13): شكل النموذج وفق برنامج الاباكوس الموافق لتجربة (Raval.R, Dave.U 2012).....63

الشكل (3-14): قيم الحمولة الأعظمية للأعمدة وفق الدراسة التحليلية.....64

الشكل (3-15): قيم الحمولة الأعظمية للأعمدة وفق الدراسة التجريبية.....65

الشكل (3-16): مقارنة بين منحني القوة – الانتقال التحليلي مع المنحني التجريبي للعمود المربع دون ألياف.....66

الشكل (3-17): مقارنة بين منحني القوة – الانتقال التحليلي مع المنحني التجريبي للعمود المربع مع ألياف.....66

الشكل (3-18): مقارنة بين منحني القوة – الانتقال التحليلي مع المنحني التجريبي للعمود المستطيل بدون ألياف...67

الشكل (3-19): مقارنة بين منحني القوة – الانتقال التحليلي مع المنحني التجريبي للعمود المستطيل مع ألياف.....67

الشكل (4-1): منحني الحمولة-الانتقال للعمود بمقطع مربع مع وبدون تقوية بالألياف الزجاجية.....71

الشكل (4-2): منحني الحمولة-الانتقال للعمود بمقطع مستطيل (a/b=2) مع وبدون تقوية بالألياف الزجاجية.....71

الشكل (4-3): منحني الحمولة-الانتقال للعمود بمقطع مستطيل (a/b=3) مع وبدون تقوية بالألياف الزجاجية.....72

الشكل (4-4): مقارنة بين منحني الحمولة – الانتقال للعمود المربع (a/b=1) والمستطيل (a/b=2 & a/b=3)...73

الشكل (4-5): منحني الحمولة-الانتقال للعمود بمقطع دائري مع وبدون تقوية بالألياف الزجاجية.....73

الشكل (4-6): مقارنة بين منحني الحمولة-الانتقال للعمود بمقطع دائري ومربع ومستطيل.....74

الشكل (4-7): الشطفات الحادة والمدورة عند زوايا المقطع العرضي للأعمدة 75

الشكل (4-8): منحنيات الحمولة – الانتقال للأعمدة بمقطع مربع بحواف عادية وحواف ذات شطفة حادة وحواف ذات شطفة مدورة.....76

الشكل (4-9): منحنيات الحمولة – الانتقال للأعمدة بمقطع مستطيل (a/b=2) بحواف عادية وحواف ذات شطفة حادة وحواف ذات شطفة مدورة.....76

الشكل (4-10): منحنيات الحمولة – الانتقال للأعمدة بمقطع مستطيل (a/b=3) بحواف عادية وحواف ذات شطفة حادة وحواف ذات شطفة مدورة.....77

الشكل (4-11): منحنيات التشوه العرضي للعمود بمقطع مربع لحالة الحواف العادية وذات الشطفة الحادة والشطفة المدورة.....78

الشكل (4-12): منحنيات التشوه العرضي للعمود بمقطع مستطيل (a/b=2) لحالة الحواف العادية وذات الشطفة الحادة والشطفة المدورة.....78

الشكل (4-13): منحنيات التشوه العرضي للعمود بمقطع مستطيل (a/b=3) لحالة الحواف العادية وذات الشطفة الحادة والشطفة المدورة.....79

الشكل (4-14): حالات أماكن توضع الألياف الزجاجية على طول العمود المربع.....80

الشكل (4-15): منحنيات الحمولة – الانتقال لحالات الأعمدة (a,b,c,d,full) وفق الدراسة التحليلية.....80

الشكل (4-16): منحنيات الحمولة – الانتقال لحالات الأعمدة (1,2,3,4,full).....81

الشكل (4-17): حالات أماكن توضع الألياف الزجاجية على طول العمود المربع.....82

الشكل (4-18): منحنيات الحمولة – الانتقال لحالات الأعمدة (6,7,full).....82

الشكل (4-19): منحنيات الحمولة – الانتقال لحالات الأعمدة (8,9,full).....83

فهرس الجداول

الجدول (2-1) تصنيفات مادة البيتون وفق الكود الأوربي (EuroCode 2004).....12

الجدول (2-2): خصائص بعض أنواع الألياف المستخدمة (Irwan.R and Rahman.A 2002).....17

الجدول (2-3): الخصائص الفيزيائية لأنواع مركبات الألياف الزجاجية GFRP.....19

الجدول (2-4) خصائص الألياف الزجاجية المستخدمة في هذه التجربة (Benziad.R et al 2008).....23

الجدول (2-5) مواصفات العينات المستخدمة في هذه التجربة (Benziad.R et al 2008).....24

الجدول (2-6) القيم العظمى لنتائج العينات الاسطوانية (Benziad.R et al 2008).....26

الجدول (2-7) النتائج التجريبية للعينات الاسطوانية من البيتون العادي (Benziad.R et al 2008).....27

الجدول (2-8) القيم العظمى لنتائج العينات المربعة (Benziad.R et al 2008).....28

الجدول (2-9) مواصفات العينات المستخدمة في هذه التجربة (J.Saravanan et al 2012).....30

الجدول (2-10) خصائص الألياف الزجاجية المستخدمة في هذه التجربة (J.Saravanan et al 2012).....31

الجدول (2-11) نتائج التجربة (J.Saravanan et al 2012).....32

الجدول (2-12) قيم الحمولة الحدية (R.Balamurugan, et al 2012).....35

الجدول (2-13) قيم التشوه المحوري عند الحمولة 500kg (R.Balamurugan, et al 2012).....36

الجدول (2-14) قيم التشوه الجانبي الوسطي عند الحمولة 500kg (R.Balamurugan, et al 2012).....36

الجدول (2-15): نتائج التجربة (Kumutha et al 2007).....42

الجدول (2-16): نسب الخلط المستخدمة في البيتون من أجل 1م^3 (Raval.R, Dave.U 2012).....44

الجدول (2-17): خصائص الألياف الزجاجية المستخدمة (Raval.R, Dave.U 2012).....45

الجدول (3-1): قيم الحمولة الأعظمية التجريبية والتحليلية لتجربة (Kumutha et al 2007) مع الفرق بينهما...65

الرموز المستخدمة

Symbols

A_s	مساحة حديد التسليح
$A`_c$	مساحة المقطع البيتوني
a	طول الضلع الأطول للمقطع العرضي للمستطيل
b	طول الضلع الأقصر للمقطع العرضي المستطيل
d_c	معامل تخفيض القساوة على الضغط
d_t	معامل تخفيض القساوة على الشد
E	معامل المرونة
E_s	معامل مرونة حديد التسليح
E_c	معامل مرونة البيتون
E_o	معامل المرونة الابتدائي للبيتون
f_{cm}	المقاومة المتوسطة للبيتون على الضغط
f_{ctm}	المقاومة الحدية للبيتون على الشد
f_{yk}	إجهاد الخضوع الحقيقي لحديد التسليح
f_{yd}	إجهاد الخضوع التصميمي لحديد التسليح
f_y	إجهاد خضوع حديد التسليح
f_t	مقاومة حديد التسليح للشد

f_u الإجهاد الحدي لحديد التسليح

$f`_c$ المقاومة المميزة الاسطوانية للبيتون على الضغط

K نسبة إجهاد الانقطاع إلى إجهاد السيلان

σ_c إجهاد الضغط في البيتون

σ_{cu} الإجهاد الحدي للبيتون على الضغط

σ_t إجهاد الشد في البيتون

σ_{to} الإجهاد الحدي للبيتون على الشد

ε_c التشوه النسبي للبيتون على الضغط

ε_{c1} التشوه النسبي الابتدائي للبيتون على الضغط المقابل للإجهاد f_{cm}

ε_{cu1} التشوه النسبي الحدي للبيتون على الضغط المقابل للإجهاد عند الانهيار

ε_s التشوه النسبي لحديد التسليح

ε_{to} التشوه النسبي الابتدائي للبيتون على الشد

ε_t التشوه النسبي للبيتون على الشد

ε_{total} التشوه النسبي الحدي للبيتون على الشد

ε_{ud} التشوه النسبي الأعظمي للفولاذ عند التصميم

ε_{uk} التشوه النسبي المقابل لإجهاد الانهيار الحقيقي للفولاذ

ε_Y التشوه النسبي للحديد عند الخضوع

γ_s معامل أمان تصميمي جزئي للفولاذ

قائمة المختصرات

Abbreviation List

CDP	Concrete Damaged Plasticity
FEM	Finite Element Method
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymer
MNLA	Materially Non-Linear Analysis
RC	Reinforced Concrete

ملخص البحث

Abstract

تُعد الأعمدة من العناصر الإنشائية الهامة في الأبنية وقد تحتاج في بعض الحالات إلى تقوية للعديد من الأسباب. حديثاً تم استخدام البوليميرات المدعمة بالألياف FRP لتقوية مختلف العناصر بما فيها الأعمدة وذلك لما لها من ميزات عديدة تفوق ميزات أساليب التدعيم التقليدية.

تم في هذا البحث دراسة سلوك أعمدة بيتونية مسلحة مقواة بالألياف الزجاجية GFRP ومقارنتها بأعمدة غير مقواة من أجل أشكال مختلفة للمقطع العرضي، ثم دراسة تأثير وجود حواف حادة ومدورة عند زوايا المقاطع العرضية المربعة والمستطيلة على أداء الألياف، وأخيراً تم دراسة عدة حالات لأماكن توضع طبقة الألياف على طول العمود.

تم استخدام طريقة العناصر المحدودة FEM في إجراء هذه الدراسة واعتماد التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لا خطية المادة MNLA.

بينت هذه الدراسة أن سلوك الأعمدة البيتونية المقواة بالألياف الزجاجية ذات المقطع الدائري هي الأكثر كفاءة ثم المربعة ثم المستطيلة، وتبين أن تدوير زوايا المقاطع المربعة والمستطيلة يحسّن من كفاءة الألياف، كما تم الحصول على نسب مئوية مختلفة للزيادة في الحمولة الأعظمية بعد تقوية الأعمدة بالألياف الزجاجية تبعاً لأماكن توضع هذه الألياف على طول العمود، وأخيراً تم استخلاص العديد من النتائج وتم وضع عدة توصيات لأعمال مستقبلية.

الفصل الأول

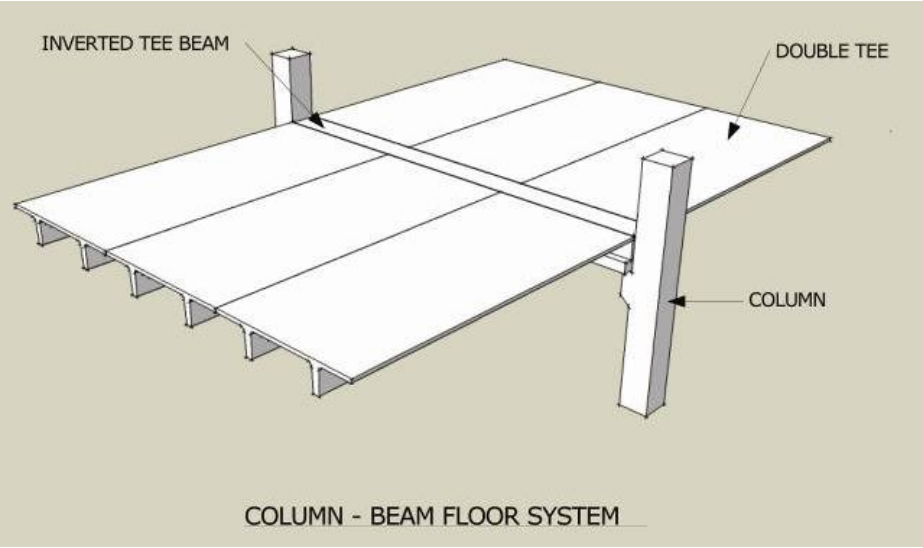
مدخل في البحث

Introduction

1-1 مقدمة عن الأعمدة البيتونية المسلحة:

Introduction to Reinforced Concrete Columns

تعد الأعمدة من العناصر الإنشائية الهامة في المنشآت، فهي تعمل على نقل الحمولات من البلاطات والجوائز إلى الأساسات (الشكل 1-1) لذا فهي تلعب دوراً هاماً في سلامة المنشأ والحفاظ على استقراره. وتُعرف الأعمدة بأنها العناصر التي يكون طولها أكبر بكثير من أبعاد مقطعها العرضي.



الشكل (1-1): الجملة الإنشائية المكونة من البلاطات والجوائز والأعمدة [23]

يُمكن أن تُبنى الأعمدة من عدة مواد مثل الحجر (الشكل 1-2) والخشب (الشكل 1-3) ولكن أكثر المواد انتشاراً هي المعدن (الشكل 1-4) والبيتون المسلح (الشكل 1-5).

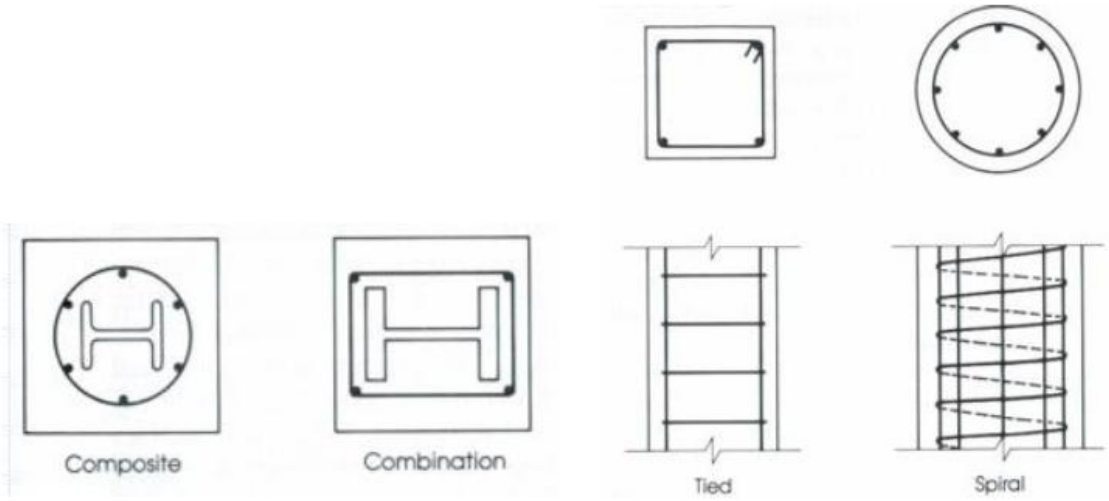
الشكل (1-2): أعمدة حجرية [19]

الشكل (1-3): أعمدة خشبية [20]

الشكل (1-4): أعمدة معدنية [21]

الشكل (1-5): أعمدة بيتونية مسلحة [22]

في الأعمدة البيتونية المسلحة غالباً ما يأخذ المقطع العرضي شكل مربع أو مستطيل أو دائري. وتتلقى الأعمدة حمولات محورية بشكل رئيسي لذا فإن تسليحها العامل يكون بالاتجاه الطولي كما وتُسلح بتسليح عرضي مناسب، حيث يقاوم كل من البيتون والتسليح الطولي القوى الضاغطة بينما يقاوم التسليح العرضي قوى القص ويؤمن ربط للتسليح الطولي، والتقليل من التشوه العرضي للعمود الناتج عن الضغط، وهناك أشكال متعددة للتسليح مثل التسليح بقضبان طولية وأساور عرضية عادية، أو قضبان طولية وتسليح حلزوني، أو قضبان طولية ومقاطع معدنية كما في المنشآت المختلطة (الشكل 1-6).



الشكل (1-6): أشكال التسليح في الأعمدة [14]

2-1 لمحة عن أشكال التدعيم في الأعمدة:

Quick Review for Different Types of Strengthening Columns:

قد تتطلب بعض منشآت البيتون المسلح الموجودة حالياً تقوية للعديد من الأسباب، على سبيل المثال زيادة الحمولة التي يتعرض لها المنشأ مثل حالة جسر يجب أن يقاوم حمولة مرور أكبر، أو عند استخدام المبنى لأغراض جديدة تختلف عن التي صُمم لأجلها، أو من أجل تحقيق متطلبات الكودات الجديدة، أو من أجل تقوية المنشآت نتيجة الأضرار التي تسببها العوامل البيئية.

في إطار المشكلة العامة لتقوية المنشآت البيتونية المسلحة هناك مشكلة تدعيم الأعمدة. إن تدعيم الأعمدة تمثل مشكلة هندسية وهي تنطوي كسائر المشكلات الهندسية على العديد من الحلول كل منها له الميزات والمساوئ الخاصة به، كما أنه لكل من هذه الحلول مجال تطبيق معين.

بعض الطرائق التقليدية المستخدمة في التدعيم:

- استبدال الجزء التالف: وذلك في حال وجود نقاط ضعف في البيتون (تعشيش مثلاً) فيتم استبدال البيتون الموجود في هذه المناطق.
- تدعيم الأعمدة بزوايا معدنية: حيث يتم ربط الزوايا الشاقولية بصفائح أفقية عريضة.

- تدعيم الأعمدة بقميص فولاذي: غالباً تستخدم في حالة الأعمدة الدائرية حيث تثبت شرائح اسطوانية معدنية إلى بعضها البعض بواسطة اللحام وإلى العمود بواسطة أسافين ولمراعاة العمل المشترك بينها وبين العمود يتم حقن الفراغ بواسطة الايبوكسي.
- تدعيم الأعمدة بعناصر فولاذية صلبة: يتم في هذه الطريقة استبدال الزوايا المعدنية الشاقولية بعناصر فولاذية أكثر صلابة مثل الأنابيب أو المقاطع المربعة المفرغة أو بشكل I وغالباً ماتستخدم في العناصر الطويلة التي لا يؤدي زيادة مقطعها إلى إساءة معمارية.
- القميص البيتوني: وذلك بتغليف الأعمدة بطبقة جديدة من البيتون المسلح.

نلاحظ في جميع الطرائق السابقة أن مقاطع العناصر سوف تزداد بشكل ملحوظ مما يؤدي إلى إنقاص المساحات الداخلية وتشوه التصميم المعماري كما نرى أن هذه الطرائق تحتاج إلى يد عاملة خبيرة بعدد كبير وإلى معدات ثقيلة ومكلفة، فضلاً عن أن العناصر المعدنية ذات أطوال محددة لذا فقد تشكل نقاط الوصل نقاط ضعف فيها لذا كان أمام هندسة البناء خيار آخر وهو استخدام البوليميرات المدعمة بالألياف FRP لعدم تماشي الطرائق التقليدية مع جميع الحالات ولوجود عدة محاسن في هذه المركبات لا تتواجد في غيرها من المواد.

البوليميرات المدعمة بالألياف FRP هي عبارة عن ألياف عالية المتانة Fibers ممزوجة بمادة رابطة هي البوليمير Matrix. تعد مركبات FRP مواد متطورة وحديثة الاستخدام في البنى التحتية الإنشائية. وهو خيار أفضل من الحديد في العديد من التطبيقات. إحدى هذه المحاسن هو أنها مواد خفيفة الوزن وتكلفة تركيبها أقل من الحديد، كما أنها سهلة التركيب ومقاومة للتآكل بشكل أكبر.

يبين الشكل (1-7) بعض أنواع الألياف المستخدمة في مركبات الFRP.

الشكل (1-7): بعض أنواع وأشكال مركبات الFRP المستخدمة في صناعة البناء والتشييد [18]

استخدمت مركبات FRP بشكل واسع في الفضاء والتطبيقات العسكرية على مدى عقود وذلك بشكل رئيسي بسبب متانتها العالية نسبة إلى وزنها. ولكن لم تكن متاحة كمادة إنشائية لتطبيقات المشاريع الهندسية بسبب كلفتها العالية.

إن التقدم التكنولوجي في السنوات القليلة الماضية جعل من مادة ال FRP مادة عملية لاستخدامها في البناء ولهذا السبب يتم إجراء دراسات واسعة حول هذه المواد للتغلب على العقبات التقنية المرتبطة باستخدامها.

تختلف خصائص مركبات الFRP باختلاف نوع الألياف المستخدمة (كربونية – زجاجية – أرميدية) وكمية الألياف ضمن المادة الرابطة وبعوامل أخرى عديدة.

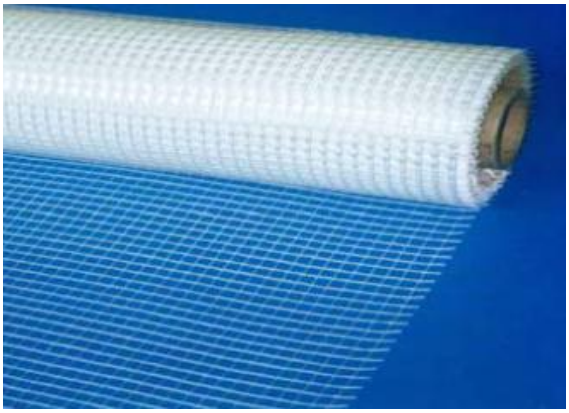
سيتم في هذا البحث التركيز على الألياف الزجاجية GFPR ولها نوعين: E-glass و AR-glass . النوع E-glass هو الأكثر استخداما ولكنه غير مقاوم للقلويات وتم تطويره إلى النوع AR-glass (alkali resistant) المقاوم للقلويات.

تستخدم الألياف الزجاجية في الخرسانة بثلاث أشكال رئيسية:

إما على شكل خيوط منفصلة (الشكل 1-8), أو على شكل لفافة مستمرة (الشكل 1-9), او على شكل شبكة (الشكل 1-10).

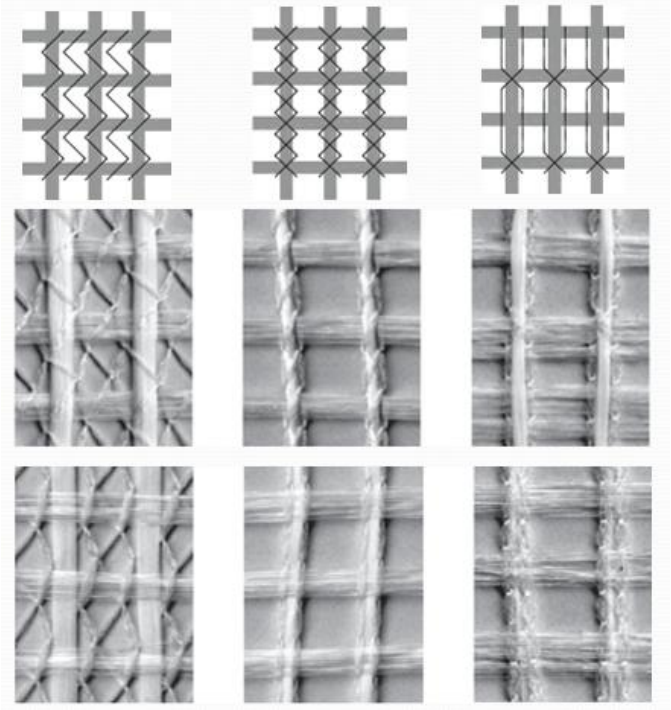
الشكل (1-8) الألياف الزجاجية بشكل خيوط منفصلة [18]

الشكل (1-9) الألياف الزجاجية بشكل لفافة مستمرة [18]



الشكل (1-10) الألياف الزجاجية بشكل شبكة [18]

وهناك أشكال مختلفة للشبكات بحسب اتجاه توضع الألياف ضمنها كما هو مبين في الشكل (1-11).

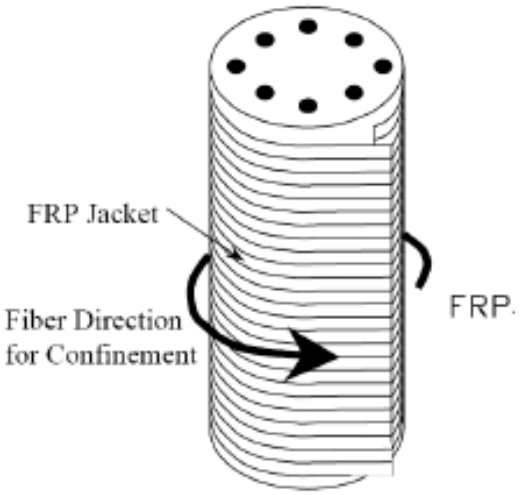


الشكل (1-11) أنواع متعددة من شبكات الألياف الزجاجية [18]

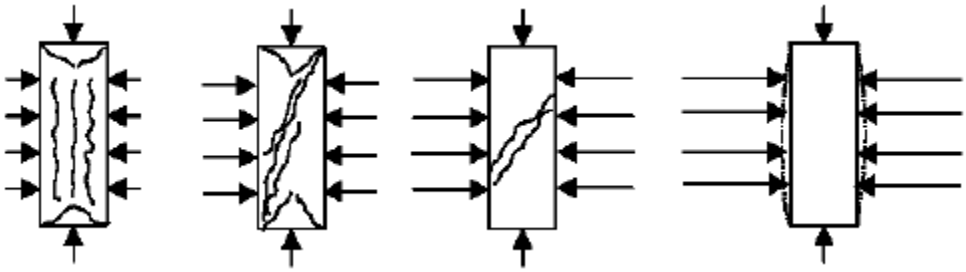
بعض مزايا مركبات ال FRP:

- ضد التآكل الكيميائي وأظهرت مقاومة وديمومة عالية ضد الظواهر البيئية القاسية.
- تمتلك نسبة متانة/وزن عالية جداً. فوزنها يساوي تقريباً خمس وزن مادة الفولاذ بينما متانتها تزيد عن متانة الفولاذ من 8-10 أضعاف.
- سهلة التصنيع والتركيب. وتوفر من الوقت والكلفة اللازمين في حال الصيانة والإصلاح.
- غير ناقلة للحقل الكهرومغناطيسي مما يمكن من استخدامها في المنشآت الخاصة.

يعتمد المبدأ الأساسي في تدعيم الأعمدة بمركبات الFRP على تغليف العمود بطبقة من هذه الألياف بحيث يكون اتجاه الألياف عمودياً على المحور الطولي للعمود الشكل (1-12)، تقوم الألياف بمقاومة التشوهات العرضية الناتجة من تأثير عامل بواسون عند التعرض العمود للضغط ويؤدي الضغط الجانبي الناتج في طبقة الألياف كردة فعل إلى إحداث حالة من الإجهادات ثلاثية الأبعاد في البيتون (الشكل 1-13) والتي تؤدي إلى تحسن كبير في المتانة والمطاوعة مقارنة بحالة البيتون المعرض إلى ضغط محوري.



الشكل (1-12): استخدام مركبات الFRP في تدعيم العمود [14]



الشكل (1-13): حالة الإجهادات الناشئة في العمود عند تعرضه للضغط [14]

محاسن استخدام مركبات الFRP في تدعيم الأعمدة:

- تؤمن تطويق جانبي فعال للعمود.
- إن حجم وشكل ووزن العنصر الأساسي المُقوّى يبقى كما هو.
- تُعد من الطرائق الجيدة في تدعيم المنشآت الأثرية والتاريخية.
- مقاومة للتآكل بشكل كبير مما يجعلها مناسبة جداً للبيئات البحرية والساحلية.
- تكون متاحة على شكل لفافات طويلة مما يسمح بتجنب عقد الاتصال بسهولة.
- سهلة التركيب مما يوفر من الكلفة ويجلها مناسبة في حالات تدعيم المنشآت القائمة.
- تؤمن الحد الأدنى من التأثير السلبي على المنشآت الحالية.

ولمركبات الFRP عدة مساوئ عند استخدامها في تقوية المنشآت منها:

- التصنيع الكيميائي لمادة الFRP وأثره على البيئة وصعوبة في إعادة التصنيع.
- تأثرها بالرطوبة وذلك بسبب قابلية المادة الرابطة الراتنجية (Resin) لامتصاص المياه, وحالياً يتم حل هذه المشكلة في المركبات الحديثة.
- تأثر معظم مواد الFRP بشكل كبير بالحريق وذلك بسبب فقدان المادة الرابطة على التماسك عند تعرضها لدرجات حرارة عالية.

3-1 الهدف من البحث وأهميته:

Importance and Objectives of this Research:

تكمن أهمية البحث في أنه يعرض إحدى أساليب تدعيم الأعمدة البيتونية والتي تُعد عنصراً إنشائياً هاماً في المنشأ عن طريق تغليفها بمركبات الFRP ويوضح قيمة الزيادة في الحمولة الأعظمية الناتجة عن هذا التدعيم لحالات مختلفة.

يهدف البحث إلى دراسة سلوك أعمدة بيتونية بمقاطع عرضية مختلفة قبل وبعد تقويتها بالألياف الزجاجية GFRP وبعدة متغيرات للحصول على قيمة الزيادة في الحمولة الناتجة عن هذا التدعيم.

4-1 طرائق البحث: Methods of This Research

تم في هذا البحث القيام بدراسة عددية وفق طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method FEM) عن طريق برنامج ABAQUS V6.12 وإجراء التحليلي اللاخطي Non-Linear Analysis الذي يأخذ بعين الاعتبار لا خطية المادة.

5-1 محتويات الأطروحة: Contents of Thesis

تتألف هذه الأطروحة من:

الفصل الأول: مقدمة عامة عن الأعمدة وأنواعها وأشكال مقاطعها العرضية، وتعريف بمركبات الFRP واستخدامها في التدعيم، كما يحوي هذا الفصل على الهدف من البحث وأهميته وطرائقه ومحتويات الأطروحة.

الفصل الثاني: وفيه عرض لخصائص مركبات الFRP وسلوكها وسلوك الأعمدة المدعمة بهذه المركبات وأيضاً مراجعة لدراسات تجريبية سابقة حول تقوية الأعمدة البيتونية بمركبات الGFRP.

الفصل الثالث: يحوي على الدراسة التحليلية التي تم استخدامها في هذا البحث باستخدام طريقة العناصر المحدودة، حيث تم توصيف النموذج وفق برنامج ABAQUS V6.12 من حيث المواد المستخدمة والعناصر المختارة للنمذجة وشروط الاستناد والأحمال المطبقة، ومن ثم تم عرض مقارنة بين النتائج التحليلية والنتائج التجريبية للتجربة المعتمدة والتأكد من صحة النموذج.

الفص الرابع: يحوي على الدراسة البارامترية التي تم إجراؤها على النموذج الموصف في الفصل الثالث، حيث تم دراسة أعمدة بيتونية مقواة بالألياف الزجاجية GFRP بمقاطع عرضية مربعة ومستطيلة بعدة قيم لمعامل المقطع العرضي ومقارنة نتائجها مع المقطع الدائري، ثم دراسة أثر وجود شطفات حادة ومدورة في المقاطع المربعة والمستطيلة، وأخيراً تم دراسة عدة حالات لتوضع طبقة الألياف على طول العمود.

الفصل الخامس: يحوي تلخصاً للنتائج التي تم التوصل إليها، بالإضافة إلى التوصيات من أجل أعمال مستقبلية.

الفصل الثاني

الدراسات المرجعية

Literature Review

2-1 مقدمة: Introduction

يحوي هذا الفصل على تعريف بمادة البيتون المسلح وسلوكها، وتعريف بمركبات ال FRP وخصائصها وسلوكها واستخدامها في تدعيم الأعمدة البيتونية وسلوك الأعمدة المقواة بهذه المركبات، وأخيراً تم عرض عدة دراسات تجريبية حول موضوع البحث.

2-2 مادة البيتون المسلح ومكوناتها:

Reinforced Concrete Material and its Components:

تُعد مادة البيتون المسلح من أكثر المواد انتشاراً في مجال البناء، وذلك بسبب ديمومتها العالية وسهولة تشكيلها حيث يمكن صبها في قوالب ذات أشكال متعددة، ومقاومتها للحريق وإمكانية استخدامها لأبنية ذات طابق واحد أو عدة طوابق.

وتُعتبر مادة البيتون المسلح مادة غير متجانسة (Composite Material) فهي تتألف من قضبان التسليح (Steel Reinforcement) التي تُقاوم الشد، والبيتون (Concrete) الذي يقاوم الضغط، وتعتبر مادة البيتون بحد ذاتها مادة مركبة لاحتوائها على العديد من المواد مثل الاسمنت – الحصى – الرمل – الماء التي تُخلط مع بعضها بنسب معينة لتكوين مادة البيتون النهائية، وقد تُضاف في بعض الحالات محسنات معينة أو إضافات بهدف استخدام البيتون لأغراض محددة.

من أهم خواص مادة البيتون والتي يجب معرفتها عند التصميم: الوزن الحجمي الظاهري – درجة التراص – النفاذية – المقاومة للتأثيرات المائية – الناقلية الحرارية – وأهمها المقاومة الميكانيكية على الضغط وعلى الشد.

تصنيف الكود الأوربي لمادة البيتون: (EuroCode2-2004)

يعتمد الكود الأوربي في تصنيف البيتون على مقاومته المميزة على الضغطf_{ck}: وهي المقاومة التي يتم الحصول عليها بعد 28 يوم من صب العينات الاسطوانية.

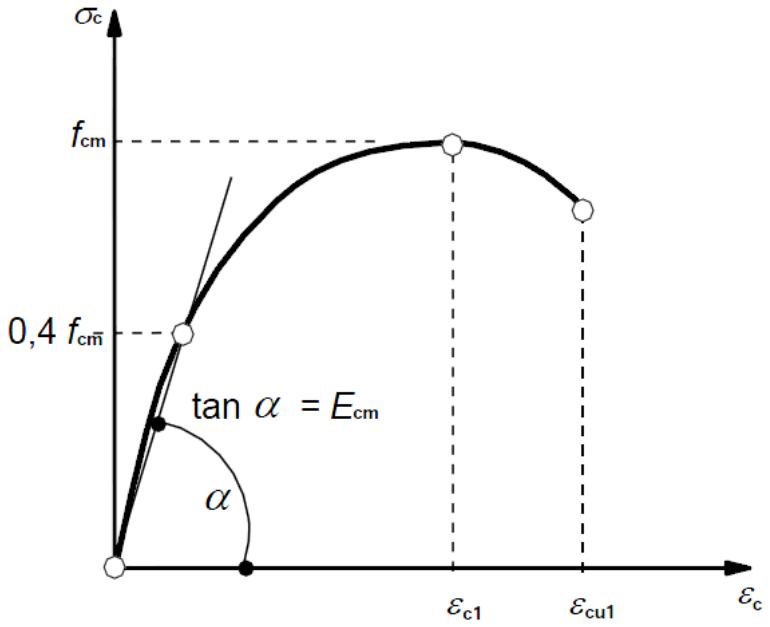
يبين الجدول (2-1) الخواص الفيزيائية للبيتون وفق الكود الأوربي (EuroCode2- 2004) .

الجدول (2-1) تصنيفات مادة البيتون وفق الكود الأوربي [7]

Strength classes for concrete																				
Analytic / Expli		12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90					
	2.[illegible]	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105					
$f_{cm} = f_{ck}$		20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98					
$f_{cm}=0,30 \times f_{ck}^{2/3}$ $f_{cm}=2,12 \ln($		1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0					
$f_{ctk;0,05} = 0,7 \times$ 5% f		1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5					
$f_{ctk;0,95} = 1,3 \times$ 95%		2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6					
$E_{cm} = 22[$ (f_{cm} in		27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44					
see Figure $\varepsilon_{c1}(^0/_{00}) = 0$		1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8					
see Figure for $f_{ck} \geq$ $\varepsilon_{cu1}(^0/_{00})=2,8+$		)				3,5					3,2	3,0	2,8	2,8	2,8					
see Fi for $f_{ck} \geq$ $\varepsilon_{cu1}(^0/_{00})=2,0+0,$		)				2,0					2,2	2,3	2,4	2, 5	2,6					
see Fi for $f_{ck} \geq$ $\varepsilon_{cu1}(^0/_{00})=2,6+$		)				3,5					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6					
for $f_{ck} \geq$ $n=1,4+23,4($						2,0					1,75	1,6	1,45	1,4	1,4					
see Fi fc $\varepsilon_{cu1}(^0/_{00})=1,75+($						1,75					1,8	1,9	2,0	2,2	2,3					
see Fi for $f_{ck} \geq$ $\varepsilon_{cu1}(^0/_{00})=2,6+$		)				3,5					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6					

يُبين الشكل (2-1) منحني يمثل علاقة الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الضغط وفق الكود الأوربي (EuroCode2-2004) ، حيث يكون سلوك البيتون في البداية مرن خطي حتى الوصول إلى قيمة الإجهاد $(0.4f_{cm})$ حيث f_{cm} هي المقاومة المتوسطة للبيتون على الضغط , بعد ذلك تبدأ

المرحلة اللاخطية (Inelastic Behavior) حتى الوصول إلى قيمة f_{cm} , ثم تنخفض مقاومة المادة تدريجياً حتى الوصول إلى قيمة التشوه النسبي ε_{cu1} الذي يُعتبر مساوياً إلى (0.0035).



الشكل(2-1): منحني الإجهاد – التشوه للبيتون على الضغط وفق الكود الأوربي [7]

σ_c : إجهاد الضغط

ε_c : التشوه النسبي للبيتون على الضغط

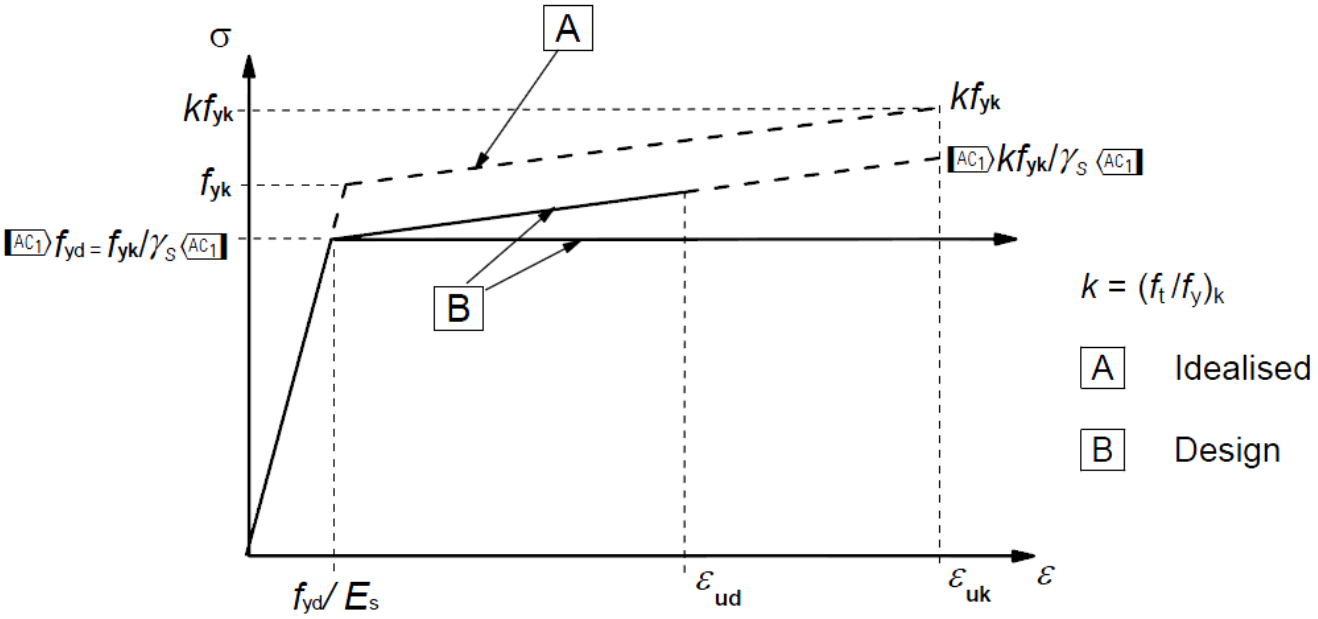
f_{cm} : المقاومة المتوسطة للبيتون على الضغط

ε_{c1} : التشوه النسبي الابتدائي للبيتون على الضغط المقابل للإجهاد f_{cm}

ε_{cu1} : التشوه النسبي الحدي للبيتون على الضغط المقابل للإجهاد عند الانهيار

يبين الشكل (2-2) منحني الإجهاد-التشوه النسبي لفولاذ التسليح وفق الكود الأوربي (EuroCode2-2004). يكون السلوك في البداية مرن خطي بمعامل مرونة Es حتى الوصول إلى إجهاد الخضوع f_{yk} , بعد ذلك يدخل الحديد بمرحلة اللدونة حيث تزداد التشوهات النسبية بشكل كبير مقابل زيادة قليلة في قيمة الإجهادات حتى الوصول إلى الانهيار عند القيمة $K.f_{yk}$, ويبين الشكل ثلاث منحنيات : الأول A يمثل السلوك الحقيقي للفولاذ , والمنحنيين B يمثلان السلوك عند

التصميم , فالمستقيم الأفقي يمثل سلوك كامل اللدونة والمستقيم المائل يمثل تخفيض السلوك الحقيقي مقداره γ_s.



الشكل(2-2): منحني الإجهاد – التشوه النسبي لفولاذ التسليح وفق الكود الأوربي [7]

f_{yk} إجهاد الخضوع الحقيقي للفولاذ

f_{yd} إجهاد الخضوع التصميمي للفولاذ

Kf_{yk} قيمة الإجهاد الحقيقي عند الانهيار للفولاذ

f_t مقاومة الفولاذ للشد

f_y إجهاد الخضوع للفولاذ

K نسبة إجهاد الانقطاع إلى إجهاد السيلان

ε_{ud} التشوه النسبي الأعظمي للفولاذ عند التصميم

ε_{uk} التشوه النسبي المقابل لإجهاد الانهيار الحقيقي للفولاذ

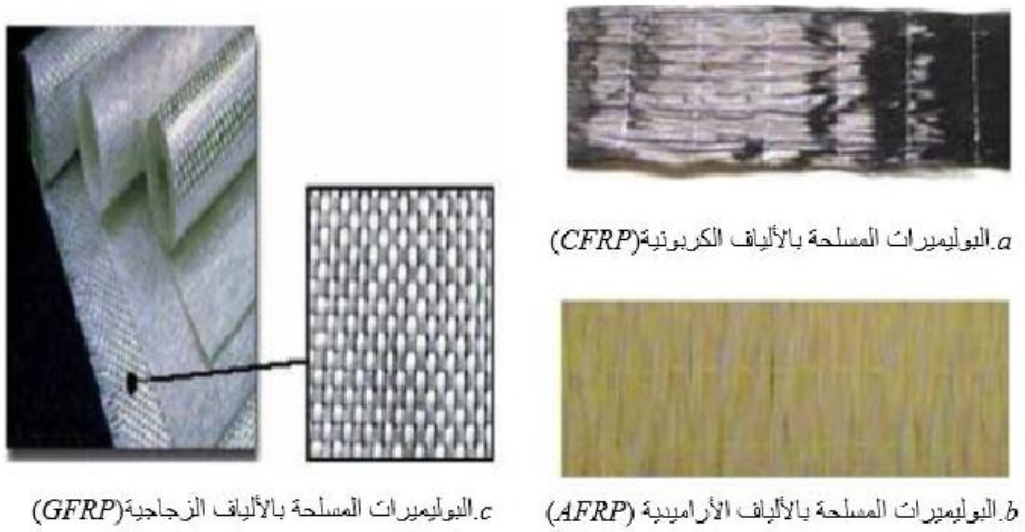
γ_s معامل أمان تصميمي جزئي للفولاذ

3-2 تعريف بمادة الFRP وخصائصها:

Definition of FRP Materials and its properties

البوليميرات المدعمة بالألياف (Fiber Reinforced Polymer FRP) هي ألياف اصطناعية ذات متانة عالية ممزوجة بمادة البوليمير. لا تملك مادة البوليمير نفسها قدرة تحمل عالية ولكنها تلعب دوراً هاماً في تجميع الألياف مع بعضها، وحمايتها من المواد الكيميائية ومن الأشعة فوق البنفسجية والأضرار الميكانيكية ويتم من خلالها تطبيق الأحمال الخارجية على الألياف (Mallick 1988). وتقوم الألياف بتحمل القوى وهي التي تعطي مادة الFRP متانتها العالية.

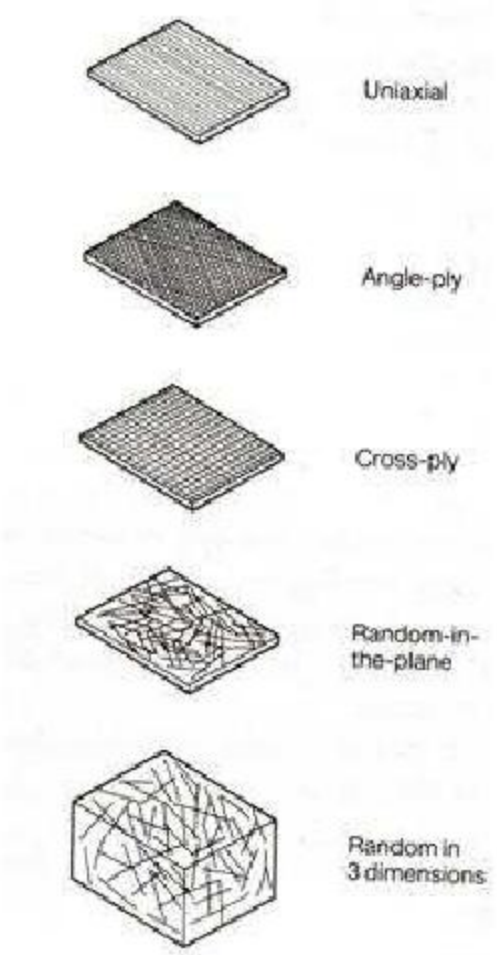
أكثر الألياف استخداما في تطبيقات الهندسة المدنية هي تلك المصنوعة من الزجاج GFRP , الكربون CFRP, أو الأرميد AFRP. (الشكل 2-3).



الشكل (2-3): أنواع البوليميرات المدعمة بالألياف [15]

تُعتبر الألياف مادة غير متجانسة لذلك فإن خصائصها الميكانيكية تتغير بشكل كبير وفقاً للاتجاه الذي تُقاس عنده هذه الخصائص وأيضاً حسب نوع الألياف، المادة الرابطة المستخدمة، كمية الألياف ضمن المركب، وزاوية توضع الألياف ضمن المادة الرابطة.

ويبين الشكل (2-4) أشكال مختلفة لتوضع الألياف ضمن المادة الرابطة.



الشكل (2-4): الأشكال الشائعة لتوزع الألياف ضمن مادة FRP [4]

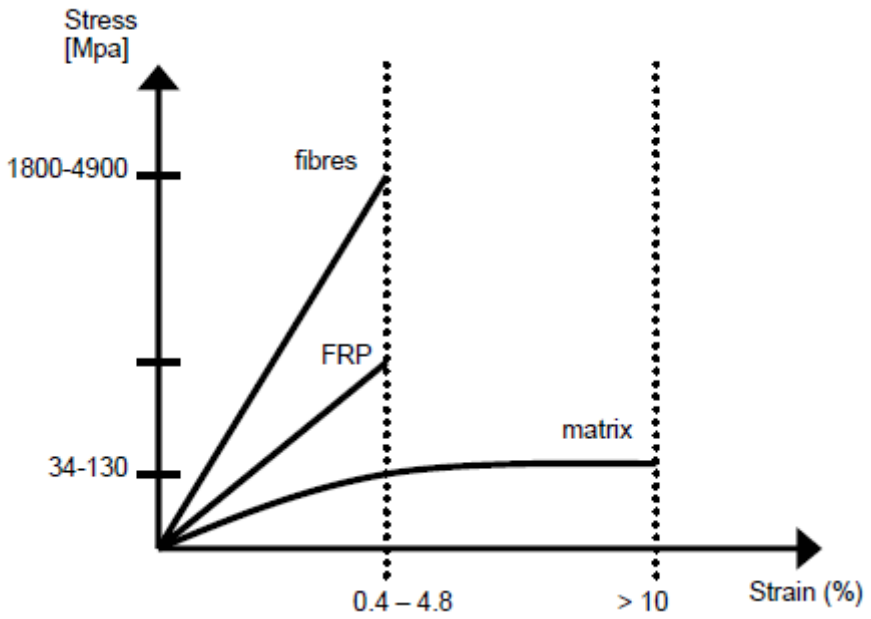
يبين الجدول (2-2) الخصائص الميكانيكية لبعض الأنواع من الألياف الأكثر شيوعاً باتجاه المحور الطولي للألياف من حيث معامل المرونة (E-modulus) والتشوه الحدي (Ultimate Strain) ومقاومة الشد الحدية (Ultimate Tensile Strength UTS). كل أنواع الألياف تبدي سلوكاً مرناً حتى الوصول إلى الانهيار الهش عند قيمة إجهاد الشد الحدي.

الجدول (2-2): خصائص بعض أنواع الألياف المستخدمة [10]

Fiber Type	Guaranteed Ultimate Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)
CF 130 High Tensile Carbon	3,790	228
AK 60 Aramid	2,000	117
EG 900 E-Glass	1,520	72.4

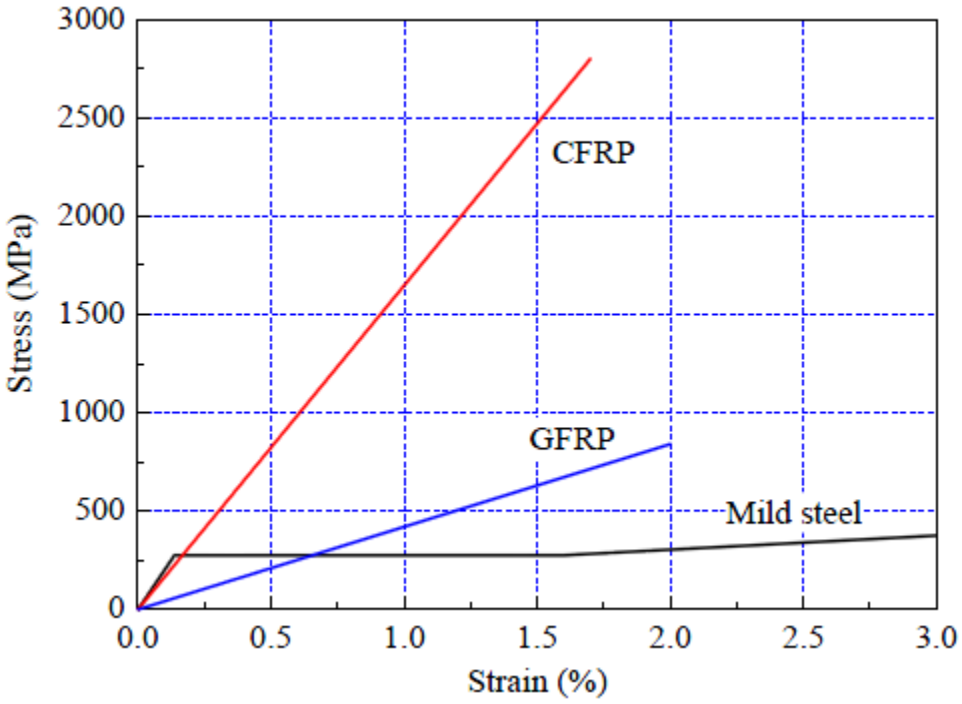
محاسن ألياف الزجاج هي أنها منخفضة التكلفة وعازلة أما مساوئها فهي وجود عامل مرونة منخفض وحساسة للتآكل والرطوبة. لألياف الكربون معامل تمدد حراري منخفض ومقاومة منخفضة للكهرباء. أما ألياف الأرميد فهي تقاوم الضرر الناتج عن التحميل الديناميكي ولكنها حساسة للأشعة فوق البنفسجية ولديها مقاومة ضغط منخفضة (Mallick 1988).

يبين الشكل (2-5) منحني الإجهاد التشوه للألياف Fibers ولمادة البوليمير Matrix ولمادة الFRP التي ينتج منحني الإجهاد-التشوه لها من تراكب المنحنيين السابقين.



الشكل (2-5): منحني الإجهاد-التشوه لمادة الألياف وللمادة الرابطة ولمادة الFRP [18]

يكون سلوك مواد الFRP التي تستخدم في تقوية العناصر الإنشائية مرن خطي حتى الانهيار ولا تملك عتبة سيلان كما في مادة الفولاذ ويبين الشكل (2-6) الفرق في سلوك مادة ال FRP ومادة الفولاذ.



الشكل (2-6): مقارنة بين سلوك مواد ال FRP والفولاذ [3]

سيتم في هذا البحث التركيز على الألياف الزجاجية GFRP والتي لها أنواع عديدة طُورت لمنع حدوث التراكبات في خصائص الألياف الموجهة إلى تطبيقات الاستخدام النهائية.

أنواع المركبات الكيميائية الزجاجية المشروحة أدناه عن طريق ASTM C 162 :

A GLASS: Soda lime silicate glasses زجاج السيليكا الصودا الكلسي : تُستخدم عندما تكون المقاومة و الديمومة و المقاومة الجيدة للكهرباء للنوع E GLASS غير مطلوبة.

C GLASS: Calcium borosilicate glasses زجاج الكالسيوم البوروسيليكات : يستخدم في حالات الاستقرار الكيميائي في البيئات الحمضية المسببة للتآكل .

D GLASS: Borosilicate glasses زجاج البوروسيليكات : ثابت العزل الكهربائي منخفض للتطبيقات الكهربائية.

E GLASS: Alumina-calcium-borosilicate glasses : المحتوى القلوي الأعظمي 2% من الوزن , يستخدم للأغراض العامة عندما تكون المتانة و المقاومة العالية للكهرباء مطلوبة .

ECRGLAS: calcium aluminosilicate glasses : المحتوى القلوي الأعظمي 2% من الوزن , يستخدم عندما تكون المتانة و المقاومة الكهربائية و مقاومة التآكل الحمضي مطلوبة.

AR GLASS: الزجاج المقاوم للقلويات يتكون من الزركونيوم السيليكات القلوية alkali zirconium silicates يستخدم في مكونات الاسمنت و الخرسانة .

R GLASS: Calcium aluminosilicate glasses : يستخدم في التسليح عندما تكون المتانة و مقاومة التآكل الحمضي مطلوبة.

S-2 GLASSES: Magnesium aluminosilicate glasses: يستخدم في مواد النسيج أو في التسليح من أجل المنشآت المركبة التي تتطلب متانة عالية, والاستقرار تحت تأثير درجات الحرارة العالية و البيئات المتآكلة.

ويبين الجدول (2-3) الخصائص الفيزيائية لجميع مركبات الألياف الزجاجية من حيث الكثافة ومقاومة الشد الحدية ومعامل المرونة والتمدد الأعظمي.

الجدول (2-3): الخصائص الفيزيائية لأنواع مركبات الألياف الزجاجية GFRP [9]

PHYSICAL PROPERTIES								
	A GLASS	C GLASS	D GLASS	E GLASS	ECRGlas®	AR GLASS	R GLASS	S-2 GLASS®
Density, gm/cc	2.44	2.52	2.11-2.14	2.58	2.72	2.70	2.54	2.46
Refractive Index	1.538	1.533	1.465	1.558	1.579	1.562	1.546	1.521
Softening Point,°C (°F)	705 (1300)	750 (1382)	771 (1420)	846 (1555)	882 (1619)	773 (1424)	952 (1745)	1056 (1932)
Annealing Point,°C (°F)		588 (1090)	521 (970)	657 (1215)				816 (1500)
Strain Point,°C (°F)		522 (1025)	477 (890)	615 (1140)			736 (1357)	766 (1410)
Tensile Strength, MPa								
-196°C		5380		5310	5310			8275
23°C	3310	3310	2415	3445	3445	3241	4135	4890
371°C				2620	2165		2930	4445
538°C				1725	1725		2140	2415
Young's Modulus, GPa								
23°C	68.9	68.9	51.7	72.3	80.3	73.1	85.5	86.9
538°C				81.3	81.3			88.9
Elongation %	4.8	4.8	4.6	4.8	4.8	4.4	4.8	5.7

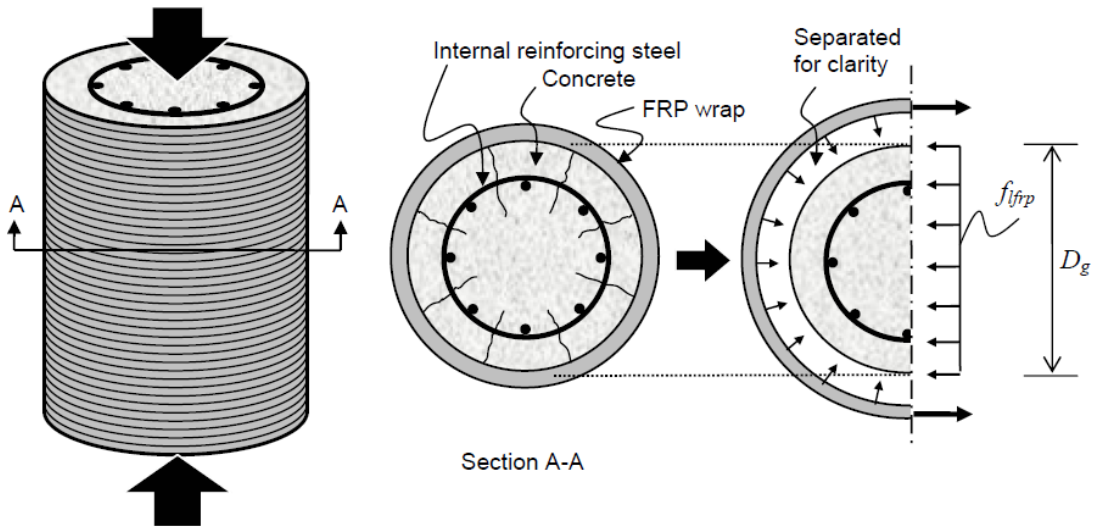
4-2 استخدام مادة الFRP في تدعيم الأعمدة البيتونية:

The Usage of FRP In Strengthening Columns

إن تغليف الأعمدة البيتونية المسلحة بمركبات الFRP يحسن أداء العمود بالمرتبة الأولى ليس لأن الألياف نفسها تتحمل جزء من الحمولة المطبقة على العنصر وإنما أيضاً لأنها تؤمن ضغط جانبي على العمود. هذا الضغط الناتج عن تطويق العمود يضع البيتون بحالة من الإجهادات ثلاثية الأبعاد مغيراً من خصائص منحني الحمولة – التشوه للبيتون. إن تطبيق مستويات عالية من الضغط الجانبي يمكّن البيتون من الحفاظ على قوة محورية أكبر وتشوهات محورية حدية أكبرعن طريق تغيير نمط الانهيار من تشقق البيتون إلى سحق عجينة الاسمنت.(Chen 1982) .

يمكن أن يتم تطبيق الضغط الجانبي للألياف إما بشكل إيجابي أو سلبي: الشكل الإيجابي هو أن يتم شد الألياف ثم لفها حول العمود، أما الشكل السلبي فيكون الضغط الجانبي ناتج عن ردة فعل طبقة الألياف عند تمدد المقطع العرضي للعمود عند تحميله محورياً.

في المقاطع العرضية الدائرية ينتج ضغط جانبي موحد وإجهادات منتظمة أما في المقاطع غير الدائرية فيكون توزع الإجهادات معقد وغير منتظم ويكون مستوى أداء العمود أقل مقارنة بحالة المقاطع العرضية الدائرية.

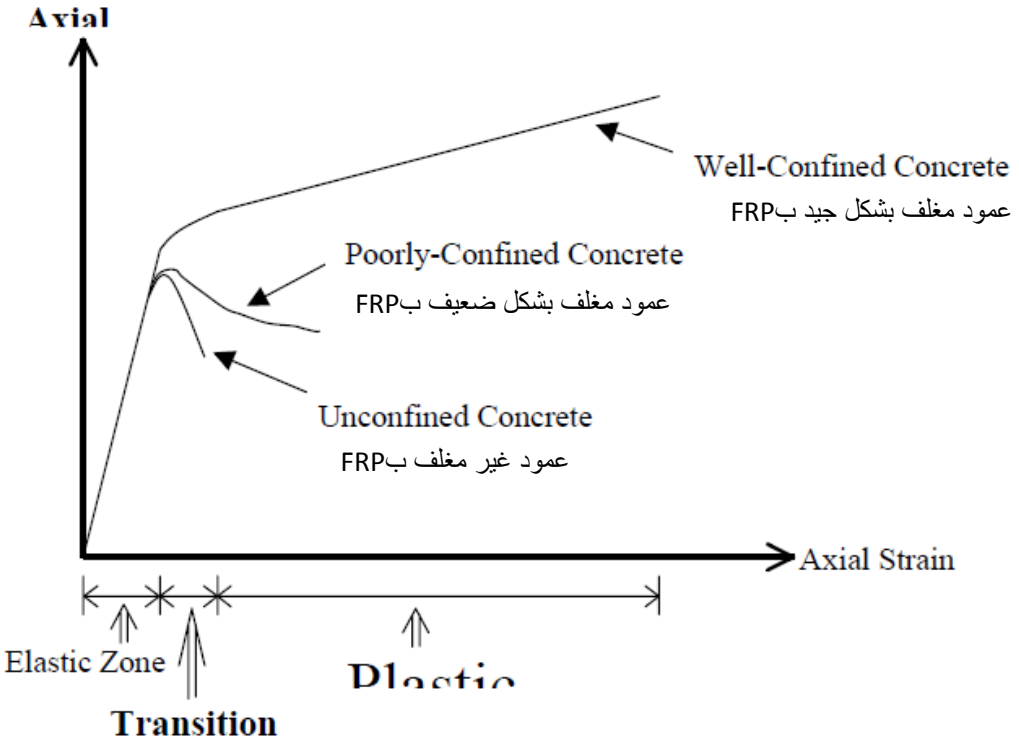


الشكل (2-7): ميكانيكية التطويق للأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام مركبات الFRP [18]

يبين الشكل (2-8) منحنيات الإجهاد المحوري والتشوه للأعمدة المغلفة وغير المغلفة. المنحنيين العلويين يمثلان أعمدة مدعمة بـFRP ونلاحظ وجود جزأين أساسيين مع منطقة انتقالية (Transition) صغيرة بينهما (عند نقطة تغير الميل): الجزء الأول من المنحني (Elastic Zone) يمثل مرحلة المرونة والجزء الثاني الواقع على يمين المنطقة الانتقالية يمثل المرحلة اللدنة (Plastic).

ميل الجزء الأول من منحنيات الأعمدة المغلفة بـFRP والذي يمثل المرحلة المرنة يتطابق مع منحني العمود غير المغلف بالألياف , والسبب في تتطابق المنحني للعمود المغلف وغير المغلف في المرحلة المرنة هو أن البيتون يخضع لتمدد جانبي صغير تحت تأثير الحمولات الصغيرة وبالتالي لا تنشأ ردة فعل في طبقة الألياف لتوليد الضغط الجانبي.

تنشأ المنطقة اللدنة بعد فترة قصيرة من وصول البيتون غير المطوق إلى متانته الحدية، عند هذه النقطة يتمدد البيتون بسرعة بسبب سلوكه اللدن ويصبح هناك تأثير فعال لطبقة الألياف.



الشكل (2-8): مقارنة بين منحنيات الإجهاد – التشوه المحوري لأعمدة بيتونية مدعمة بالـFRP وغير مدعمة [9]

في المنطقة اللدنة نلاحظ أن زيادة قليلة في الإجهادات تؤدي إلى زيادة كبيرة (نسبة إلى المرحلة المرنة) في التشوهات العرضية. هذه التشوهات العرضية تسبب فعلين: الفعل الأول: تتلف الهيكل الداخلي للبيتون ,والثاني: تسبب تزايد الضغط الجانبي الناتج عن طبقة الألياف ومن تلك اللحظة تسلك الألياف سلوكاً مرناً حتى الانهيار. يساعد هذين الفعلين في تعريف ميل الجزء اللدن من المنحني. إذا كان البيتون مطوق بشكل جيد سيكون الميل إيجابي وغالباً خطي تقريباً مشيراً إلى أن الضغط الجانبي كافي للحد من حالة تدهور البيتون والسماح بتطبيق المزيد من الضغط. إذا كان البيتون غير مطوق بشكل جيد فإن الإجهاد الحدي الأعظمي سيكون مماثل تقريباً لحالة البيتون غير المطوق وسيكون الضغط الجانبي الناتج عن الألياف غير كاف للتغلب على حالة تدهور البيتون تحت تأثير التشوهات الكبيرة التي يتعرض لها.

توصل العديد من الباحثين إلى أن التشوهات الحدية التي يتم الوصول إليها في طبقة الألياف والتي تسبق الانهيار تكون أقل من تلك التشوهات الحدية التي تنتج من اختبارات صفائح الألياف لوحدها وذلك لعدة أسباب: الأول: هو أن تشكيل صفائح الألياف تكون أقل صعوبة من تشكيل طبقة الألياف حول العمود وبالتالي تكون جودتها أفضل. الثاني: هو أن الألياف في الصفائح تخضع فقط لحمولة محورية بينما يسبب تمدد البيتون حمولة محورية وتنتقل الحمولة إلى محور الألياف في الطبقة. وأخيراً يسبب تطويق البيتون مناطق تتركز فيها الإجهادات وتؤدي إلى سحق الألياف تحت طبقة الغلاف.

5-2 الدراسات التجريبية Experimental Researches

أُجريت العديد من الدراسات التجريبية حول موضوع تقوية الأعمدة بالألياف الزجاجية GFRP، نذكر منها الأبحاث التالية:

1-5-2 دراسة سلوك الضغط للأعمدة البيتونية المسلحة المغلفة بمركبات الFRP. [6]

يتناول هذا البحث تحليل النتائج التجريبية من حيث قدرة التحمل والتشوهات من خلال الاختبارات المجراة على عينات الأعمدة البيتونية عالية المقاومة الدائرية والمربعة والمستطيلة المقواة خارجيا بالبوليميرات المدعمة بالألياف الزجاجية GFRP من النوع E-glass.

بارامترات الدراسة هي: عدد الطبقات، نصف قطر الزوايا للمقطع المستطيل، والعلاقة بين تسليح ال GFRP وتسليح الفولاذ. كل العينات تم تحميلها حتى الانهيار تحت تأثير الضغط المحوري وتم ملاحظة سلوك العينات في الاتجاه المحوري. أظهرت النتائج أن كفاءة التسليح حساسة جدا للشكل الهندسي للمقطع العرضي (دائري أو مربع) وللإجهادات المتمثلة بعدد طبقات ال GRRP . في المقطع العرضي المربع يتأثر منحني الاجهاد – التشوه بنصف القطر عند الزوايا الذي تم تقريبه إلى شكل دائري لتلافي كسر الألياف. تم استخدام أغلفة الألياف الزجاجية ثنائية الاتجاه , خصائصها مبينة في الجدول (2-4):

الجدول (2-4) خصائص الألياف الزجاجية المستخدمة في هذه التجربة [6]

Sheet Width	**Fiber thickness**	**GFRP tensile Strength**	**GFRP elastic modulus**	**GFRP ultimate elongation**
mm	mm	MPa	GPa	%
600	0.44	383	23.8	2.12

أبعاد الأعمدة الاسطوانية 160 mm X 320 mm و العينات المربعة 100 mm X 100 mm X 300 mm . تم تقسيم العينات المربعة إلى 3 مجموعات:

المجموعة R1 : مقطع مربع بحواف حادة .

المجموعة R2 : مقطع مربع بحواف مدورة بنصف قطر 8 mm .

المجموعة R3 : مقطع مربع بحواف مدورة بنصف قطر 16 mm .

التسليح الطولي لكل العينات عبارة عن قضبان بقطر 6 mm و حد السيلان 420 MPa و التسليح العرضي بقطر 3.5 mm و حد السيلان 240 MPa .

مواصفات العينات مبينة في الجدول رقم (2-5):

الجدول (2-5) مواصفات العينات المستخدمة في هذه التجربة [6]

Code	Section	Height	Corner Radius	Nbr. Of Layers	Steel Reinforcement
	mm	mm	mm		
C00	Ø 160	320	-	0	PC
C01			-	1	PC
C02			-	2	PC
C04			-	4	PC
C10			-	0	RC
C12			-	2	RC
S0R1	100 X 100	300	0	0	PC
S1R1			0	1	PC
S2R1			0	2	PC
S1R2			8	1	PC
S2R2			8	2	PC
S1R3			16	1	PC
S2R3			16	2	PC

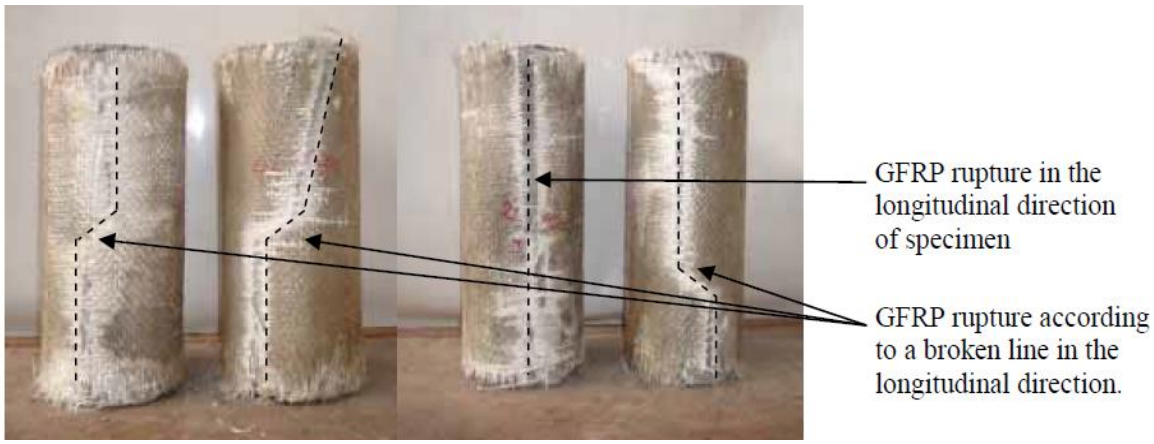
PC : بيتون عادي . RC : بيتون مسلح

تنظف العينات و تجفف جيدا ثم يتم توزيع الراتنج على سطوح العينات بمعدل $1.2\ kg/m^2$ و بعدها توضع أول طبقة من ال GFRP , ثم توضع الطبقة الثانية من الراتنج بمعدل $0.5\ kg/m^2$ و بعدها توضع الطبقة الثانية من ال GFRP و يتم تطبيق الطبقة الثالثة و الرابعة بنفس الطريقة . يتم ترك العينات لمدة أسبوعين بدرجة حرارة الغرفة قبل الاختبار.

تم تحميل العينات بالضغط المحوري حتى الانهيار , سرعة تطبيق الحمولة حوالي 0.2 mm/min عن طريق آلة الاختبار الهيدروليكية التي قدرة تحملها 2000 kN .

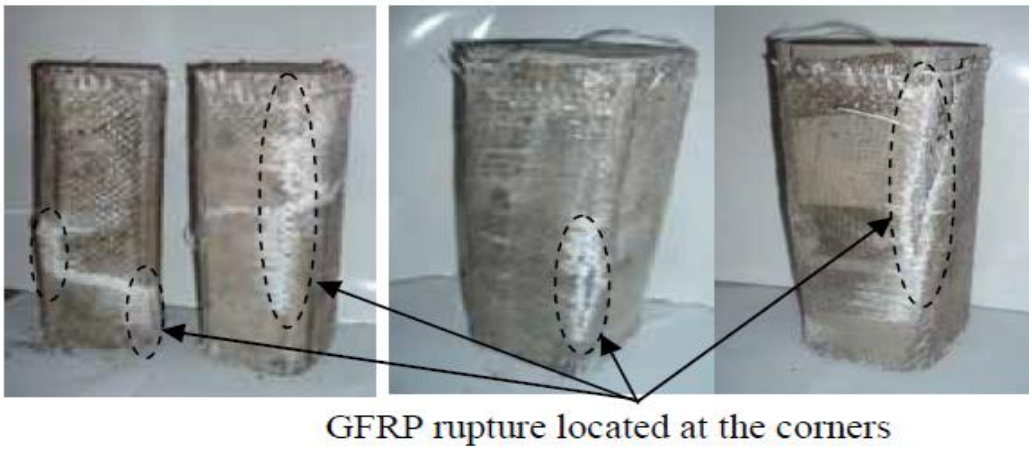
نتائج التجربة:

تم ملاحظة أن سلوك العينات متشابه تقريبا من حيث منحنيات الاجهاد – التشوه ونمط الانهيار. يلاحظ تمزق أغلفة ال GFRP مسبوق بأصوات تفجيرية بسبب طاقة التشوه العالية التي تمتصها مواد ال GFRP. وفي أغلب العينات تتمزق الأغلفة بالاتجاه الطولي وذلك على الأغلب بسبب الطبيعة الثنائية الاتجاه للأغلفة والقادرة على إعادة توزيع التشوهات العرضية على كامل طول العينة. في بعض العينات تتشقق أغلفة ال GFRP بخط انكسار معين ولكن أيضا بالاتجاه الطولي كما هو مبين في الشكل رقم (2-9).



الشكل (2-9) يوضح آلية تشقق أغلفة الألياف الزجاجية في العينات الاسطوانية [6]

من أجل العينات المربعة يكون التمزق عند الزوايا أو بالقرب منها وذلك بسبب تركز الإجهادات في تلك المناطق , كما هو مبين في الشكل (2-10) .



الشكل (2-10) يوضح أماكن تشقق أغلفة الألياف الزجاجية في العينات المربعة [6]

العينات الاسطوانية:

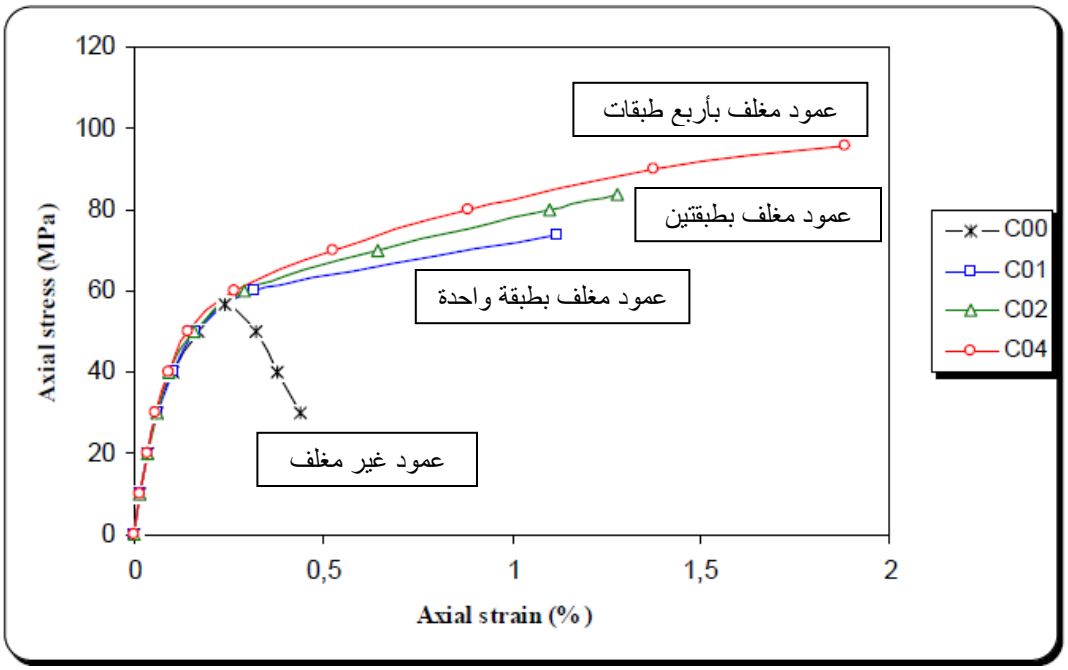
يبين الجدول (2-6) النتائج (القيم العظمى) ونلاحظ أن تسليح ال GFRP يحسن بشكل ملحوظ من المتانة والتشوه للأعمدة الدائرية.

الجدول (2-6) القيم العظمى لنتائج العينات الاسطوانية [6]

Code	f'cc	f'cc/f'co	ε'cc	ε'cc/ε'co
	Mpa		%	
C00	56.70	1	0.24	1
C01	74.00	1.31	1.12	4.66
C02	84.00	1.48	1.28	5.33
C04	95.50	1.68	1.88	7.83
C10	71.80	1.26	-	-
C12	97.60	1.72	-	-

- المتانة الحدية والتشوه تزداد بازدياد عدد الطبقات.
- العينات ذات الطبقة الواحدة تبدي زيادة في المتانة والتشوه بمقدار 31% و 366% على الترتيب بالنسبة للعمود المرجعي (بدون أغلفة GFRP).
- العينات ذات الطبقتين تبدي زيادة في المتانة والتشوه بمقدار 48% و 433% على الترتيب بالنسبة للعمود المرجعي.
- العينات ذات الأربع طبقات تبدي زيادة في المتانة والتشوه بمقدار 68% و 683% على الترتيب بالنسبة للعمود المرجعي.
- منحنيات الإجهاد التشوه تكون متماثلة في القسم الأول ثم تحدث منطقة انتقالية بالنسبة للبيتون العادي (دون تغليف) بعد وصول المتانة إلى القيمة العظمى , أما ميل القسم الثاني من المنحني فيعتمد على عدد الطبقات .

هذه المنحنيات موضحة بالشكل (2-11).



الشكل (2-11) يوضح منحنيات الاجهاد – التشوه من أجل العينات الاسطوانية [6]

الجدول (2-7) النتائج التجريبية للعينات الاسطوانية من البيتون العادي [6]

Code	f'_{cc} (MPa)	f'_{cc}/f'_{co}	ε'_{cc} (%)	$\varepsilon'_{cc}/\varepsilon'_{co}$
Plain	26.20	1.00	0.22	1.00
$C_{2layers}$	38.40	1.47	1.30	5.91
$C_{4layers}$	52.50	2.01	1.82	8.27

في ضوء النتائج المبينة في الجدولين (2-4) و (2-5), نستنتج أن تسليح ال GFRP للعينات البيتونية العادية (دون تسليح) تعطي نتائج أفضل من حيث المتانة و التشوه من العينات البيتونية عالية المقاومة

العينات المربعة:

يبين الجدول (2-8) النتائج من حيث الزيادة في متانة الضغط المحورية الحدية و التشوهات بالمقارنة مع العينة المرجعية.

الجدول (2-8) القيم العظمى لنتائج العينات المربعة [6]

Code	f'_{cc} (MPa)	f'_{cc}/f'_{co}	ε'_{cc} (%)	$\varepsilon'_{cc}/\varepsilon'_{co}$
S0R1	54.80	1.00	0.25	1.00
S1R1	56.10	1.02	0.92	3.68
S2R1	58.20	1.06	1.46	5.84
S1R2	59.73	1.09	0.99	3.96
S2R2	65.70	1.20	1.53	6.12
S1R3	63.56	1.16	1.04	4.16
S2R3	74.50	1.36	1.58	6.32

يبدأ الانهيار عادة عند الزوايا بسبب تركز الاجهادات. كلما زاد عدد الطبقات تزداد مطاوعة العمود.

الازدياد الأعظمي في التشوه المحوري للعينات ذات الطبقة الواحدة وبحواف حادة (S1R1) هو 268%

وللعينات ذات الطبقة الواحدة وبزوايا مدورة نصف قطرها 8mm (S1R2) هو 296%

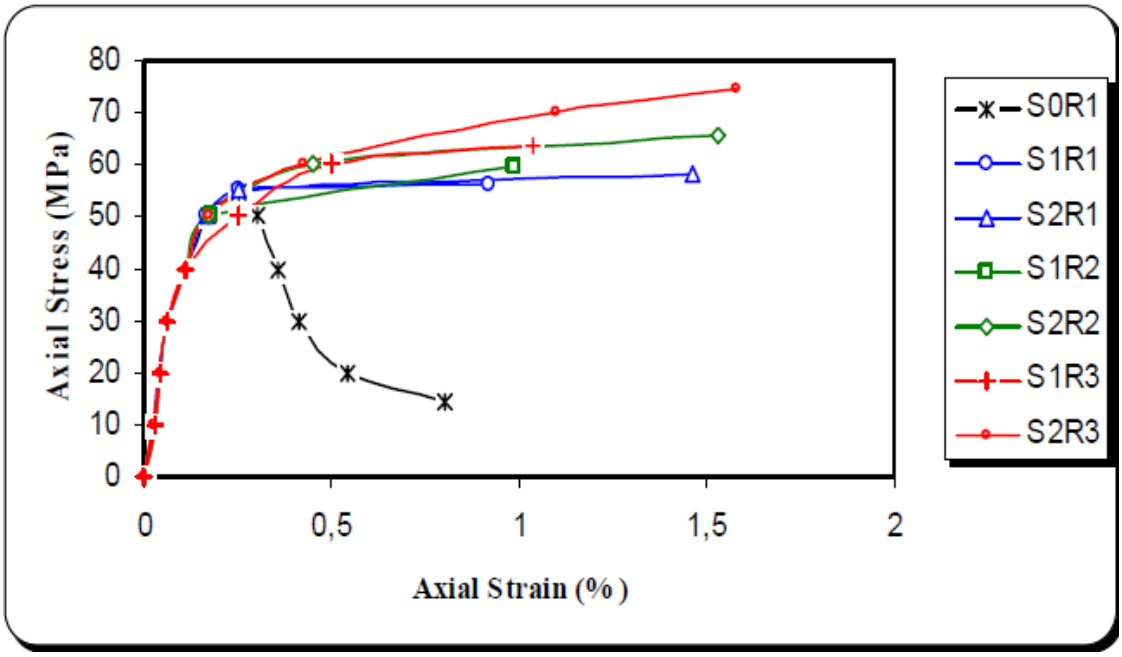
وللعينات ذات الطبقة الواحدة وبحواف مدورة قطرها 16mm (S1R3) هو 316% .

الازدياد الأعظمي في التشوه المحوري للعينات ذات الطبقتين وبحواف حادة (S2R1) هو 484%

وللعينات ذات الطبقتين وبزوايا مدورة نصف قطرها 8mm (S2R2) هو 512%

وللعينات ذات الطبقتين و بحواف مدورة قطرها 16mm (S2R3) هو 532% .

منحني الإجهاد – التشوه مبين في الشكل (2-12).



الشكل (2-12) يوضح منحنيات الاجهاد – التشوه من أجل العينات المربعة [6]

نلاحظ أن القسم الأول متشابه , أما ميل القسم الثاني فيعتمد على شكل المقطع (نصف قطر التدوير) .

نلاحظ أن تأثير تسليح ال GFRP في القطع ذات الحواف الحادة (R=0) قليل بالمقارنة مع المقاطع ذات الحواف المدورة (R=6 , R=16) .

كما هو متوقع , متانة العينات الدائرية أعلى من المربعة (من أجل نفس عدد الطبقات) و ذلك بسبب تركز الإجهادات عند الزوايا في القاطع المربعة .

النتائج:

تبين النتائج التجريبية بوضوح أن التغليف يحسن الأداء الإنشائي للأعمدة البيتونية تحت تأثير الحمولة المحورية من حيث المتانة والتشوه الأعظمي.

كفاءة التسليح تتأثر بشكل كبير بالشكل الهندسي للمقطع العرضي , و إجهادات التطويق تتعلق بعدد طبقات ال GFRP

الأداء الأفضل كان من أجل العينات الدائرية ومن ثم العينات المربعة بقطر 16mm و من ثم بقطر 8mm ومن ثم بقطر 0mm , وذلك يرجع إلى التوزع المنتظم للإجهادات في المقطع الدائري و تركز الإجهادات عند الزوايا في المقطع المربع.

الانهيار كان بتمزق غلاف ال GFRP لكل العينات , و يحدث بشكل سابق لأوانه عندما يكون الإجهاد أقل بشكل ملحوظ من المتانة الحدية للأغلفة , الانهيار في الأعمدة الدائرية يبدأ دائما عند الزوايا .

منحنيات الإجهاد – التشوه تكون لا خطية و لها منطقة انتقالية , المنطقة المرنة لا تتأثر كثيرا بالتسليح بينما المنطقة اللدنة تتعلق بالشكل الهندسي للمقطع العرضي و بنسبة التسليح .

2-5-2 المتانة والمطاوعة للأعمدة البيتونية عالية المقاومة المغلفة بالبوليمرات المدعمة بالألياف الزجاجية.[16]

يتناول هذا البحث تحليل النتائج التجريبية للاختبارات المجراة على الأعمدة البيتونية الدائرية المدعمة من الخارج بمركبات الألياف الزجاجية وذلك من حيث قدرة تحمل القوى والتشوهات.

تم صب 7 عينات بقطر 150 mm وبطول 600 mm واختبارها. واحدة من العينات تم استخدامها كعينة مرجعية وباقي العينات الستة تم تغليفها بثلاث طبقات من الألياف الزجاجية GFRP بسماكات مختلفة.

تم اختبار الأعمدة تحت تأثير الضغط المحوري حتى الانهيار.

أظهرت الأعمدة المغلفة بالألياف أداء أفضل من حيث المتانة والتشوهات والمطاوعة.

تم إجراء التجربة على 7 عينات بقطر 150 mm و ارتفاع 600 mm . تسليح الأعمدة الطولي عبارة عن 6 قضبان بقطر 8 mm والتسليح العرضي عبارة عن أساور بقطر 6 mm كل 115 mm. تم استخدام عمود واحد من الأعمدة السبعة كعمود مرجعي بدون تغليف ب GFRP وباقي الأعمدة الستة تم تغليفها بطبقات من ال GFRP مختلفة التركيب وبسماكات مختلفة.

يبين الجدول (2-9) تفاصيل الأعمدة.

الجدول (2-9) مواصفات العينات المستخدمة في هذه التجربة [16]

Sl No.	Designation of specimen	Diameter (mm)	Type of GFRP (mm)	Thickness of GFRP (mm)
	R0	150	-	0
	CSM3	150	CSM	3
	CSM5	150	CSM	5
	WR3	150	WR	3
	WR5	150	WR	5
	UDC3	150	UDC	3
	UDC5	150	UDC	5

الخرسانة المستخدمة في صب العينات ذو متانة على الضغط 60 MPa.

حد السيلان للتسليح الطولي 450 MPa و للأساور العرضية 300 MPa .

الجدول (2-10) يبين خصائص الألياف الزجاجية المستخدمة

الجدول (2-10) خصائص الألياف الزجاجية المستخدمة في هذه التجربة [16]

Sl.No	Type of fibre in GFRP	Thickness (mm)	Tensile strength (MPa)	Ultimate elongation (%)	Elasticity modulus (MPa)
1.	Chopped Strand Mat	3	126.20	1.60	7467.46
2.	Chopped Strand Mat	5	156.00	1.37	11386.86
3.	Uni-Directional Cloth	3	446.90	3.02	13965.63
4.	Uni-Directional Cloth	5	451.50	2.60	17365.38
5.	Woven Rovings	3	147.40	2.15	6855.81
6.	Woven Rovings	5	178.09	1.98	8994.44

تغليف العينات:

يتم تنظيف سطوح العينات جيدا من الغبار والمواد الضارة. يتم ملئ تجاويف العينات بمعجون خاص لضمان السطح المنتظم ولضمان التصاق الغلاف على البيتون. يتم تمرير اسطوانة مطاطية على العينات المغلفة وضغطها برفق لضمان التصاقها بشكل جيد كما هو موضح بالشكل (2-13).

Figure 4. Wrapping under progress

Figure 5. Wrapped specimen

الشكل (2-13) يوضح كيفية تغليف العينات [16]

تنفيذ التجربة:

تم استخدام إطار حمولة قدرة تحمله 2000 kN و تم تطبيق الحمولة بتزايد مقداره 25 kN .

يبين الجدول (2-11) نتائج التجربة من حيث الحمولة الحدية و الإجهاد الحدي و التشوه المحوري.

الجدول (2-11) نتائج التجربة [16]

Designation	Ultimate load (kN)	Ultimate deflection (mm)	Ultimate stress	Ultimate micro-strain	Deflection ductility	Energy ductility	Energy absorption per unit volume
S16R	1080.00	3.01	61.12	5016.67	1.43	1.66	2327.60
S16CSM3	1140.00	3.16	64.51	5266.67	1.90	2.43	2558.35
S16CSM5	1200.00	3.46	67.91	5766.67	2.12	3.05	2895.75
S16UDC3	1300.00	4.82	73.56	8033.33	2.32	3.19	4813.50
S16UDC5	1375.00	4.94	77.81	8233.33	3.86	5.22	5565.75
S16WR3	1170.00	4.23	66.21	7050.00	2.21	2.84	3874.78
S16WR5	1225.00	4.33	69.32	7216.67	3.23	4.62	4226.63

تأثير المتانة:

التزايد في المتانة الحدية كان بمقدار 5.56% للعينات المغلفة بالنوع CSM وسماكة 3mm و 11.11% للعينات المغلفة بالنوع نفسه و بسماكة 5mm و ذلك عند مقارنتها بالعمود المرجعي أما العينات المغلفة بالنوع WR فكانت الزيادة في المتانة الحدية بمقدار 8.33% للسماكة 3mm و 13.34% للسماكة 5mm عند مقارنتها مع العمود المرجعي .

و العينات المغلفة بالنوع UDC فالزيادة في المتانة كانت بمقدار 20.37% للسماكة 3mm و 27.38% للسماكة 5mm عند مقارنتها مع العمود المرجعي .

الشكل (2-14) يبين التزايد في المتانة من أجل كل أنواع العينات .

الشكل (2-14) يبين التزايد في المتانة من أجل كل أنواع العينات [16]

الزيادة في المتانة الحدية كانت بمقدار 2.62% للعينات المغلفة بالنوع WR وسماكة 3mm عند مقارنتها مع العينات المغلفة بالنوع CSM و بنفس السماكة.

الزيادة في المتانة الحدية كانت بمقدار 2.23% للعينات المغلفة بالنوع WR وسماكة 5mm عند مقارنتها مع العينات المغلفة بالنوع CSM و بنفس السماكة .

الزيادة في المتانة الحدية كانت بمقدار 14.03% للعينات المغلفة بالنوع UDS وسماكة 3mm عند مقارنتها مع العينات المغلفة بالنوع CSM و بنفس السماكة.

الزيادة في المتانة الحدية كانت بمقدار 14.58% للعينات المغلفة بالنوع UDS وسماكة 5mm عند مقارنتها مع العينات المغلفة بالنوع CSM و بنفس السماكة.

الزيادة في المتانة الحدية كانت بمقدار 11.12% للعينات المغلفة بالنوع UDS وسماكة 3mm عند مقارنتها مع العينات المغلفة بالنوع WR و بنفس السماكة.

الزيادة في المتانة الحدية كانت بمقدار 12.23% للعينات المغلفة بالنوع UDS وسماكة 5mm عند مقارنتها مع العينات المغلفة بالنوع WR و بنفس السماكة.

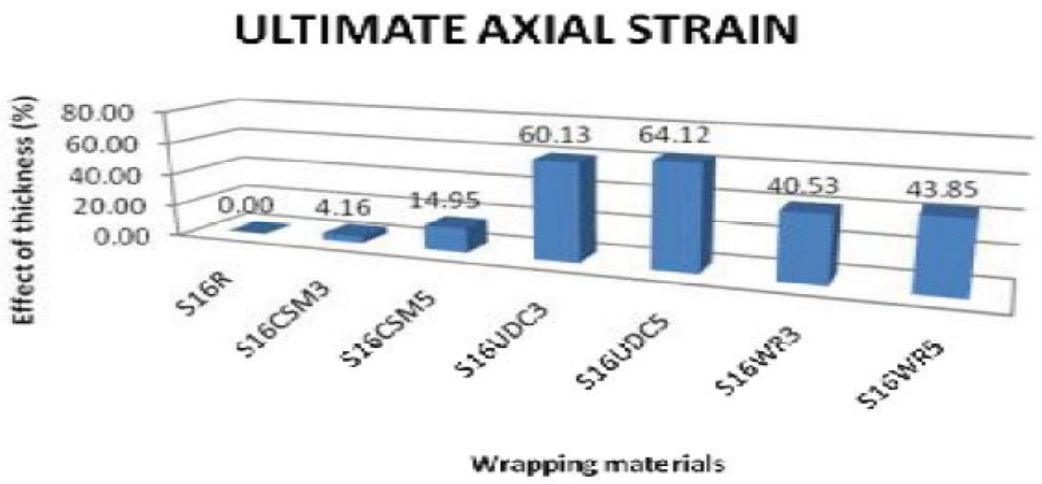
تأثير التشوه المحوري:

التزايد في التشوه المحوري كان بمقدار 4.16% للعينات المغلفة بالنوع CSM وسماكة 3mm و 14.95% للعينات المغلفة بالنوع نفسه و بسماكة 5mm و ذلك عند مقارنتها بالعمود المرجعي .

أما العينات المغلفة بالنوع WR فكانت الزيادة في التشوه المحوري بمقدار 40.53% للسماكة 3mm و 43.85% للسماكة 5mm عند مقارنتها مع العمود المرجعي .

و العينات المغلفة بالنوع UDC فالزيادة في التشوه المحوري كانت بمقدار 60.13% للسماكة 3mm و 64.19% للسماكة 5mm عند مقارنتها مع العمود المرجعي .

الشكل (2-15) يبين التزايد في التشوه من أجل كل أنواع العينات .



الشكل (2-15) يبين التزايد في التشوه من أجل كل أنواع العينات [16]

الزيادة في التشوه المحوري الحدي كانت بمقدار 34.88% للعينات المغلفة بالنوع WR وسماكة 3mm عند مقارنتها مع العينات المغلفة بالنوع CSM وبنفس السماكة.

الزيادة في التشوه المحوري الحدي كانت بمقدار 25.14% للعينات المغلفة بالنوع WR وسماكة 5mm عند مقارنتها مع العينات المغلفة بالنوع CSM وبنفس السماكة.

الزيادة في التشوه المحوري الحدي كانت بمقدار 53.70% للعينات المغلفة بالنوع UDS وسماكة 3mm عند مقارنتها مع العينات المغلفة بالنوع CSM وبنفس السماكة.

الزيادة في التشوه المحوري الحدي كانت بمقدار 42.77% للعينات المغلفة بالنوع UDS وسماكة 5mm عند مقارنتها مع العينات المغلفة بالنوع CSM وبنفس السماكة.

النتائج:

1. يحسن استخدام ال GFRP بشكل ملحوظ من الإجهاد الحدي و التشوه المحوري الحدي.
2. الإجهاد الحدي الأعظمي ازداد بمقدار 27.38% للعينات المغلفة بالنوع UDS و سماكة 5mm عند مقارنتها مع العمود المرجعي.
3. التشوه المحوري الحدي الأعظمي ازداد بمقدار 64.12% للعينات المغلفة بالنوع UDS و سماكة 5mm عند مقارنتها مع العمود المرجعي.

3-5-2 دراسة تجريبية لقدرة تحمل الأعمدة البيتونية المسلحة المقواة بGFRP. [5]

تعالج هذه الدراسة الأعمدة البيتونية الدائرية المغلفة بالبوليميرات المدعمة بالألياف الزجاجية GFRP بطبقة واحدة وبطبقتين معرضة لحمولة محورية.

تم مناقشة النقاط التالية في الدراسة: الحمولة والسهم، قدرة التحمل، التشوهات المحورية، التحنيب الجانبي، والمطاوعة.

تمت مقارنة قدرة التحمل للأعمدة المطوقة مع قدرة التحمل للأعمدة البيتونية المسلحة التقليدية، وكذلك تمت مناقشة الكلفة لكل نوع من أنواع العينات.

قطر الأعمدة 150 mm و تم اعتماد قيمتين للارتفاع 600 mm النوع الأول (Type 1) و 750 mm النوع الثاني (Type 2) .

تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي.

التسليح الطولي المستخدم هو6 قضبان بقطر 8 mm والتسليح العرضي عبارة عن أساور بقطر 6 mm كل 80 mm للنوع الأول وكل 90 mm للنوع الثاني.

مقاومة الضغط للبيتون بعد 28 يوم هي $24.22\ N/mm^2$ و مقاومة الانعطاف $3.65\ N/mm^2$

تم استخدام تطويق معدني عند أعلى وأسفل العمود لمنع التحنيب المحلي.

نتائج التجربة:

1- الحمولة الحدية:

يبين الجدول رقم (2-12) قيم الحمولة الحدية لحالات التغليف الثلاثة

الجدول (2-12) قيم الحمولة الحدية [5]

Description	Type I column (kN)	Type II column (kN)
Conventional R. C. column without Confinement (CC)	637.5	600
Conventional R.C. column with GFRP Single layer (SL)	680	635
Conventional R.C.column with GFRP Double layers (DL)	755.5	697.5

2- التشوه المحوري الوسطي عند الحمولة 500 kg :

يبين الجدول رقم (2-13) قيم التشوه المحوري عند الحمولة 500kg لحالات التغليف الثلاثة

الجدول (2-13) قيم التشوه المحوري عند الحمولة 500kg [5]

Description	Type I column (mm)	Type II column (mm)
Conventional R. C. column without Confinement (CC) – (fig.4&5)	5.065	2.13
Conventional R.C. column with GFRP Single layer (SL) – (fig.8&9)	5.92	3.25
Conventional R.C.column with GFRP Double layers (DL) – (fig.12&13)	7.82	4.68

3- التشوه الجانبي الوسطي عند الحمولة 500 kg :

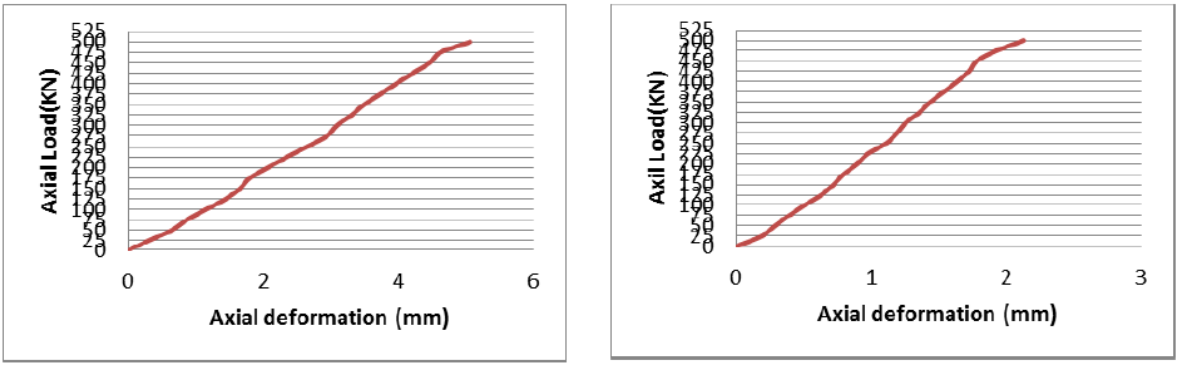
يبين الجدول رقم (2-14) قيم التشوه الجانبي الوسطي عند الحمولة 500kg لحالات التغليف الثلاثة

الجدول (2-14) قيم التشوه الجانبي الوسطي عند الحمولة 500 Kg [5]

Description	Type I column (mm)	Type II column (mm)
Conventional R. C. column without Confinement (CC) – (fig.6&7)	4.745	4.135
Conventional R.C. column with GFRP Single layer (SL) – (fig.10&11)	2.01	1.83
Conventional R..C.column with GFRP Double layers (DL) – (fig.14&15)	2.71	2.17

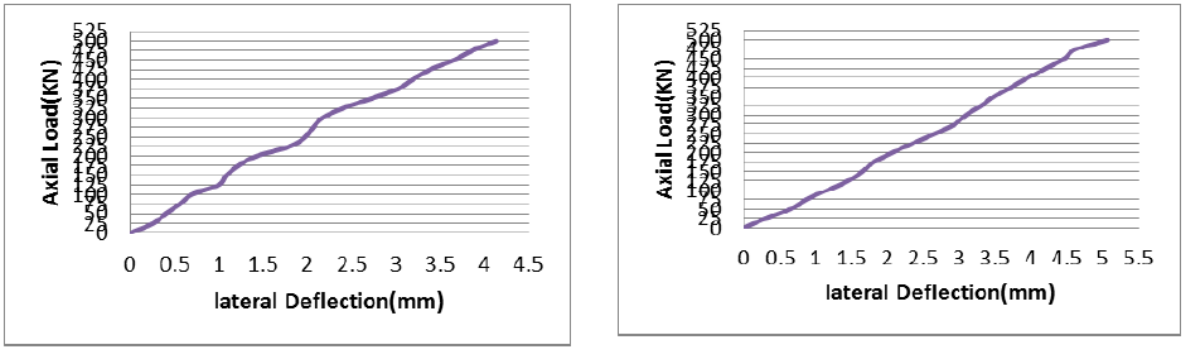
الشكل (2-16): شكل الانهيار للعمود البيتوني المغلف بـGFPR [5]

الشكل (2-17): شكل الانهيار للعمود البيتوني دون تدعيم [5]



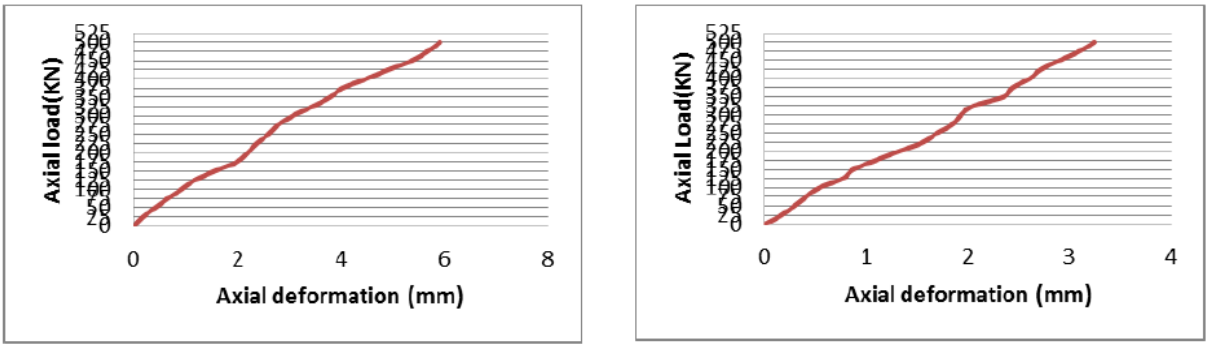
(a) (b)

الشكل (2-18): منحني الحمولة – التشوه المحوري للأعمدة البيتونية دون تغليف. a- للطول 600 mm . b- للطول 750 mm دون تدعيم [5]



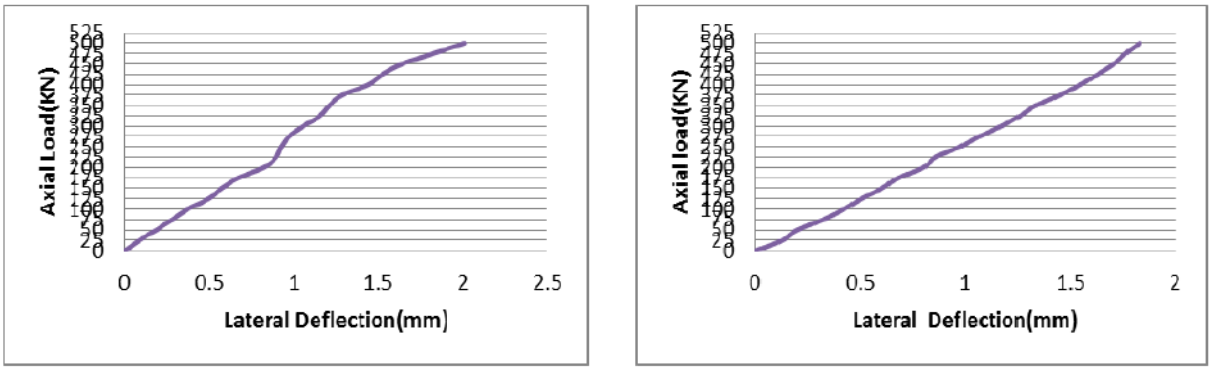
(a) (b)

الشكل (2-19): منحني الحمولة – التشوه الجانبي للأعمدة البيتونية دون تغليف. a- للطول 600 mm . b- للطول 750 mm دون تدعيم [5]



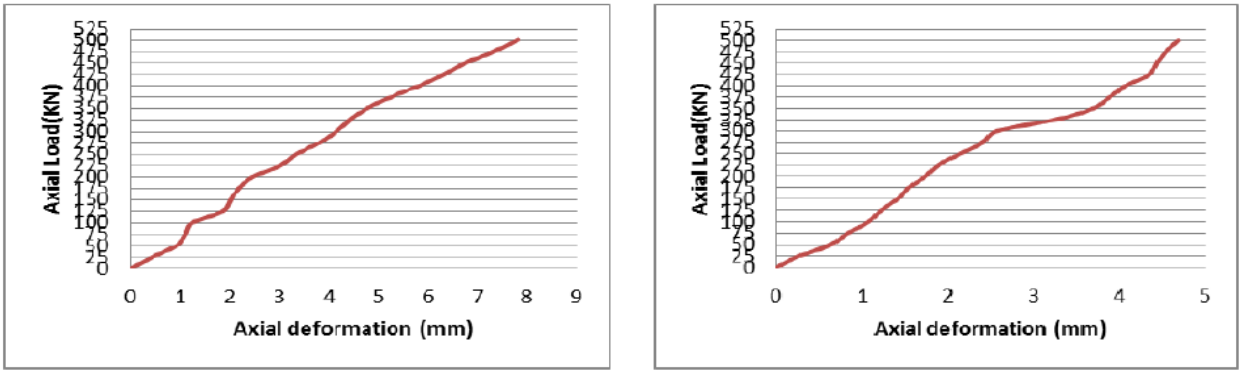
(a) (b)

الشكل (2-20): منحني الحمولة – التشوه المحوري للأعمدة البيتونية المغلفة بطبقة واحدة من الألياف الزجاجية. a- للطول 600 mm . b- للطول 750 mm دون تدعيم [5]



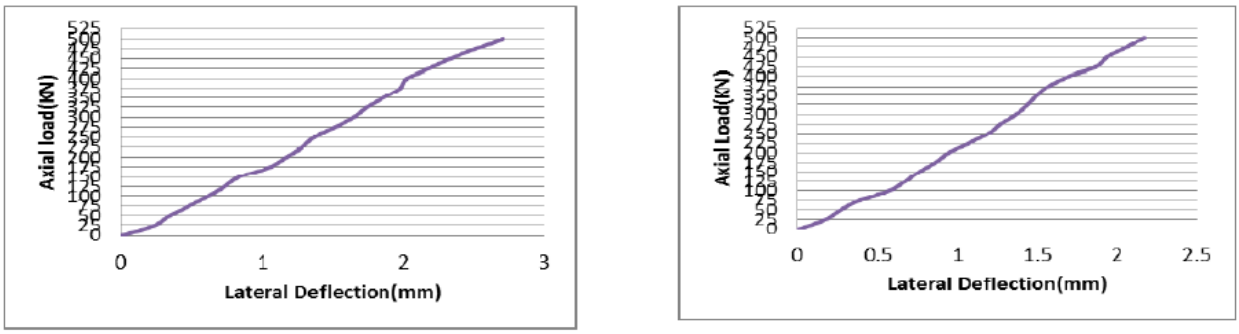
(a) (b)

الشكل (2-21): منحني الحمولة – التشوه الجانبي للأعمدة البيتونية المغلفة بطبقة واحدة من الألياف الزجاجية. a- للطول 600 mm . b- للطول 750 mm دون تدعيم [5]



(a) (b)

الشكل (2-22): منحني الحمولة – التشوه المحوري للأعمدة البيتونية المغلفة بطبقتين من الألياف الزجاجية. a- للطول 600 mm . b- للطول 750 mm دون تدعيم [5]



(a) (b)

الشكل (2-23): منحني الحمولة – التشوه الجانبي للأعمدة البيتونية المغلفة بطبقتين من الألياف الزجاجية. a- للطول 600 mm . b- للطول 750 mm دون تدعيم [5]

الملاحظات:

أظهرت الأعمدة المطوقة بطبقتين من ال GFRP السلوك الأكثر مطاوعة.

أظهرت الأعمدة ذات الارتفاع 600 mm مطاوعة أكثر من الأعمدة ذات الارتفاع 750 mm .

التشوهات الجانبية لكلا النوعين تقريبا متساوية.

الجزء الأول من مخطط الحمولة – السهم للأعمدة التقليدية متشابه مع الأعمدة المطوقة , و الجزء الأخير من المنحني يوضح تأثير التطويق جيدا .

قدرة التحمل الحدية للأعمدة المطوقة بطبقتين من GFRP من النوع الأول زادت بنسبة 18.5% و زادت الكلفة بنسبة 68.6% بالمقارنة مع العمود المسلح التقليدي.

قدرة التحمل الحدية للأعمدة المطوقة بطبقة واحدة من GFRP من النوع الأول زادت بنسبة 6% و زادت الكلفة بنسبة 34.3% بالمقارنة مع العمود المسلح التقليدي.

قدرة التحمل الحدية للأعمدة المطوقة بطبقتين من GFRP من النوع الثاني زادت بنسبة 16.25% و زادت الكلفة بنسبة 60.86% بالمقارنة مع العمود المسلح التقليدي.

قدرة التحمل الحدية للأعمدة المطوقة بطبقة واحدة من GFRP من النوع الثاني زادت بنسبة 5.8% و زادت الكلفة بنسبة 30.43% بالمقارنة مع العمود المسلح التقليدي.

الأعمدة المطوقة بطبقتين من ال GFRP أكثر فعالية من الأعمدة المطوقة بطبقة واحدة.

4-5-2 سلوك الأعمدة المستطيلة البيتونية المسلحة المقواة بالألياف الزجاجية GFRP. [12]

يتضمن هذا البحث دراسة سلوك الأعمدة المستطيلة المحملة محوريا والمقواة بالألياف الزجاجية Glass Fiber Reinforced Polymer GFRP.

أهداف الدراسة هي: 1-تقييم فعالية استخدام الألياف الزجاجية في التقوية الخارجية للأعمدة البيتونية المستطيلة , 2-تقييم فعالية عدد طبقات ال GFRP وتأثيرها على الحمولة الحدية و3-تقييم أثر تغير النسبة البعدية (aspect ratio) للمقطع العرضي للعمود.

بارامترات الدراسة:

1) النسبة البعدية للمقطع العرضي: لتغطية المجال الواسع لأبعاد المقطع العرضي تمت دراسة ثلاثة قيم a/b=1 , a/b=1.25 , a/b=1.66 حيث a : طول المقطع العرضي و b : عرض المقطع العرضي.
2) عدد طبقات ال GFRP: تمت دراسة عينات بطبقة واحدة من الألياف GFRP وعينات بطبقتين وعينات بدون GFRP.

المواد المستخدمة:

مقاومة الضغط الوسطى المعيارية بعد 28 يوم لمكعبات البيتون تساوي تقريبا 27.45 MPa . تم تطويق عينات البيتون بتغليفها بصفائح الألياف الزجاجية و التي تسمى Chopped Strand Mat CST كثافتها $300\ g/m^2$.

خصائص صفائح ال E-glass المختلطة (ألياف + راتنج) المستخدمة لتغليف الأعمدة البيتونية: متانة الشد الحدية $250\ N/mm^2$, معامل المرونة $10500\ N/mm^2$, التشوه الحدي الأعظمي 3.5% .

طول الأعمدة 750 mm ومساحة المقطع العرضي 15625 mm2 وهي ثابتة لكل العينات. كل الأعمدة تملك تسليح طولي مؤلف من 4 قضبان بقطر 10 mm و حد السيلان $f_y =$ $477.5\ N/mm^2$ والمقاومة الحدية $f_u = 603.5\ N/mm^2$, وتسليح عرضي عبارة عن قضبان ملساء بقطر 6 mm كل 125 mm بحد سيلان $f_y = 250\ N/mm^2$.

تم تقسيم عينات الأعمدة إلى 3 مجموعات: 3 أعمدة تم تغليفها بطبقة واحدة من GFRP و 3 أعمدة تم تغليفها بطبقتين من GFRP و 3 أعمدة لم تغلف أبدا (عينات قياسية) . تم تسمية الأعمدة كما هو مبين في الجدول /2-15/ بحيث أن تكون التسمية مؤلفة من 3 أجزاء: الجزء الأول يدل على عدد صفائح ال GFRP التي تشكل غلاف العمود , و الجزء الثاني يدل على شكل العمود (S مربع و R مستطيل) و الجزء الثالث يدل على عامل مقطع العمود .

كل العينات تم تحميلها حتى الانهيار على الضغط المحوري وتمت دراسة سلوك العينات في الاتجاه المحوري والأفقي. ويبين الشكل (2-24) توضع العينة ضمن جهاز الاختبار.

الشكل (2-24): توضع العينة ضمن جهاز الاختبار [12]

النتائج والمناقشة:

القيم التجريبية العظمى التي حصلنا عليها من التجربة مبينة في الجدول /2-15/. يتبين من النتائج أن تقوية الأعمدة بغلاف ال GFRP يزيد من قدرة تحمل الأعمدة. كلما زاد عدد طبقات ال GFRP كلما زادت قدرة تحمل الأعمدة. الزيادة التي حصلنا عليها في الأعمدة $2S_1$, $2R_{1.25}$, $2R_{1.66}$هي 22.67% , 22.67% , 16.22% على الترتيب . أما الزيادة التي حصلنا عليها في الأعمدة $1S_1$, $1R_{1.25}$, $1R_{1.66}$فهي 2.57% , 2.93% , 4.05% على الترتيب بالمقارنة مع العينات القياسية (الغير مقواة).

تأثير النسبة البعدية:

يبين الشكل (2-25) تأثير النسبة البعدية على الأعمدة البيتونية المغلفة بتسليح الGFRP. كما هو واضح أن زيادة نسبة معامل المقطع يؤدي إلى نقصان في المقاومة الحدية. الأعمدة التي معامل مقطعها 1.66 تكون قيم التشوه العرضي والمحوري فيها أقل من الأعمدة التي معامل مقطعها يساوي 1.25.

يبين الشكل (2-26) الزيادة في قدرة التحمل المحورية من أجل قيم مختلفة لمعامل المقطع وعدد طبقات ال GFRP. الأعمدة التي معامل مقطعها 1.25 و1.66 والمغلفة بطبقة واحدة تبدي زيادة قليلة في المقاومة من الأعمدة التي معامل مقطعها يساوي 1.

الجدول (2-15): نتائج التجربة [12]

Column designation	Failure load in KN	Maximum axial (microstrain)	Maximum transverse (microstrain)
$0S_1$	766.3	1575	1080
$1S_1$	786	1165	509
$2S_1$	940	1465	675
$0R_{1.25}$	750	1660	483
$1R_{1.25}$	772	1830	820
$2R_{1.25}$	920	3150	1950
$0R_{1.66}$	740	1190	750
$1R_{1.66}$	770	1355	785
$2R_{1.66}$	860	1875	1030

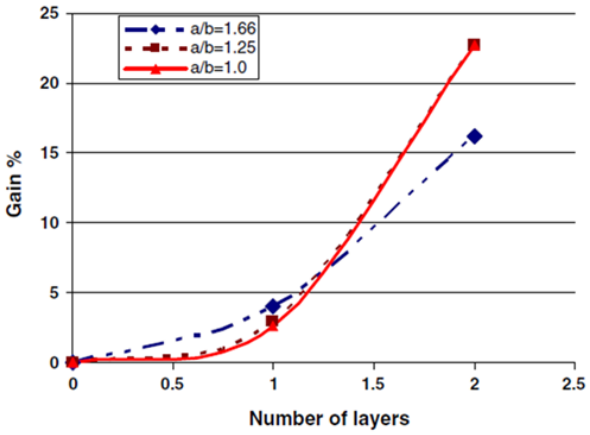


Fig. 4. Gain in ultimate load vs. number of layers.

الشكل (2-26): الزيادة في الحمولة الأعظمية مع تغير عدد الطبقات ومعامل المقطع العرضي [12]

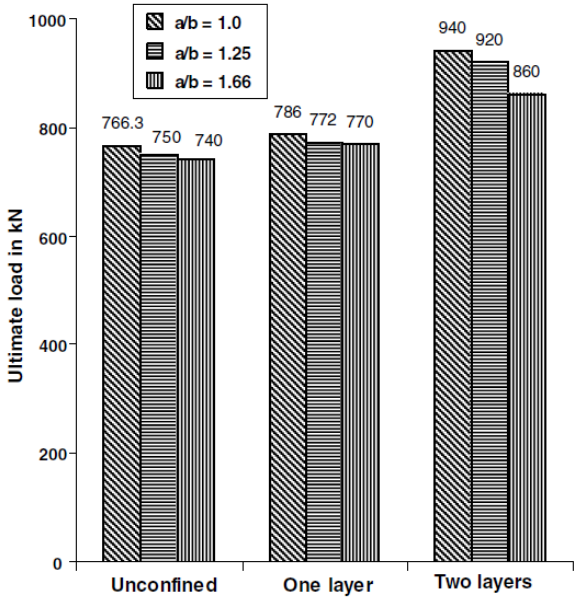


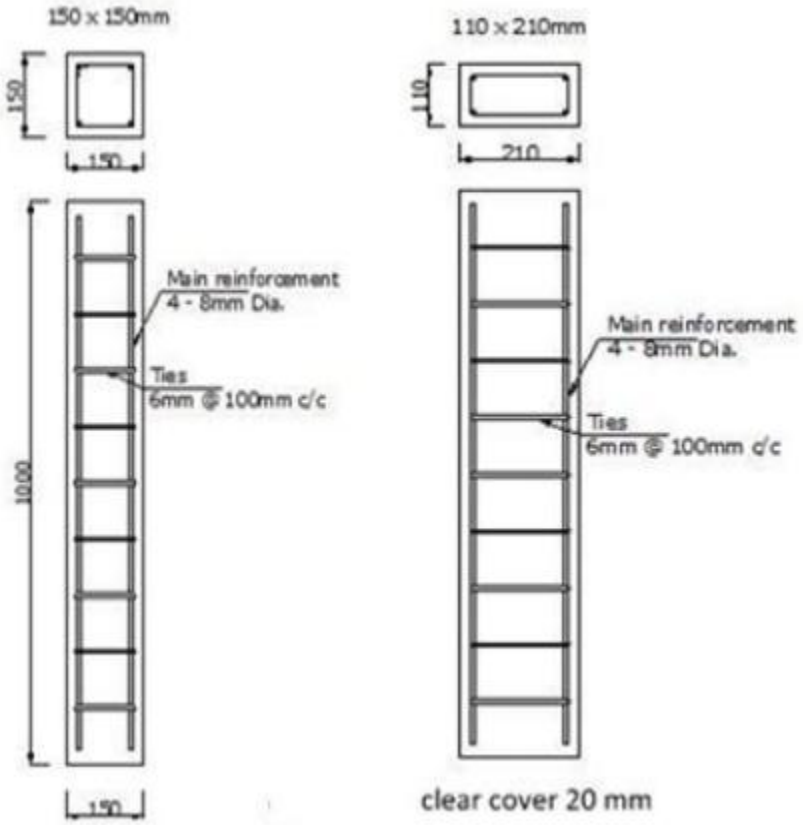
Fig. 3. Effect of aspect ratio on ultimate load.

الشكل (2-25): تأثير معامل المقطع على الحمولة الأعظمية في الأعمدة [12]

2-5-5 سلوك الأعمدة البيتونية المسلحة المغلفة بالبوليميرات المدعمة بالألياف GFRP بمقاطع عرضية مختلفة. [13]

تهدف التجربة إلى إجراء اختبارات على أعمدة بيتونية مسلحة بطول 1m تشمل أعمدة غير مغلفة وأعمدة مغلفة بطبقة واحدة من البوليميرات المدعمة بالألياف الزجاجية GFRP وبمقاطع عرضية مربعة ومستطيلة، حيث تم إخضاع العينات للضغط المحوري حتى الانهيار.

تم استخدام أعمدة ذات مقطع عرضي مربع بأبعاد 150x150 mm وأخرى ذات مقطع عرضي مستطيل بأبعاد 210x110 mm كما هو مبين في الشكل (2-27).



الشكل (2-27): تفاصيل التسليح في عينات الأعمدة [13]

التسليح الطولي المستخدم عبارة عن 4 قضبان بقطر 8 mm، والتسليح العرضي عبارة عن أساور عادية بقطر 6 mm كل 100 mm.

2-5-5-1 خصائص المواد المستخدمة:

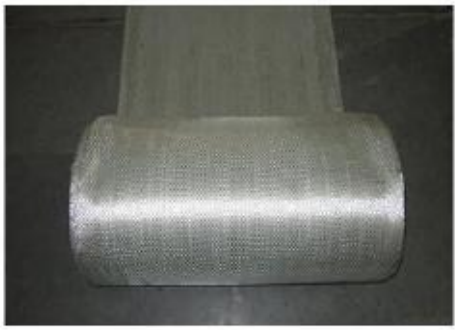
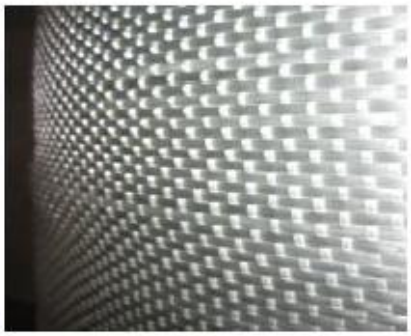
1- البيتون: المقاومة المتوسطة على الضغط للبيتون المستخدم بعد 28 يوم هي 15 MPa بنسب خلط 0.6:1:3.25:5 (water: cement: sand: coarse aggregate). ويبين الجدول التالي الكميات المستخدمة في الخلطة البيتونية.

الجدول (2-16): نسب الخلط المستخدمة في البيتون من أجل 1م^3 [13]

Ingredients	Quantity
Cement	270 kg/m^3
Sand	877 kg/m^3
10 mm down size aggregate	945 kg/m^3
20 mm down size aggregate	405 kg/m^3
water	162 kg/m^3

2- صفائح الألياف الزجاجية GFRP:

تم استخدام صفائح وحيدة الاتجاه كما هو مبين في الشكل (2-28).

(a)  (b) 

الشكل (2-28): صفائح الألياف الزجاجية. (a) الصفائح على شكل رول. (b) شرائح الGFRP وحيد الاتجاه [13]

ويبين الجدول (2-17) خصائص الألياف المستخدمة.

المقاومة الحدية على الشد: 3400 MPa

معامل المرونة: 74500 MPa

التشوه الحدي: 4.3%

الجدول (2-17): خصائص الألياف الزجاجية المستخدمة [13]

Fiber weight(g/m^2)	Sheet width (mm)	Fiber thickness (mm)	Ultimate tensile strength (MPa)	Elastic modulus (MPa)	Ultimate elongation (%)
900	500	0.324	3400	74500	4.3

2-5-5-2 التغليف بصفائح الألياف الزجاجية GFPR Wrapping:

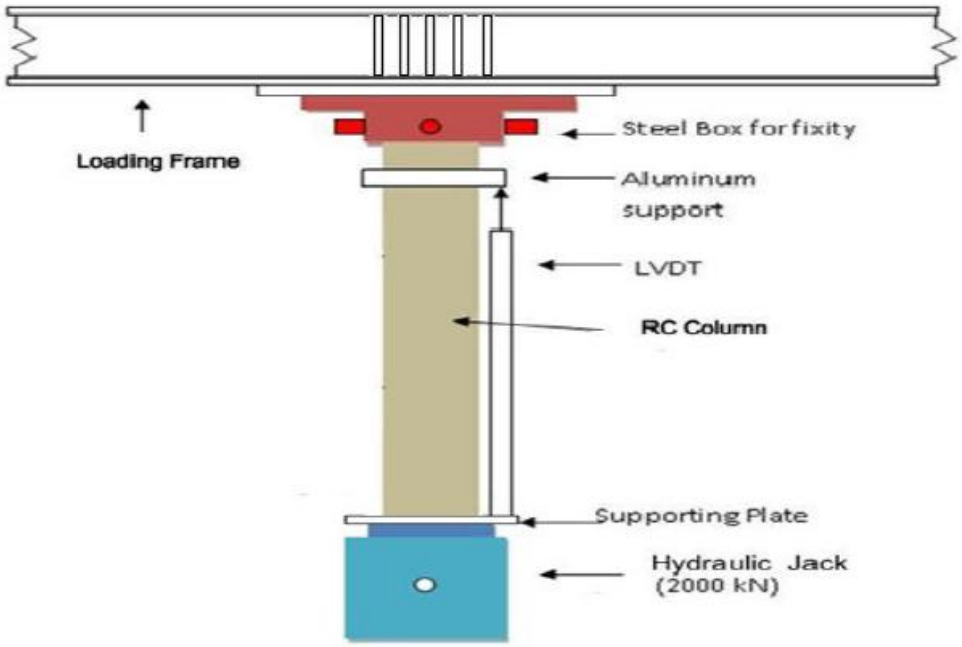
أولا يتم تنظيف سطح البيتون من ذرات الغبار العالقة عن طريق فرشاة خاصة، ثم يتم استخدام آلة خاصة للحصول على سطح أملس (الشكل 2-29- a). بعد ذلك يتم وضع طبقة ابتدائية على سطح البيتون (الشكل 2-29- b) ثم يتم وضع المادة الرابطة والتي تتكون من جزأين: أساس ومقوي, يتم خلطهما معاً بنسب متساوية وتطبق على سطح البيتون عن طريق فرشاة يد (الشكل 2-29- c). وبعدها فورا يتم وضع الألياف ولفها حول العمود البيتوني (الشكل 2-29- d).

Fig. 4 (a) Grinding of RC column, (b) Application of Primer, (c) Application of saturant and (d) Application of GFRP sheet

الشكل (2-29): تحضير العينات وتغليفها بشرائح الGFRP [13]

وخلال اللف يتم أخذ الحذر بحيث تكون الألياف بالاتجاه الأفقي لتعطي تأثير التطويق المناسب عند التحميل.

تم قياس الانتقالات الشاقولية عن طريق مقاييس LVDT التي تم تركيبها على إطارات من الألمنيوم تعلق على العينة. وتم إجراء الاختبارات على العينات عن طريق إطار تحميل بقدرة تحمل 1000 kN حيث تم إخضاع العينات لضغط محوري عن طريق ذراع هيدروليكية بقدرة 2000 kN حتى الانهيار. يبين الشكل (2-30) شكل تخطيطي لجهاز الاختبار.



الشكل (2-30): شكل تخطيطي يوضح العينة ضمن جهاز الاختبار [13]

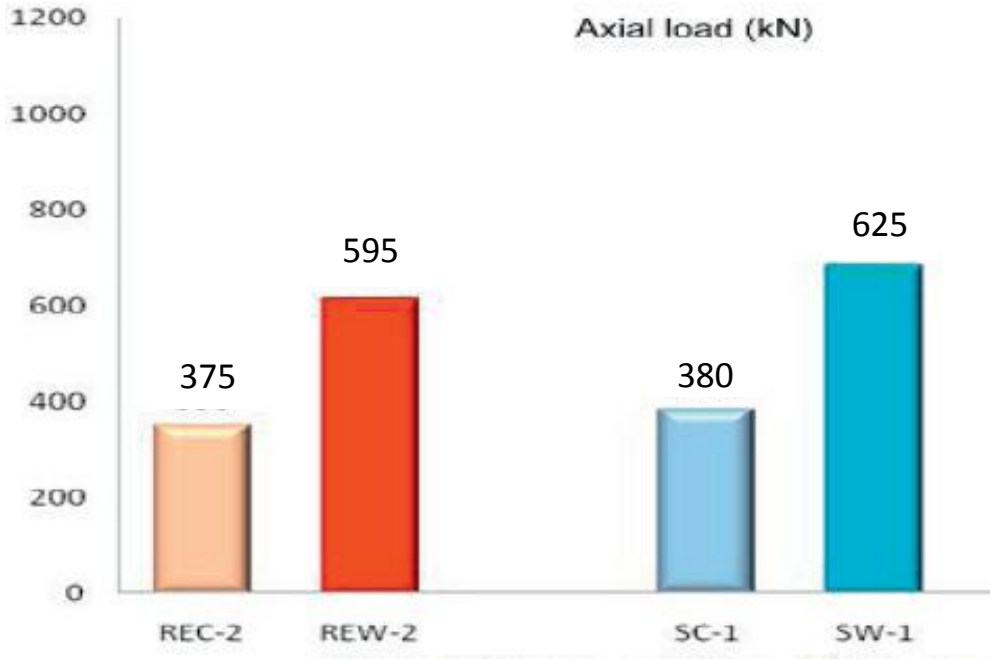
تم تغطية السطح العلوي للعينات عن طريق صفيحة معدنية لضمان بقاء السطح أفقياً وتوزيع الحمل بشكل متساوي والتقليل من اللامركزية. تم تطبيق الحمولة بتزايد مقداره 10 kN حتى الانهيار. يبين الشكل (2-31) توضع العينات في جهاز الاختبار في المختبر.

الشكل (2-31): العينات في المختبر [13]

3-5-5-2 نتائج التجربة:

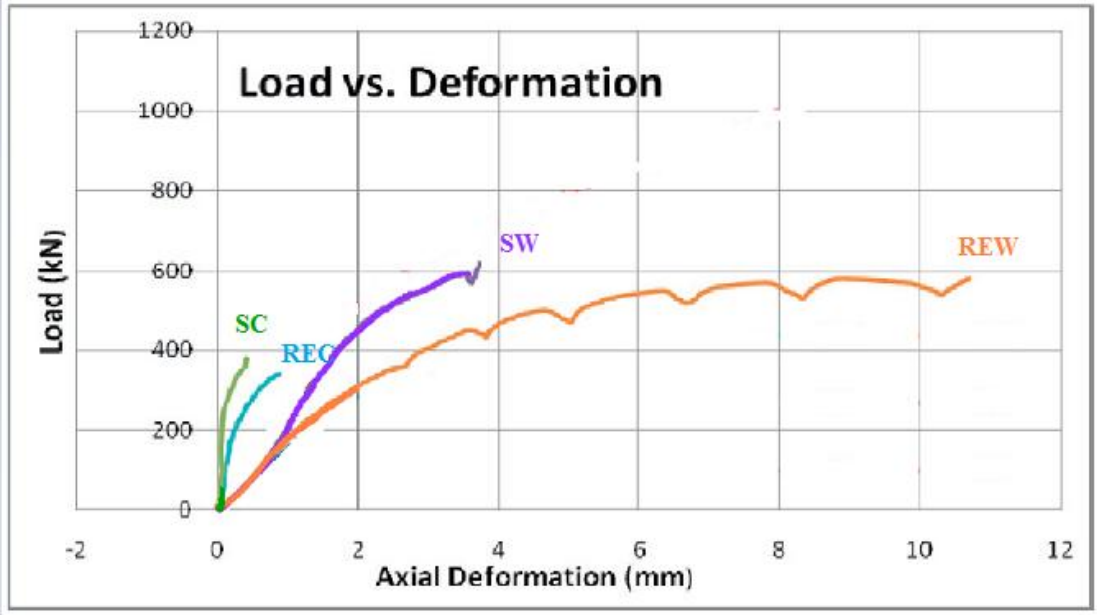
تم مقارنة النتائج من حيث الحمولة, الانتقالات والتشوهات بين الأعمدة المغلفة ب GFRP والغير مغلفة.

إن الأعمدة المغلفة بالFRP أعطت زيادة ملحوظة في الحمولة الأعظمية مقارنة بالأعمدة الغير مغلفة وذلك من أجل مقاطع عرضية مختلفة. فقد كانت الزيادة للعمود المستطيل المغلف بالGFRP حوالي 58% مقارنة بالعمود الغير مغلف. أما العمود المربع فكانت الزيادة في الحمولة بمقدار 70- 75% كما هو مبين في الشكل (2-32).



الشكل (2-32): مقارنة الحمولة الأعظمية لعينات لأعمدة [13]

يبين الشكل (2-33) منحنيات الحمولة مع التشوهات المحورية للأعمدة. ونلاحظ أن التشوهات المحورية للأعمدة المغلفة المربعة والمستطيلة أكبر بشكل ملحوظ من الأعمدة الغير مغلفة، كما نلاحظ ازدياد في الحمولة العظمى للعمود المربع أكثر من العمود المستطيل.



الشكل (2-32): منحنيات الحمولة - التشوهات المحورية للأعمدة [13]

2-5-5-4 أنماط الانهيار:

تنهار الأعمدة البيتونية غير المغلفة بعد وصول البيتون إلى مقاومته العظمى على الضغط ويتمثل ذلك بتشقق البيتون بين الأساور العرضية بسبب تحنيب قضبان التسليح بعد الوصول إلى قيمة حمولة الضغط الحدية مما أدى إلى انفصال البيتون بين الأساور العرضية.

نلاحظ من الشكل (2-33) انهيار العمود المربع على القص، ويمكن أن يُعزى ذلك إلى استخدام بيتون ضعيف مقاومته على الضغط منخفضة نسبياً.

الشكل (2-33): انهيار العمود المربع غير المغلف [13]

يبين الشكل (2-34) انهيار العمود المستطيل حيث نلاحظ أن الانهيار حصل من ناحية الضلع الكبير وذلك بسبب تأثير التحنيب. ويمكن القول أن الحمولة المحورية اللازمة لحصول الانهيار في العمود تكون أقل كلما زاد التباين في أبعاد المقطع العرضي للعمود.

الشكل (2-34): انهيار العمود المستطيل غير المغلف [13]

انهارت معظم الأعمدة المغلفة بالFRP بتمزق الألياف بالقرب من منتصف الارتفاع أو بالقرب من الزوايا. أثناء تطبيق الحمولة على الأعمدة تم سماع أصوات اعتيادية بسبب تلف صفائح الألياف وتمزق المادة الرابطة الراتنجية. الانهيار الأخير للأعمدة حدث بشكل مفاجئ مصحوباً بصوت انفجاري.

يبين الشكل (2-35) انهيار العمود المربع الذي حدث بالقرب من الزوايا بسبب تمزق صفائح الGFRP, ويرجع ذلك بشكل أساسي إلى عدم وجود كمية كافية من الألياف عند الزوايا. وكان الانهيار مصحوباً بانفصال وتمزق صفائح الGFRP في العمود المربع.

الشكل (2-35): انهيار العمود المربع المغلف بGFRP [13]

يبين الشكل (2-36) انهيار العمود المستطيل والذي كان متمثلاً أيضاً بانفصال وتمزق شرائح الGFRP عند الزوايا بسبب عدم تركزها بشكل كافي في تلك المناطق. إن وجود لامركزية صغيرة عند تطبيق الحمولة على العمود المستطيل أدت إلى نشوء تحنيب في العمود وبالتالي أحد جانبي العمود تعرض إلى ضغط والآخر إلى شد وكنتيجة لذلك تمزقت شرائح الGFRP في منطقة الضغط لكونها ضعيفة التحمل على الضغط.

الشكل (2-36): انهيار العمود المستطيل المغلف بGFRP [13]

6-2 خلاصة الفصل الثاني: Chapter 2 Conclusion

تم في هذا الفصل إجراء مراجعة بحثية لمواضيع تتعلق بموضوع البحث، حيث تم التعرف على مادة البيتون المسلح وسلوكها ومادة الفولاذ وسلوكها، ثم تم شرح عن مركبات الألياف الزجاجية GFRP وخصائصها وسلوكها وكيفية استخدامها في تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة وسلوك الأعمدة المدعمة بهذه المركبات.

كما تم استعراض مجموعة من الدراسات البحثية التجريبية المتعلقة بتقوية الأعمدة البيتونية بالألياف الزجاجية وذلك من أجل عدة متغيرات مثل شكل المقطع العرضي وعدد طبقات الألياف ونسبة التسليح ومقاومة البيتون وطول العمود وخصائص الألياف المستخدمة ومن خلالها تم الوصول إلى العديد من النتائج, وسيتم في الفصل القادم اختيار تجربتين وتحليلهما بطريقة العناصر المحدودة للوصول إلى نموذج يخدم موضوع البحث.

الفصل الثالث

الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة

Analytical Study Using Finite Element Method FEM

1-3 مقدمة: Introduction

الهدف من هذا الفصل هو إنشاء نموذج عددي يحاكي الدراسة المرجعية التي قام بها الباحث كل من (Raval.R, Dave.U 2012) و (Kumutha et al 2007) والتي أُجريت على أعمدة بيتونية مسلحة مقواة من الخارج بالبوليميرات المدعمة بالألياف الزجاجية GFRP.

يحوي هذا الفصل الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة Finite Element Method FEM , والتي تتضمن توصيف النموذج و اختيار العناصر المستخدمة في النمذجة وتوصيف المواد مع الأخذ بعين الاعتبار لا خطية المادة Nonlinearity of Material وتطبيق الحمولة على النموذج وتحديد شروط الاستناد ودراسة أثر تقارب الشبكة ومن ثم إجراء التحليل والتأكد من صحة النتائج من خلال مقارنتها مع نتائج الدراسات التجريبية المعتمدة.

2-3 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

Structural Analysis Using Finite Element Method FEM :

1-2-3 توصيف النموذج Model Description

أ- تجربة (Kumutha et al 2007)

النموذج المستخدم هنا عبارة عن أعمدة بيتونية مسلحة بمقطع مستطيل وبثلاث قيم لمعامل المقطع العرضي (a/b=1 , a/b=1.25 , a/b=1.66), طول الأعمدة 750 mm ومقواة من الخارج بالألياف الزجاجية E-glass (عينات بدون تقوية – عينات مقواة بطبقة واحدة – عينات مقواة بطبقتين) متانة الشد الحدية للألياف $250\ N/mm^2$, معامل المرونة $10500\ N/mm^2$, التشوه الحدي الأعظمي 3.5% , وسماكة طبقة الألياف 1mm.

التسليح الطولي عبارة عن 4 قضبان بقطر 10 mm وبحد سيلان fy=477.5 MPa والتسليح العرضي عبارة عن أساور عادية بقطر 6 mm كل 125 mm وبحد سيلان fy=250 MPa. مقاومة الضغط للبيتون المستخدم f`c=27.45 MPa .تم تحميل العينات بقوة محورية ضاغطة حتى الانهيار.

ب- تجربة (Raval.R, Dave.U 2012):

النموذج المستخدم هنا عبارة عن أعمدة بيتونية مسلحة بمقطع مربع (150x150 mm) وبمقطع مستطيل (210x110 mm). طول الأعمدة 1000 mm, مقواة من الخارج بطبقة واحدة من الألياف الزجاجية من النوع E-glass ذات الخصائص التالية: المقاومة الحدية على الشد: 3400 MPa , معامل المرونة: 74500 MPa , التشوه الحدي: 4.3% . المقاومة المتوسطة للبيتون المستخدم على الضغط f`c=15 MPa , والتسليح الطولي المستخدم 4 قضبان بقطر 8 mm بحد سيلان fy=420 MPa والتسليح العرضي عبارة عن أساور بقطر 6 mm كل 100 mm وبحد سيلان fy=240 MPa. وتم إخضاع العينات لقوة ضغط محورية حتى الانهيار.

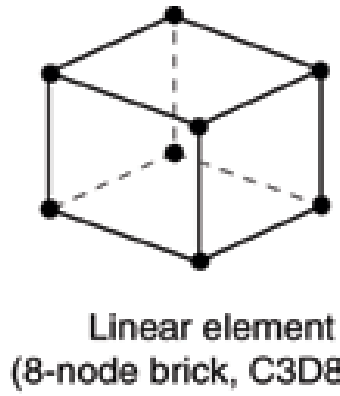
2-2-3 العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج ABAQUS 6.12

Elements used in the model using ABAQUS 6.12:

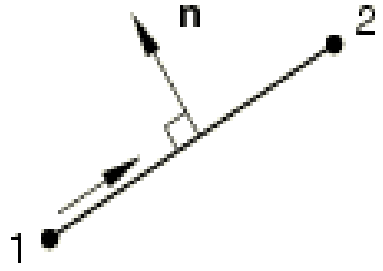
البيتون: تم استخدام العنصر C3D8 لنمذجة العمود البيتوني وهو عنصر فراغي (Solid Section) مكون من ثمان عقد ولكل عقدة 6 درجات حرية (3 انتقالات و3 دورانات) كما هو موضح في (الشكل 3-1).

حديد التسليح: تم استخدام العنصر T3D2 في نمذجة حديد التسليح الطولي والعرضي وهو عبارة عن عنصر شبكي (Truss Element) مؤلف من عقدتين ولكل عقدة درجتي حرية (انتقالين فقط) كما هو موضح في (الشكل 3-2).

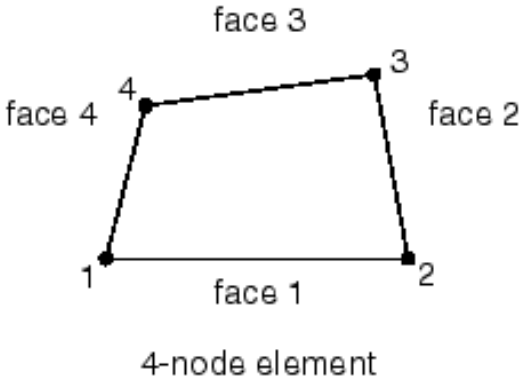
الألياف الزجاجية: تم استخدام العنصر S4R لنمذجة طبقة الألياف الزجاجية وهو عنصر مساحي (Shell Element) مكون من أربع عقد ولكل عقدة ثلاث درجات حرية كما هو موضح في (الشكل 3-3).



الشكل (3-1) تمثيل العنصر الفراغي بثمان عقد [1]



الشكل (3-2) تمثيل العنصر الشبكي ذو العقدتين [1]



الشكل (3-3): تمثيل العنصر المساحي بأربع عقد [1]

3-2-3 الشروط المحيطية للنموذج Model`s Boundary Conditions

تم اعتماد شروط الاستناد كما هي في التجربتين حيث تم تقييد الوجه السفلي للعمود بمسند ثابت وتطبيق انتقال شاقولي على الوجه العلوي يمثل الضغط المطبق.

4-2-3 الأحمال المطبقة على النموذج Applied Load to the Model

تم تطبيق حمولة ضاغطة مركزية حتى الانهيار في كل من التجربتين.

5-2-3 التحليل المستخدم Type of Used Analysis

تم اعتماد التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لا خطية المادة (Materially Non Linear Analysis).

6-2-3 طرائق نمذجة المواد المستخدمة Material Used in Modeling

1-6-2-3 مادة البيتون:

تحوي قاعدة بيانات برنامج (ABAQUS V6.12) ثلاث طرائق لنمذجة البيتون وهي:

1. Concrete Smeared Cracking Model
2. Cracking Model for Concrete (Brittle Cracking Model)
3. Concrete Damaged Plasticity

تسمح هذه الطرائق الثلاث في نمذجة البيتون لجميع أنواع المنشآت مثل الجوائز Beams, العناصر الشبكية Trusses, القشريات Shells , والعناصر الفراغية Solids , وأيضا البيتون العادي البسيط (Plain Concrete) والبيتون المسلح (Reinforced Concrete).

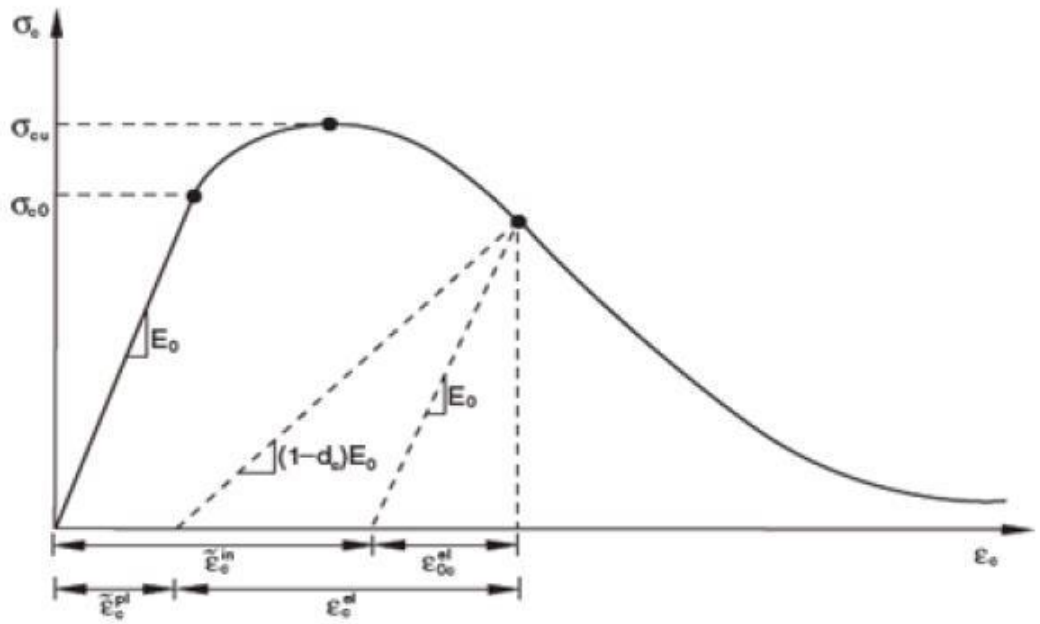
تستخدم طريقة Concrete Smeared Cracking Model في حالات الحمولات المتزايدة (Pushover Loading) ولا تصلح في حالة التحميل الدوري (Cycling Loading) والانهيار فيها يكون إما بسبب التشقق على الشد (Tensile Cracking) أو التحطم على الضغط (Compressive Crushing). وتستخدم طريقة Brittle Cracking Model للمواد ذات التشقق الهش والتي تسيطر

عليها تشققات الشد (Tensile Cracking).

أما طريقة Concrete Damaged Plasticity CDP فيمكن استخدامها في حالات التحميل الرتيب (Monotonic Loads) أو حالات التحميل الديناميكي (Dynamic Loads) أو التحميل الدوري (Cyclic Loads) ونستطيع من خلالها إجراء التحليل اللاخطي للبيتون حيث تأخذ بعين الاعتبار تأثير إزالة القوة والتناقص التدريجي في الصلابة المرنة (Elastic Stiffness) في حالتي الشد والضغط بسبب التشوهات اللدنة , أيضاً تأخذ بعين الاعتبار آثار استرداد القساوة المرنة (Recovery of Elastic Stiffness) في حالة التحميل الدوري (Cyclic Loads) عند انعكاس الحمولة من الضغط إلى الشد.

وسيتم الاعتماد على هذه الطريقة في بحثنا لنمذجة مادة البيتون لكونها تناسب حالة التحميل (تحميل متزايد) ونتمكن عن طريقها من توصيف مادة البيتون بشكل لاخطي حيث تأخذ بعين الاعتبار وجود التشوهات اللدنة والتناقص في الصلابة الناتج عن ذلك.

يبين الشكل (3-4) منحني الإجهاد-التشوه للبيتون على الضغط المستخدم في طريقة CDP حيث يمثل المحور الأفقي التشوه النسبي للبيتون على الضغط $\boldsymbol{\varepsilon c}$ والمحور الشاقولي إجهاد الضغط في البيتون$\boldsymbol{\sigma c}$, وكما هو واضح في الشكل يكون السلوك مرناً حتى الوصول إلى قيمة الإجهاد الابتدائي (Initial Stress) $\boldsymbol{\sigma co}$, ثم يبدأ السلوك اللامرن وتصبح علاقة الإجهاد-التشوه لا خطية حتى الوصول إلى قيمة الإجهاد الحدي للبيتون على الضغط $\boldsymbol{\sigma cu}$ (Ultimate Stress) وتسمى هذه المرحلة بمرحلة التقسية (Stress Hardening) بعد ذلك تنخفض الإجهادات مع استمرار تزايد التشوهات وتضعف المادة بسبب ظهور التشققات وتسمى هذه المرحلة (Strain Softening).



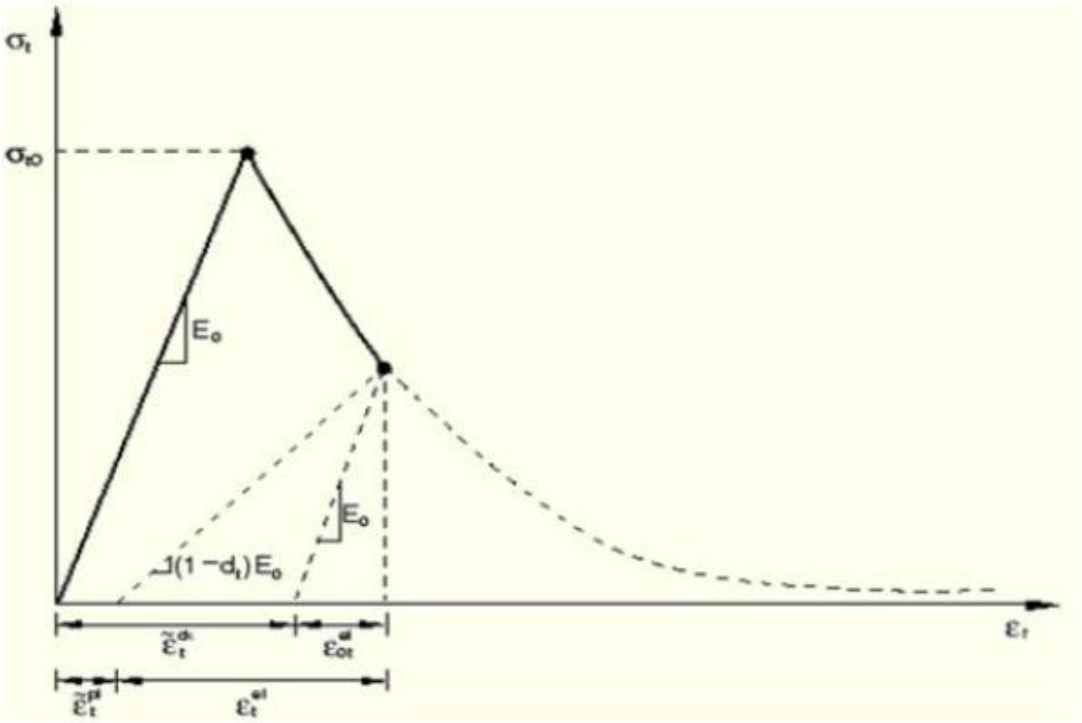
الشكل (3-4): منحني الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الضغط [1]

عند إزالة القوة من أي نقطة من مرحلة (Strain Softening) من منحني الإجهاد-التشوه تنخفض قساوة المادة، ونعبر عن انخفاض القساوة بالمعاملdc (معامل الضرر) الذي يأخذ قيمه من 0 (حيث المادة غير متشققة) إلى 1 (حيث تفقد المادة كل مقاومتها). حيث نلاحظ انخفاض معامل المرونة الابتدائي Eo بمقدار (1-dc) بسبب ظهور التشققات اللدنة المتبقية.

يُعطى المعامل dc بالعلاقة: (Jankowiak and Lodygowski 2005)

$$d_c = \frac{\sigma_{cu} - \sigma_c}{\sigma_{cu}} \quad \text{...(3-1)}$$

يبين الشكل (3-5) منحني الإجهاد-التشوه للبيتون على الشد المستخدم في طريقة CDP حيث يمثل المحور الأفقي التشوه النسبي للبيتون على الشد والمحور الشاقولي إجهاد الشد في البيتون , ويكون سلوك البيتون خطي مرن حتى الوصول إلى قيمة الإجهاد الحدي للبيتون على الشد σ_{to} , بعد ذلك يصبح السلوك لامرن وتبدأ المقاومة بالانخفاض بشكل تدريجي مع تزايد التشوهات وتسمى هذه المرحلة(Strain Softening) و تظهر التشققات في المادة.



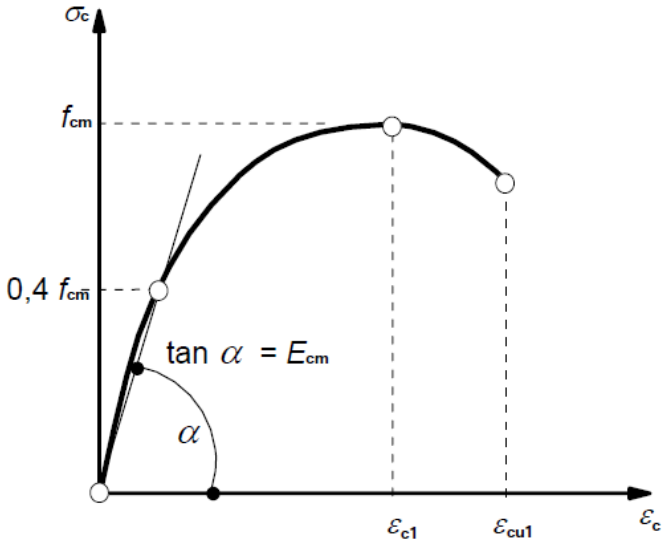
الشكل (3-5): منحني الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الشد [1]

وكما في حالة الضغط , عند إزالة الحمولة من أي نقطة من مرحلة Strain Softening من منحني الإجهاد-التشوه تنخفض قساوة المادة ونعبر عن هذا الانخفاض بالمعامل dt الذي يأخذ قيمه من 0 عندما تكون المادة غير متشققة إلى 1 عندما تفقد المادة كامل مقاومتها .حيث نلاحظ انخفاض معامل المرونة الابتدائي Eo بمقدار (1-dt) بسبب ظهور التشققات اللدنة المتبقية.

يُعطى المعامل dt بالعلاقة: (Jankowiak and Lodygowski 2005)

$$d_t = \frac{\sigma_{to} - \sigma_t}{\sigma_{to}} \ldots (3\text{-}2)$$

يبين الشكل (3-6) منحني الإجهاد-التشوه للبيتون على الضغط الذي تم اعتماده في النمذجة والمأخوذ من الكود الأوربي (EuroCode2-2004), حيث يمثل المحور الأفقي التشوه النسبي للبيتون على الضغط بينما يمثل المحور الشاقولي إجهاد الضغط في البيتون. يبدأ السلوك مرن خطي حتى الوصول إلى قيمة 0.4fcm حيث fcm المقاومة المتوسطة للبيتون على الضغط، بعد ذلك تبدأ المرحلة اللاخطية حتى الوصول إلى قيمة fcm والتي يقابلها تشوه ε_{c1} بعدها تنخفض الإجهادات حتى الوصول إلى الانهيار عند قيمة تشوه حدي ε_{cu1} حيث تؤخذ قيمة كل من ε_{c1} و ε_{cu1} من الكود الأوربي.



الشكل(3-6): منحني الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الضغط [7]

خصائص المواد:

- ✓ التجربة الأولى (Kumutha et al 2007):

المقاومة المتوسطة للبيتون على الضغط fcm=27.45 Mpa

معامل بواسون γ=0.2

معامل المرونة E=30500 MPa

التشوه النسبي الابتدائي ε_{c1}=0.22%

التشوه الحدي ε_{cu1}=0.35%

- ✓ التجربة الثانية (Raval.R, Dave.U 2012):

المقاومة المتوسطة للبيتون على الضغط fcm=15 Mpa

معامل بواسون γ=0.2

معامل المرونة E=24845 MPa

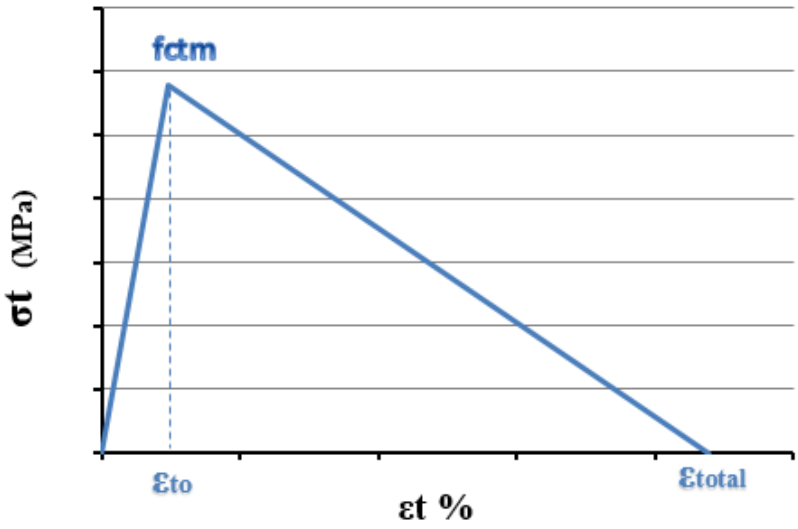
التشوه النسبي الابتدائي ε_{c1}=0.19%

التشوه الحدي ε_{cu1}=0.35%.

في حالة الشد , تم اعتماد منحني مبسط لعلاقة الإجهاد التشوه كما هو مبين في الشكل (3-7) , حيث يكون التصرف خطي مرن حتى الوصول إلى قيمة المقاومة العظمى للبيتون على الشد fctm والتي تم الحصول عليها من الكود الأوربي وذلك اعتمادا على قيمة مقاومة البيتون على الضغط, وقيمة التشوه النسبي الابتدائي للبيتون على الشد الموافقة لها ε_{to} نحصل عليها من العلاقة (3-3), بعد ذلك تبدأ المقاومة بالانخفاض مع تزايد التشوهات حيث تبدأ الشقوق بالتزايد وتصبح المادة ضعيفة حتى الوصول إلى قيمة التشوه الحدي للبيتون على الشد ε_{total} .

$$\varepsilon_{to} = \frac{f_{ctm}}{E_o} \qquad (3-3)$$

حيث Eo معامل المرونة الابتدائي للبيتون.



الشكل(3-7): منحني الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الشد المعتمد

✓ التجربة الأولى (Kumutha et al 2007):

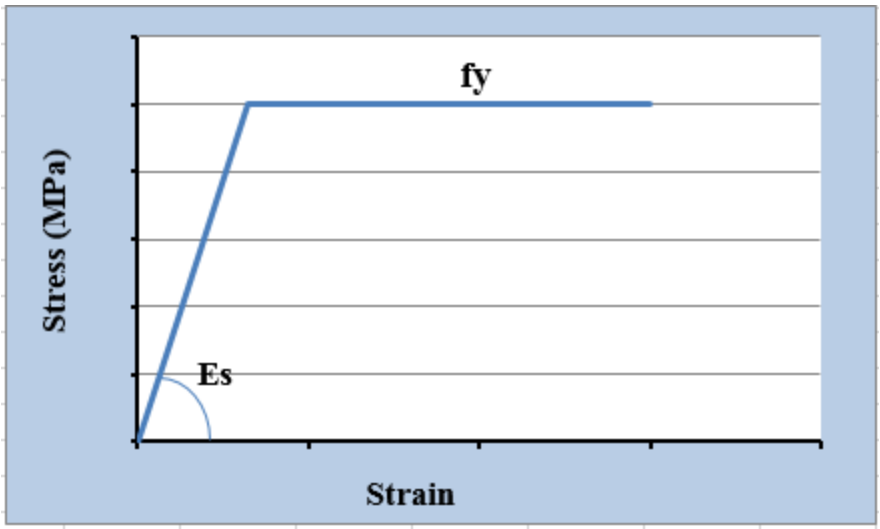
المقاومة الأعظمية للبيتون على الشد ftcm=2.9 Mpa , ε_{total}=0.0038 , ε_{to}=0.000095

✓ التجربة الثانية (Raval.R, Dave.U 2012):

المقاومة الأعظمية للبيتون على الشد fctm=1.8 Mpa , ε_{total}=0.0029 , ε_{to}=0.000073.

3-2-6-2 مادة الفولاذ:

يبين الشكل (3-8) منحني الإجهاد-التشوه لحديد التسليح الطولي والعرضي المستخدم في النمذجة , حيث سلوك الفولاذ مرن - لدن مثالي (Elastic Perfectly Plastic).



الشكل (3-8): منحني الإجهاد-التشوه النسبي للفولاذ

✓ التجربة الأولى (Kumutha et al 2007):

خصائص التسليح الطولي: γ=0.3 Es=205000 MPa fy = 477.5 MPa

خصائص التسليح العرضي: γ=0.3 Es=205000 MPa fy =250 MPa

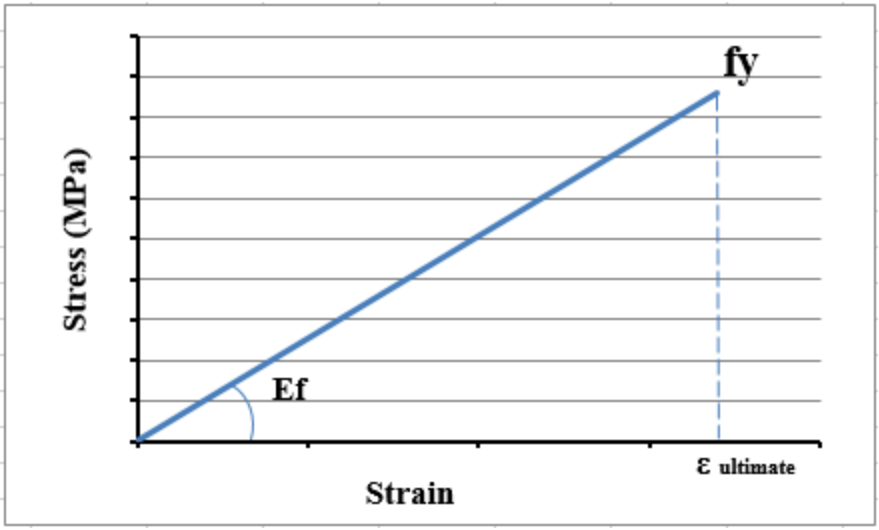
✓ التجربة الثانية (Raval.R, Dave.U 2012):

خصائص التسليح الطولي: γ=0.3 Es=205000 MPa fy = 420 MPa

خصائص التسليح العرضي: γ=0.3 Es=205000 MPa fy =240 MPa

3-6-2-3 مادة الألياف الزجاجية:

يبين الشكل (3-9) منحني الإجهاد – التشوه لمادة الألياف حيث يكون السلوك مرن خطي حتى الوصول إلى قيمة الإجهاد الحدي على الشد fy عند قيمة التشوه الحدي $\varepsilon_{ultimate}$.



الشكل(3-9): منحني الإجهاد-التشوه النسبي لمادة الألياف الزجاجية

✓ التجربة الأولى (Kumutha et al 2007):

متانة الشد الحدية fy=250 MPa, معامل المرونة Ef=10500 MPa, التشوه الحدي الأعظمي εu=3.5% .

✓ التجربة الثانية (Raval.R, Dave.U 2012):

المقاومة الحدية على الشد: fy=3400 MPa , معامل المرونة: Ef=74500 MPa , التشوه الحدي: εu=4.3% .

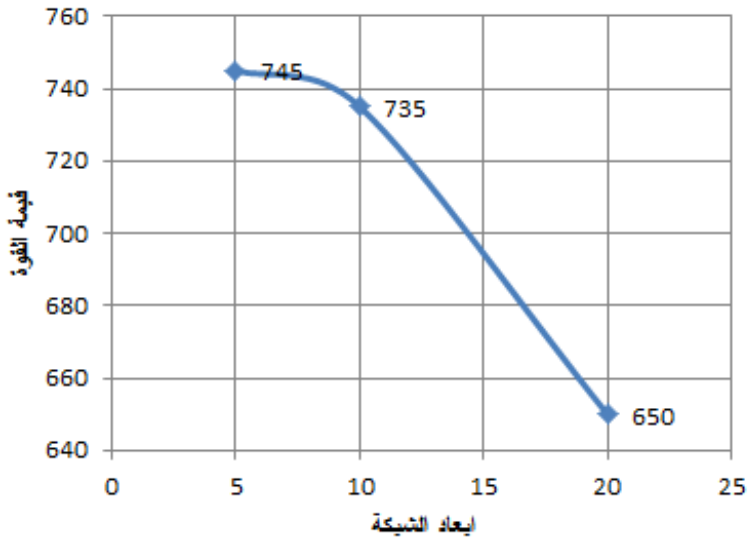
3-3 دراسة أثر تقارب الشبكة Mesh Convergence

بما أن طريقة العناصر المحدودة هي طريقة عددية، بالتالي لابد من تحديد الأبعاد المثالية لتقسيمات العناصر المحدودة المستخدمة من أجل الوصول إلى التقسيم الأمثل من حيث الدقة في النتائج والاقتصادية في زمن الحل.

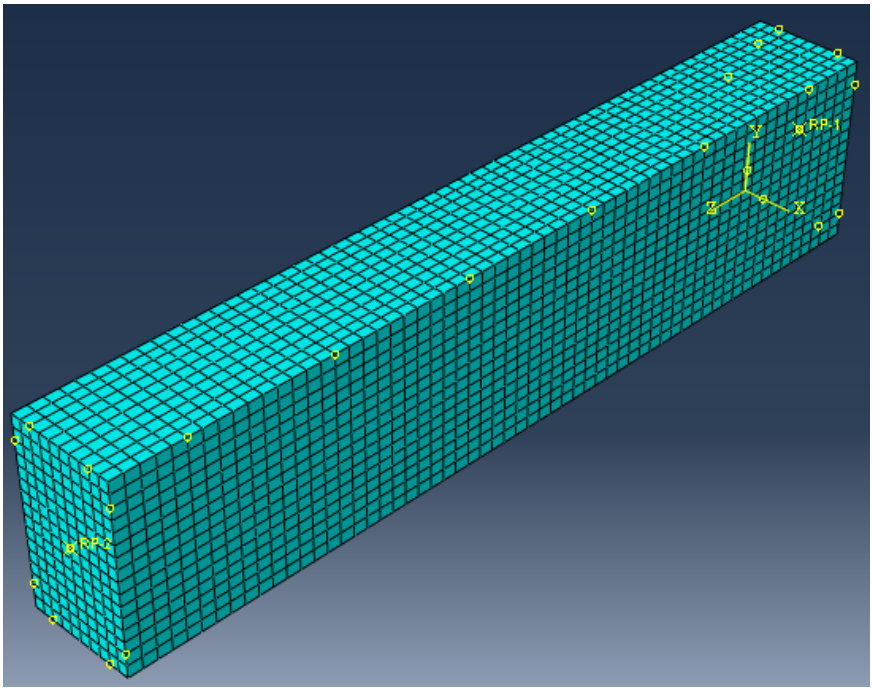
يبين الشكل (3-10) دراسة أبعاد الشبكة بالنسبة للنموذج الأول الخاص بتجربة (Kumutha et al 2007) حيث تمت على نموذج العمود المستطيل غير المقوى بالألياف , ويبين الشكل (3-11) دراسة أبعاد الشبكة على النموذج الثاني لتجربة (Raval.R, Dave.U 2012) التي تمت على نموذج العمود المربع دون ألياف, حيث يمثل المحور الأفقي تقسيمات الشبكة و المحور الشاقولي قيمة الحمولة الحدية التي حصلنا عليها .تم استخدام ثلاثة قيم للتقسيمات وهي (5*5) , (10*10) , و

(20*20) وتم اعتماد الشبكة ذات الأبعاد (10x10) لكونها تعطي دقة في النتائج واقتصادية في زمن الحل.

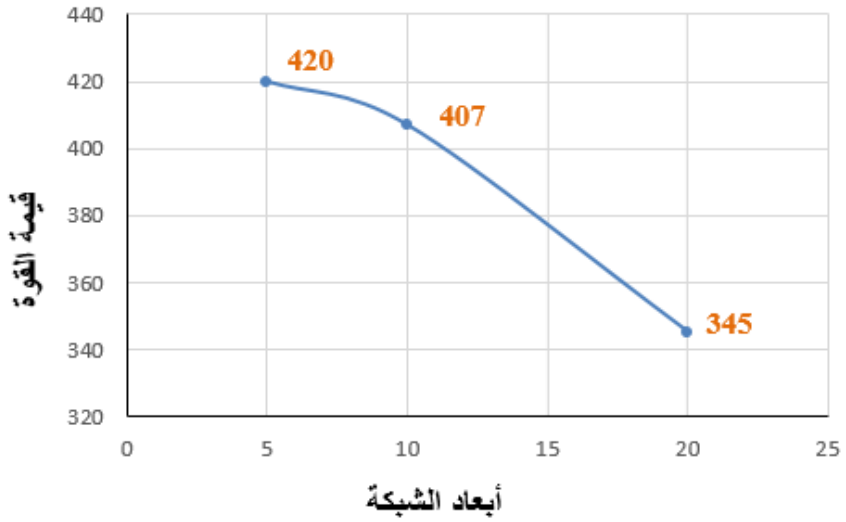
ويوضح كل من الشكلين (3-11) و (3-13) شكل النموذج لكل من تجربة (Kumutha et al 2007) و (Raval.R, Dave.U 2012) على الترتيب حيث تظهر تقسيمات الشبكة المعتمدة.



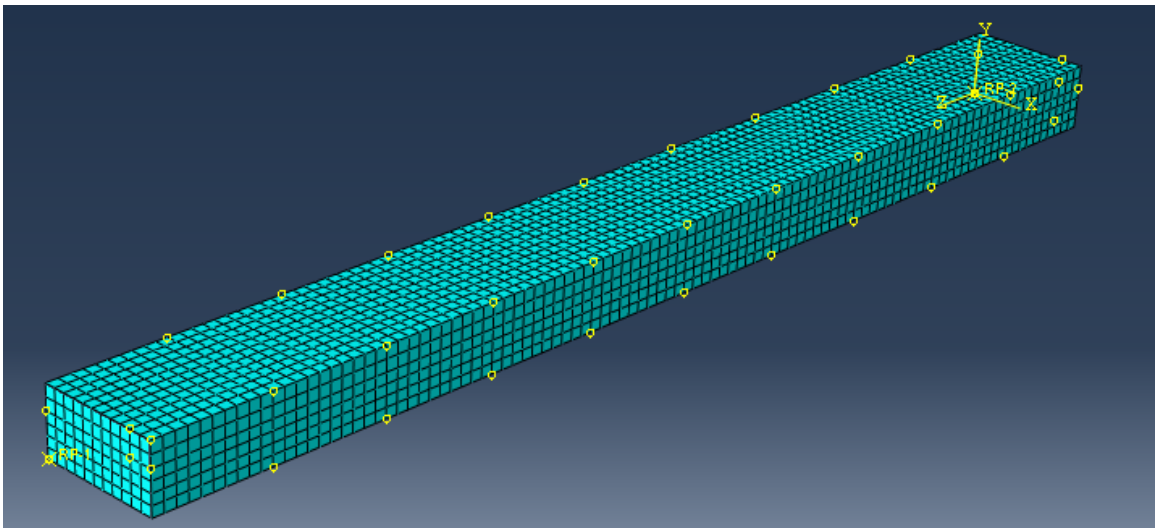
الشكل (3-10) دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج المدروس وفق تجربة (Kumutha et al 2007)



الشكل (3-11): شكل النموذج وفق برنامج الاباكوس الموافق لتجربة (Kumutha et al 2007)



الشكل رقم (3-12) دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج المدروس وفق تجربة (Raval.R, Dave.U 2012)



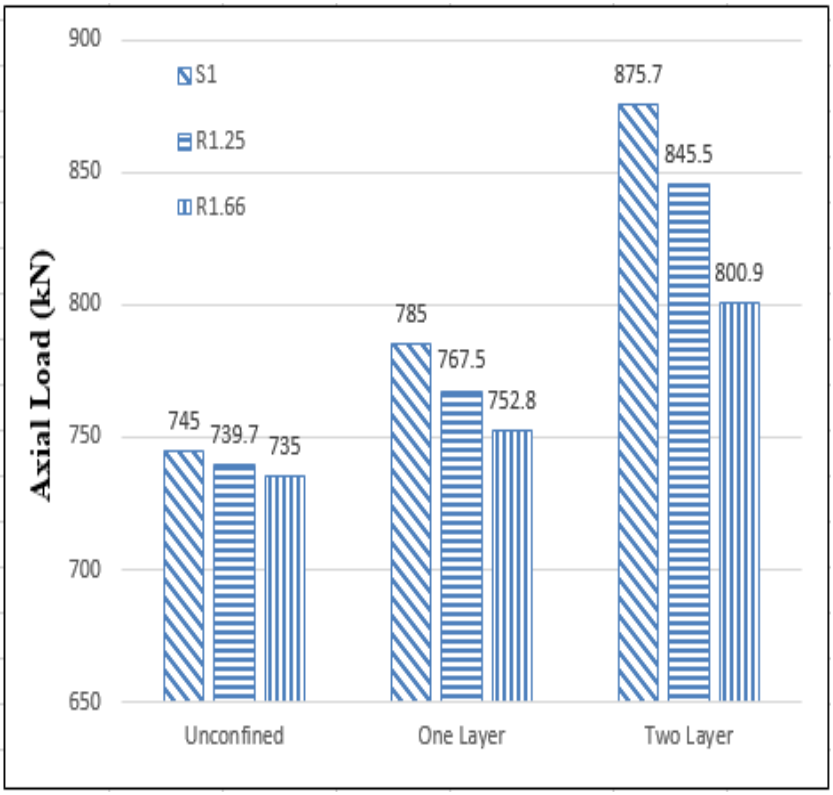
الشكل (3-13): شكل النموذج وفق برنامج الاباكوس الموافق لتجربة (Raval.R, Dave.U 2012)

4-3 مقارنة نتائج النموذج التحليلي مع النتائج التجريبية:

Comparing analytical results with experimental results

✓ التجربة الأولى (Kumutha et al 2007):

بالنسبة لهذه التجربة تمت المقارنة بين النتائج التجريبية والتحليلية من حيث الحمولة الأعظمية لعدم وجود منحنيات في التجربة نستطيع الاستفادة منها. ويبين الشكل (3-14) مخطط يوضح قيم الحمولة الأعظمية التي تم الحصول عليها من الدراسة التحليلية وفق برنامج ABAQUS.



الشكل (3-14): قيم الحمولة الأعظمية للأعمدة وفق الدراسة التحليلية

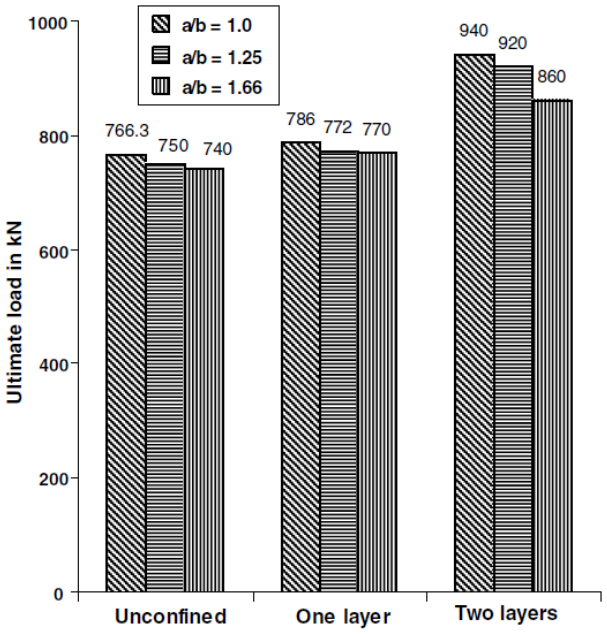


Fig. 3. Effect of aspect ratio on ultimate load.

الشكل (3-15): قيم الحمولة الأعظمية للأعمدة وفق الدراسة التجريبية [12]

ويبين الشكل (3-15) قيم الحمولة الأعظمية وفق الدراسة التجريبية (Kumutha et al 2007)
ويبين الجدول /3-1/ مقارنة بين قيم الدراستين ونسبة الفرق بينهما.

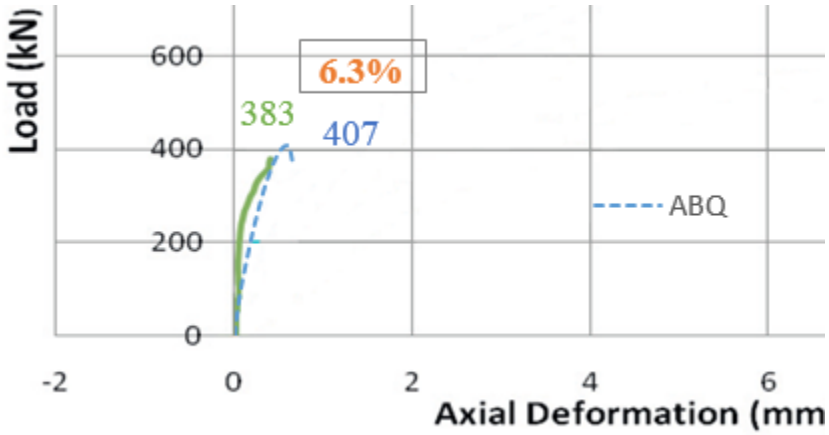
الجدول (3-1): قيم الحمولة الأعظمية التجريبية والتحليلية لتجربة (Kumutha et al 2007) مع الفرق بينهما

	0S1	1S1	2S1	0R1.25	1R1.25	2R1.25	0R1.66	1R1.66	2R1.66
ABAQUS	745.4	785	875.7	739.7	767.5	845.5	735	752.8	800.9
EXP	766.3	786	940	750	772	920	740	770	860
Tolerance%	2.80%	0.12%	7.30%	1.40%	0.60%	8.80%	0.70%	2.30%	7.40%

✓ التجربة الثانية:(Raval.R, Dave.U 2012)

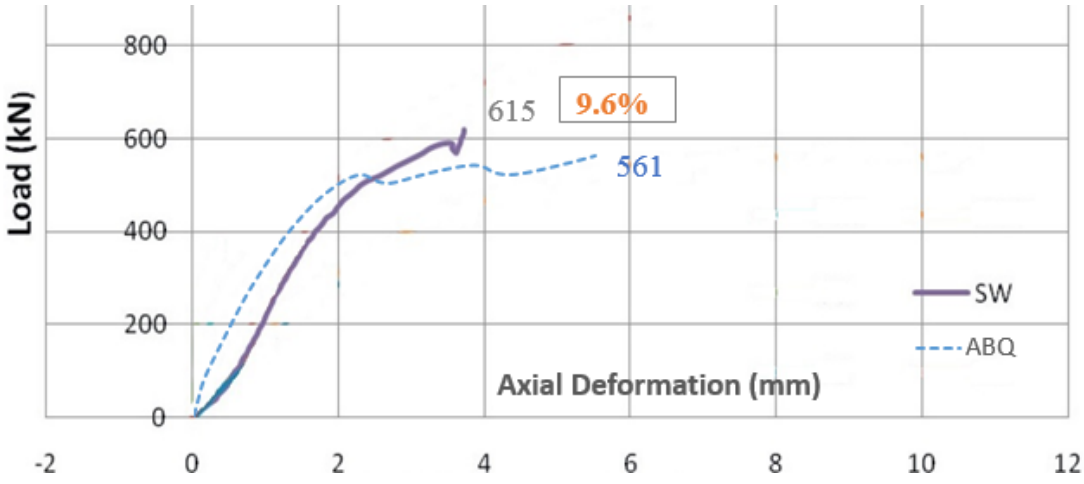
في هذه التجربة تمت المقارنة من خلال منحنيات القوة-الانتقال المعطاة في التجربة والمبينة في الأشكال التالية (3-16) , (3-17) , (3-18) ,و (3-19) حيث يمثل المحور الأفقي التشوهات المحورية (mm) والمحور الشاقولي القوة المحورية المطبقة (kN).

يبين الشكل (3-16) مقارنة بين منحني الدراسة التحليلية ومنحني الدراسة التجريبية للعمود ذو المقطع المربع غير المقوى بالألياف حيث كانت الحمولة التجريبية 383 kN والحمولة االتحليلية 407 kN بفارق 6.3%.



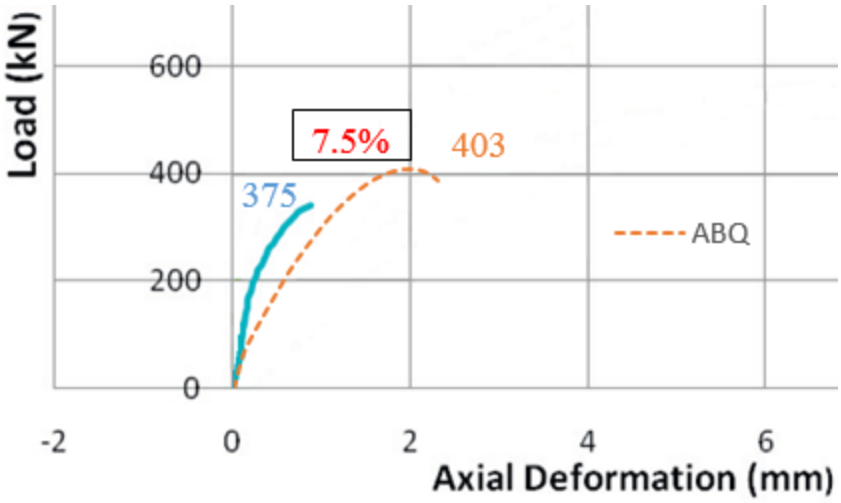
الشكل (3-16): مقارنة بين منحني القوة – الانتقال التحليلي مع المنحني التجريبي للعمود المربع دون ألياف

يبين الشكل (3-17) مقارنة بين منحني الدراسة التحليلية ومنحني الدراسة التجريبية للعمود ذو المقطع المربع المقوى بالألياف حيث كانت الحمولة التجريبية 615 kN والحمولة االتحليلية 561 kN بفارق 9.6%.



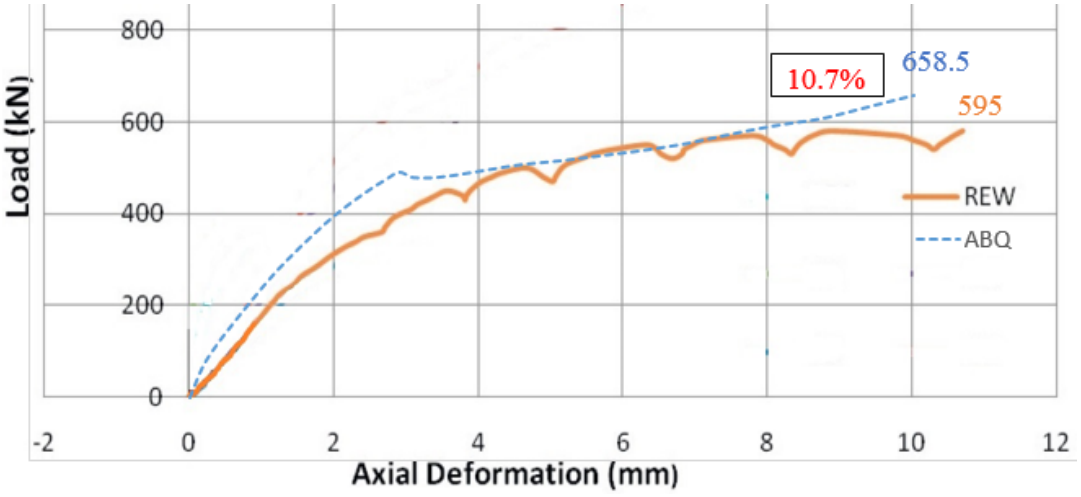
الشكل (3-17): مقارنة بين منحني القوة – الانتقال التحليلي مع المنحني التجريبي للعمود المربع مع ألياف

يبين الشكل (3-18) مقارنة بين منحني الدراسة التحليلية ومنحني الدراسة التجريبية للعمود ذو المقطع المستطيل غير المقوى بالألياف حيث كانت الحمولة التجريبية 375 kN والحمولة االتحليلية 403 kN بفارق 7.5%.



الشكل (3-18): مقارنة بين منحني القوة – الانتقال التحليلي مع المنحني التجريبي للعمود المستطيل بدون ألياف

يبين الشكل (3-19) مقارنة بين منحني الدراسة التحليلية ومنحني الدراسة التجريبية للعمود ذو المقطع المستطيل المقوى بالألياف حيث كانت الحمولة التجريبية 595 kN والحمولة االتحليلية 658.5 kN بفارق 10.7%.



الشكل (3-19): مقارنة بين منحني القوة – الانتقال التحليلي مع المنحني التجريبي للعمود المستطيل مع ألياف

ويتبين من المقارنة وجود تطابق مقبول بين المنحنيات وبنسبة فرق لم تتجاوز 11% .

5-3 خلاصة الفصل الثالث Chapter 3 Conclusion

تم في هذا الفصل استعراض كيفية بناء النموذج العددي وفق طريقة العناصر المحدودة باستخدام برنامج ABAQUS V6.12 من حيث اختيار العناصر المناسبة لنمذجة كل من مادة البيتون وحديد التسليح والألياف الزجاجية وتعريف خصائص المواد المستخدمة وتطبيق الشروط المحيطية ومن ثم اختيار التقسيم المناسب للعناصر المحدودة وإجراء التحليل المناسب ,بعد ذلك تم إجراء مقارنة بين نتائج الدراستين التحليلية والتجريبية للتحقق من النموذج وتبين وجود تطابق جيد بين الدراستين وبالتالي سيتم الاعتماد على النموذج في إجراء الدراسة البارامترية.

الفصل الرابع

الدراسة البارامترية

Parametric Study

1-4 مقدمة Introduction :

يهدف هذا الفصل إلى استعراض النتائج التحليلية لأعمدة بيتونية مسلحة مقواة من الخارج بطبقة من الألياف الزجاجية وبعدة متغيرات لمعرفة تأثير التقوية بالألياف الزجاجية على زيادة طاقة تحمل العمود.

تم إجراء التحليل العددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة واستخدام النموذج المحاكي لتجربة (Raval.R, Dave.U 2012) وفق ما تم شرحه سابقا في الفصل الثالث.

يتضمن هذا الفصل دراسة سلوك الأعمدة البيتونية المسلحة المقواة بالألياف الزجاجية GFRP وغير المقواة وذلك من أجل عدة متغيرات: شكل ومعامل المقطع العرضي – وجود شطفات حادة ومدورة عند زوايا الأعمدة – أماكن توضع الألياف الزجاجية على طول العمود. مع تثبيت باقي العوامل وهي طول العمود ونسبة التسليح وخصائص الألياف الزجاجية المستخدمة.

2-4 أثر تغير شكل المقطع العرضي والنسبة البعدية على سلوك الأعمدة المقواة بالألياف الزجاجية:

The effect of shape and size of the cross section on the behavior of columns strengthening with GFRP

لمعرفة أثر تغير النسبة البعدية للمقطع العرضي على الأعمدة المقواة بالألياف الزجاجية وغير المقواة تم إجراء دراسة تحليلية على النموذج المعتمد وهو عبارة عن عمود بيتوني مسلح بطول L=1000 mm ومساحة مقطعه العرضي Ac=22500 mm^2 مسلح بأربع قضبان بقطر 8 mm بحد سيلان fy=420 MPa وأساور عادية بقطر 6 mm كل 100 mm بحد سيلان fy=240

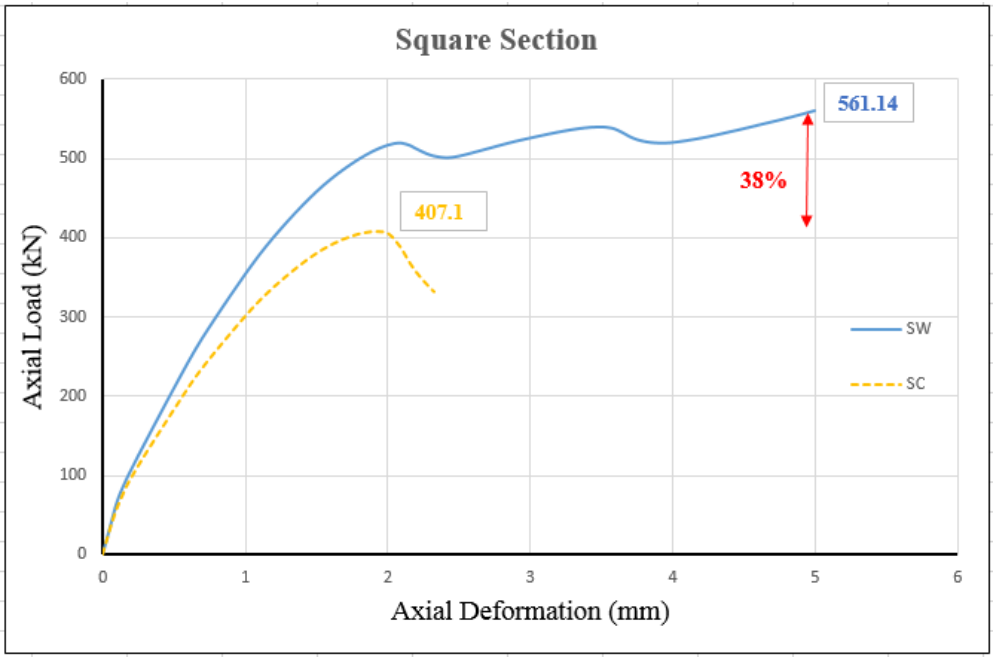
MPa . مقاومة البيتون المستخدم على الضغط f`c=15 MPa وخصائص الألياف الزجاجية المستخدمة: المقاومة الحدية على الشد: 3400 MPa - معامل المرونة: 74500 MPa - التشوه الحدي: 4.3%

تم دراسة المقطع المستطيل بقيمتين للنسبة البعدية: a/b=2, a/b=3 ومقارنة نتائجهما مع المقطع المربع a/b=1 (التي تمت دراسته سابقا) ومن ثم مقارنة النتائج مع عمود بمقطع دائري لمعرفة المقطع الأكثر كفاءة, مع الأخذ بعين الاعتبار أن مساحة المقطع العرضي متساوية في جميع الحالات.

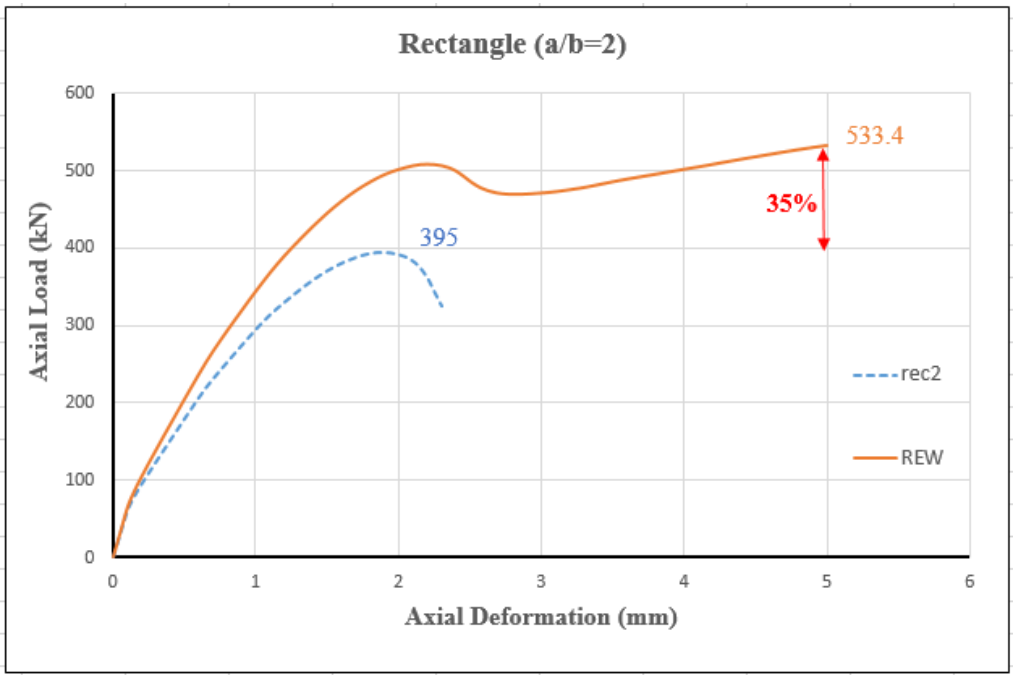
يبين الشكل (4-1) منحني الحمولة – الانتقال للعمود بمقطع مربع (a/b=1) مع وبدون تقوية بالألياف الزجاجية، ونلاحظ أن الزيادة بمقدار الحمولة الأعظمية بعد تغليف العمود بطبقة من الألياف الزجاجية كان حوالي 38%.

يبين الشكل (4-2) منحني الحمولة – الانتقال للعمود بمقطع مستطيل (a/b=2) مع وبدون تقوية بالألياف الزجاجية، ونلاحظ أن الزيادة بمقدار الحمولة الأعظمية بعد تغليف العمود بطبقة من الألياف الزجاجية كان حوالي 35%.

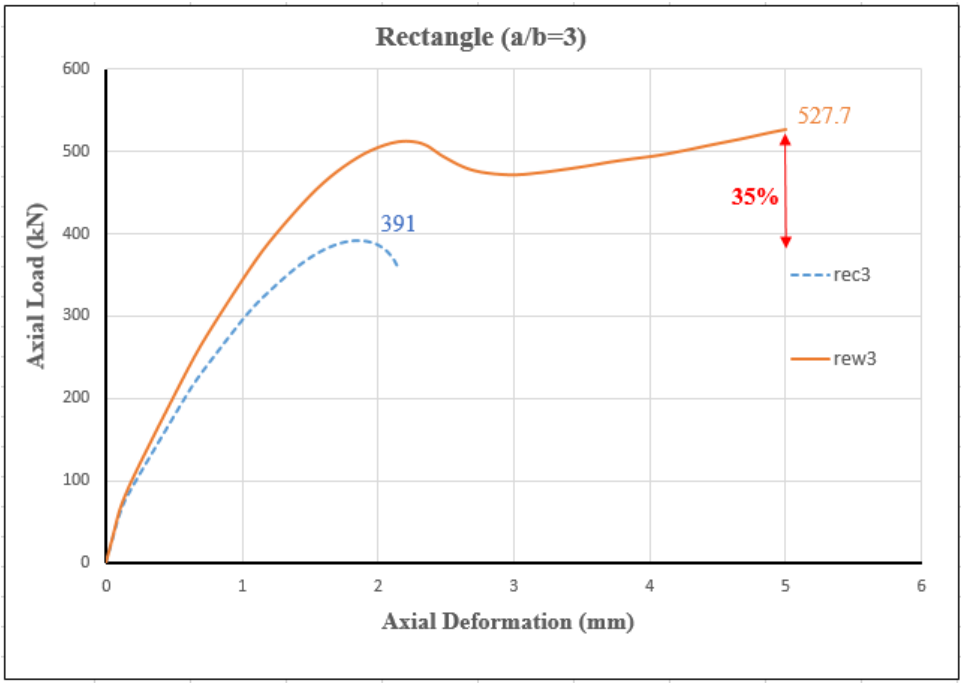
يبين الشكل (4-3) منحني الحمولة – الانتقال للعمود بمقطع مستطيل (a/b=3) مع وبدون تقوية بالألياف الزجاجية، ونلاحظ أن الزيادة بمقدار الحمولة الأعظمية بعد تغليف العمود بطبقة من الألياف الزجاجية كان حوالي 35%.



الشكل (4-1): منحني الحمولة-الانتقال للعمود بمقطع مربع مع وبدون تقوية بالألياف الزجاجية



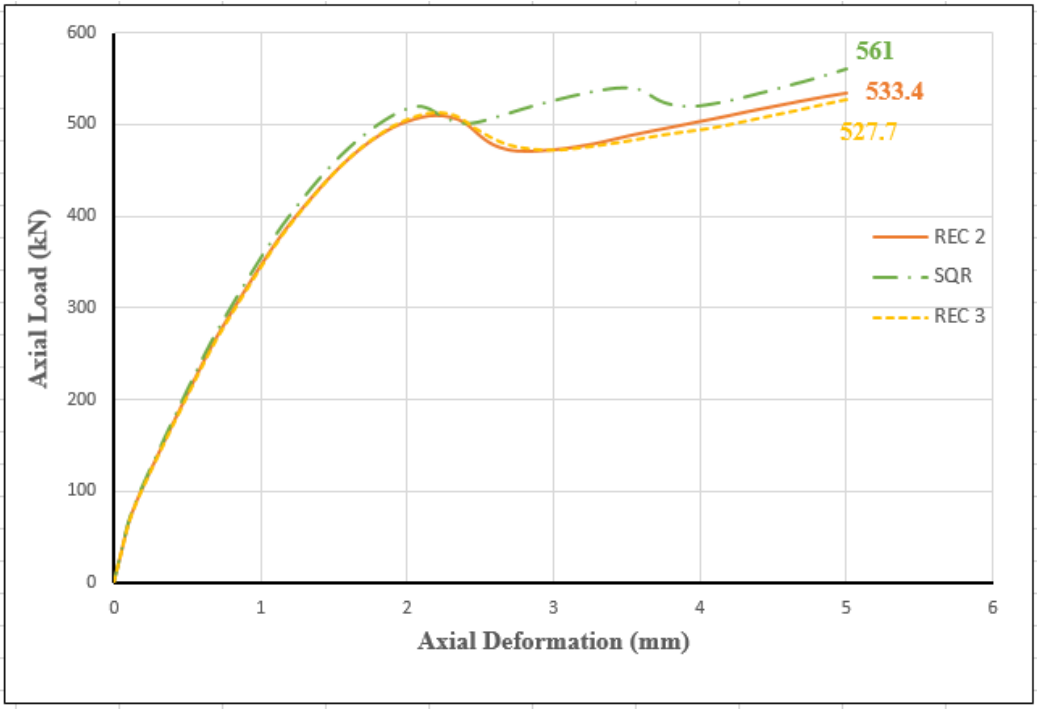
الشكل (4-2): منحني الحمولة-الانتقال للعمود بمقطع مستطيل (a/b=2) مع وبدون تقوية بالألياف الزجاجية



الشكل (4-3): منحني الحمولة-الانتقال للعمود بمقطع مستطيل (a/b=3) مع وبدون تقوية بالألياف الزجاجية

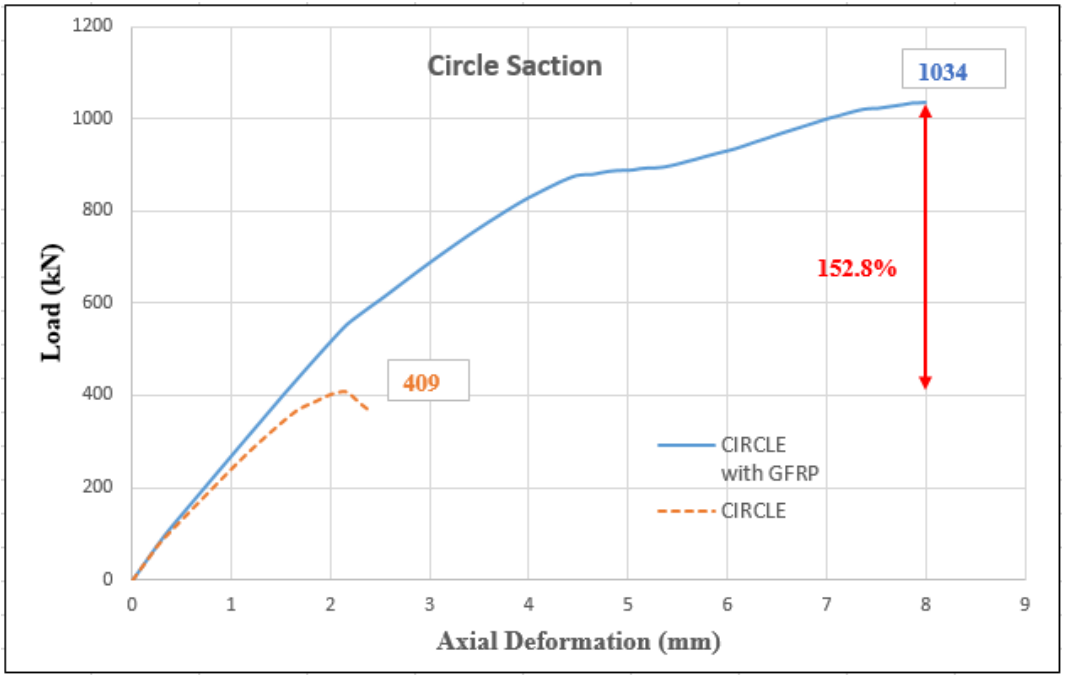
عند مقارنة الأعمدة الثلاثة (المربع a/b=1, والمستطيل a/b=2, والمستطيل a/b=3) المغلفة بطبقة من الألياف الزجاجية حصلنا على الشكل (4-4).

حيث نلاحظ أن الحمولة قد نقصت بمقدار 5.2% عند الانتقال من المقطع المربع إلى المقطع المستطيل (a/b=2) ونقصت بمقدار 1.1% عند الانتقال من المقطع المستطيل (a/b=2) إلى المستطيل (a/b=3) أي بمقدار 6.3% عن المقطع المربع.



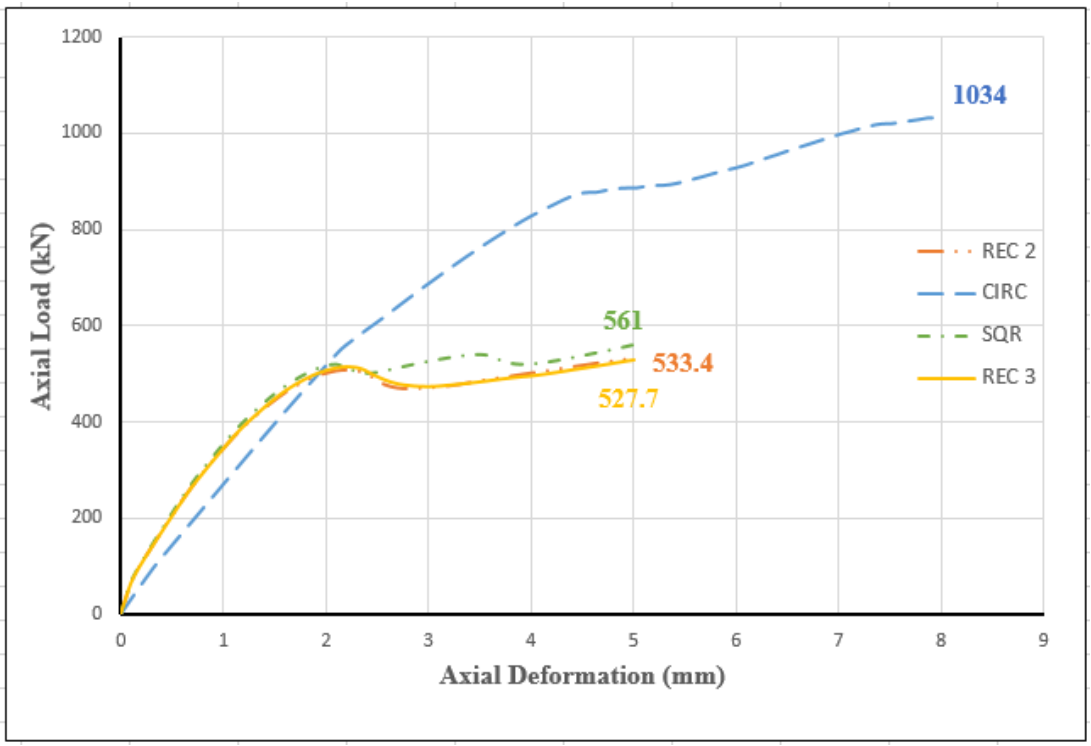
الشكل (4-4): مقارنة بين منحني الحمولة – الانتقال للعمود المربع (a/b=1) والمستطيل (a/b=2 & a/b=3)

يبين الشكل (4-5) منحني الحمولة-الانتقال لعمود دائري مع وبدون تقوية بالألياف الزجاجية، حيث نلاحظ أن مقدار الزيادة في الحمولة بعد التقوية بالألياف كان 152.8%.



الشكل (4-5): منحني الحمولة-الانتقال للعمود بمقطع دائري مع وبدون تقوية بالألياف الزجاجية

وعند مقارنة العمود بمقطع دائري مع الأعمدة ذات المقاطع المستطيلة والمربعة حصلنا على الشكل (6-4).



الشكل (6-4): مقارنة بين منحني الحمولة-الانتقال للعمود بمقطع دائري ومربع ومستطيل

ونلاحظ أن الزيادة في الحمولة للعمود ذو المقطع الدائري المقوى بالألياف الزجاجية كانت 84.3% و 93.8% و 95.9% عند مقارنته بالعمود ذو المقطع المربع (a/b=1) والمقطع المستطيل (a/b=2) والمقطع المستطيل (a/b=3) على الترتيب.

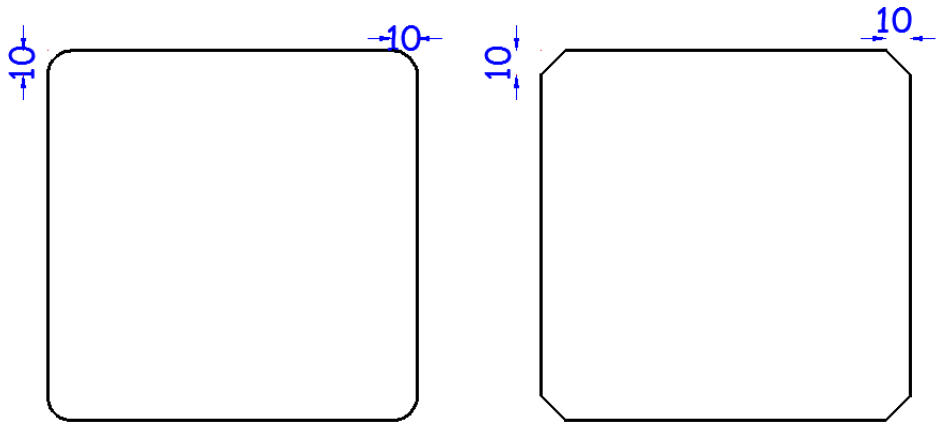
أي أن المقطع الدائري أظهر أكبر زيادة في الحمولة بعد تقويته بالألياف الزجاجية حيث وصلت الزيادة إلى 153% ويمكن تفسير ذلك بأن فعالية الألياف تكون كبيرة لعدم وجود زوايا تتركز عندها الإجهادات (توزع الإجهادات يكون منتظم) بينما كانت الزيادة حوالي 38% للمقطع المربع وتقل الزيادة كلما زادت النسبة البعدية للمقطع العرضي للعمود.

3-4 أثر وجود شطفات وحواف مدورة عند زوايا المقطع العرضي للعمود:

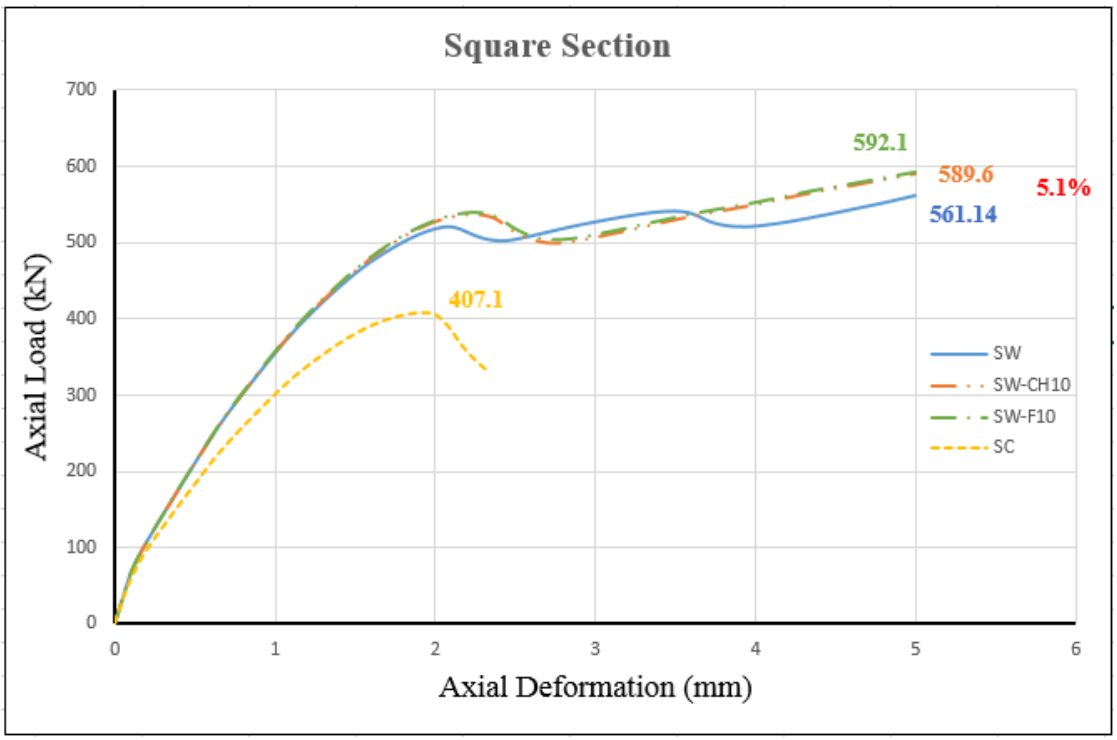
The effect of rounded edges of the cross section of column:

لمعرفة تأثير وجود شطفات حادة ومدورة عند زوايا الأعمدة تم دراسة الأعمدة بوجود شطفات حادة عند الزوايا الأربعة للعمود بمسافة 10 mm وبوجود حواف مدورة بنصف قطر 10 mm وذلك من أجل المقطع المربع والمقطع المستطيل (a/b=2 & a/b=3) (الشكل 4-7).

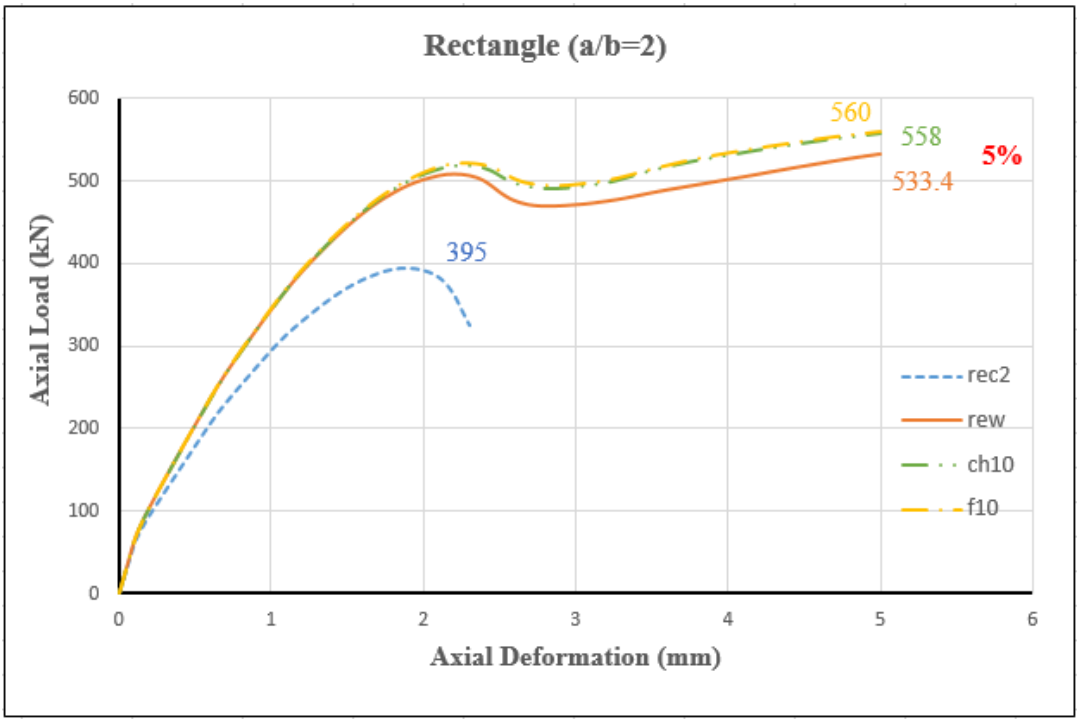
يبين الشكل (4-8) و (4-9) و (4-10) منحني الحمولة – الانتقال للعمود ذو المقطع المربع والمستطيل (a/b=2) والمستطيل (a/b=3) على الترتيب بدون تقوية بالألياف ومع تقوية بالألياف بحواف عادية وبحواف مع شطفة حادة وبحواف مع شطفة مدورة.



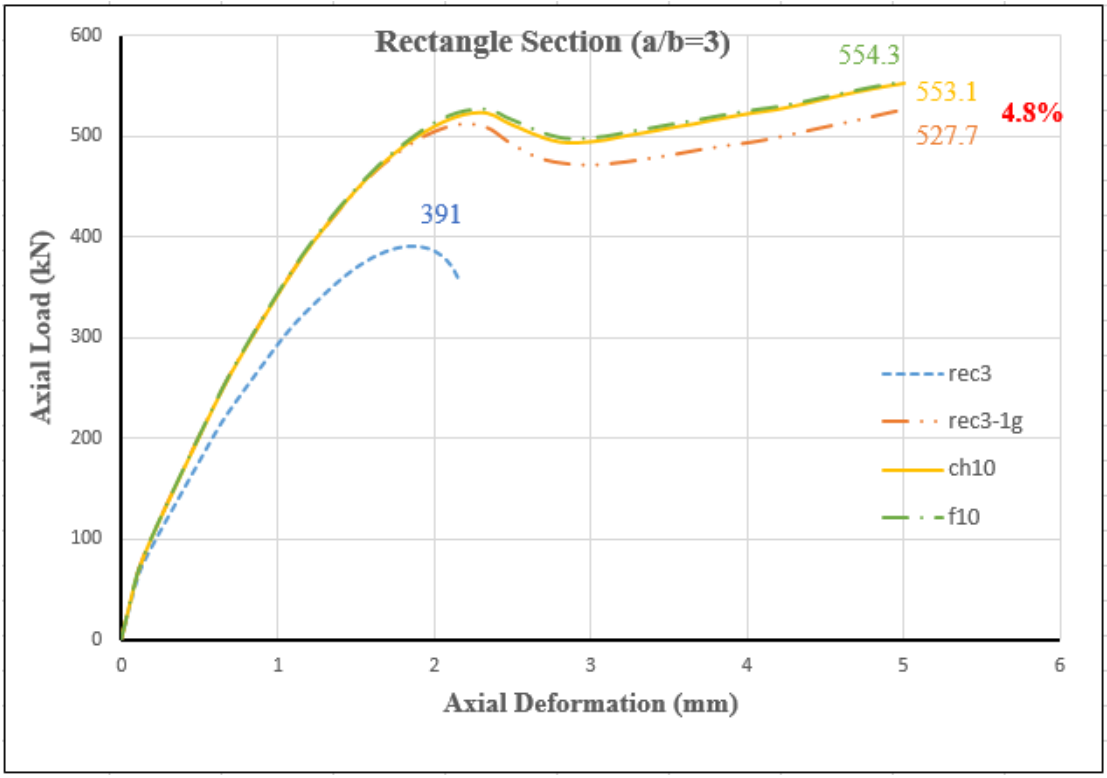
الشكل (4-7): الشطفات الحادة والمدورة عند زوايا المقطع العرضي للأعمدة



الشكل (4-8): منحنيات الحمولة – الانتقال للأعمدة بمقطع مربع بحواف عادية وحواف ذات شطفة حادة وحواف ذات شطفة مدورة



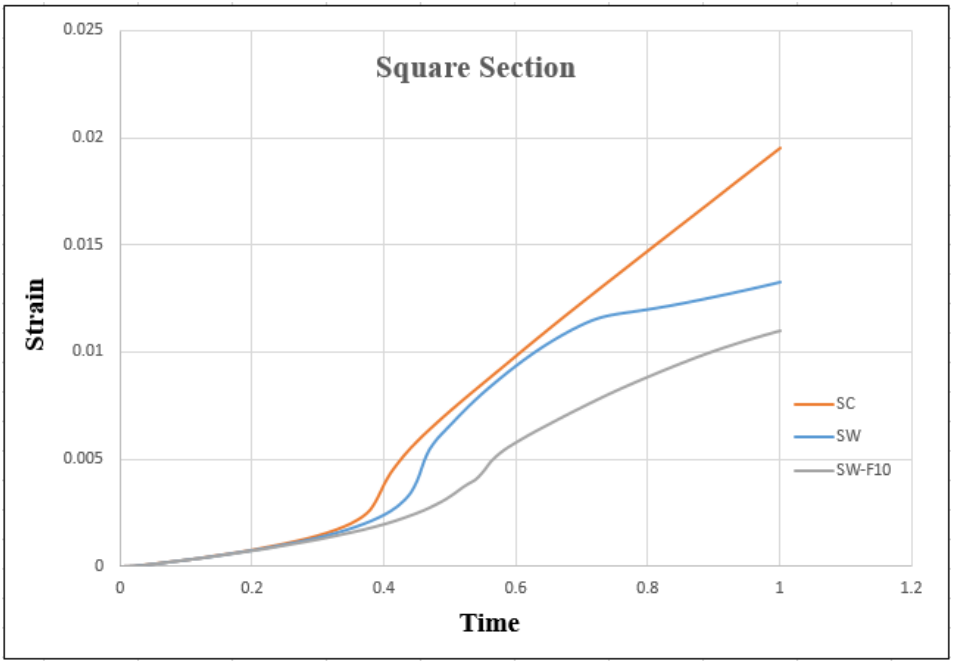
الشكل (4-9): منحنيات الحمولة – الانتقال للأعمدة بمقطع مستطيل (a/b=2) بحواف عادية وحواف ذات شطفة حادة وحواف ذات شطفة مدورة



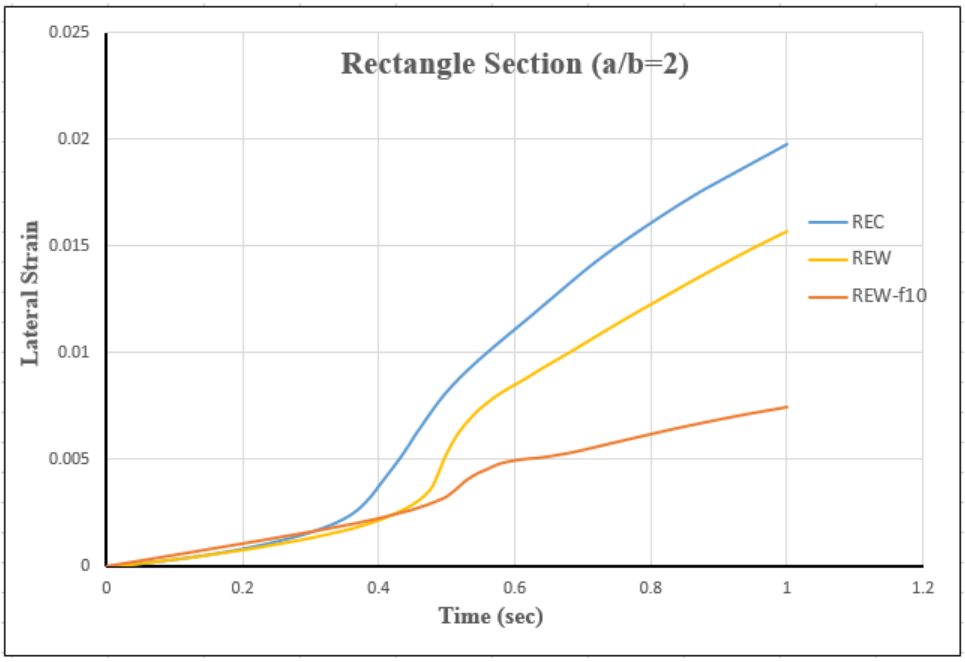
الشكل (4-10): منحنيات الحمولة – الانتقال للأعمدة بمقطع مستطيل (a/b=3) بحواف عادية وحواف ذات شطفة حادة وحواف ذات شطفة مدورة

ونلاحظ عند وجود الشطفات زيادة بمقدار الحمولة العظمى بنسبة 5% عن العمود ذو الحواف العادية ويمكن تفسير ذلك بأن الحواف المدورة تقلل من تركز الإجهادات عند زوايا الأعمدة مما يسبب أداء أفضل لطبقة الألياف الزجاجية.

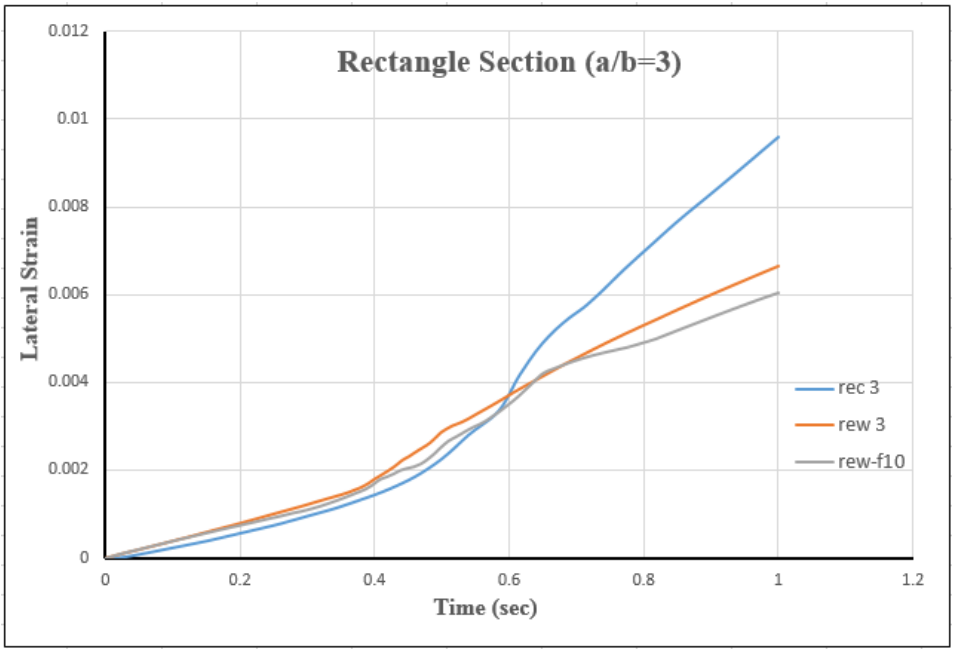
تبين الأشكال (4-11) و (4-12) و (4-13) منحنيات التشوه العرضي للعمود المربع والمستطيل (a/b=2) والمستطيل (a/b=3) على الترتيب.



الشكل (4-11): منحنيات التشوه العرضي للعمود بمقطع مربع لحالة الحواف العادية وذات الشطفة الحادة والشطفة المدورة



الشكل (4-12): منحنيات التشوه العرضي للعمود بمقطع مستطيل (a/b=2) لحالة الحواف العادية وذات الشطفة الحادة والشطفة المدورة



الشكل (4-13): منحنيات التشوه العرضي للعمود بمقطع مستطيل (a/b=3) لحالة الحواف العادية وذات الشطفة الحادة والشطفة المدورة

حيث نلاحظ أن أكبر قيمة للتشوه العرضي تكون من أجل الأعمدة ذات الحواف العادية والغير مغلفة بالألياف وتقل قيمة التشوه بعد تغليف العمود بطبقة الألياف الزجاجية وتقل أكثر عند تحويل حواف العمود إلى حواف مدورة.

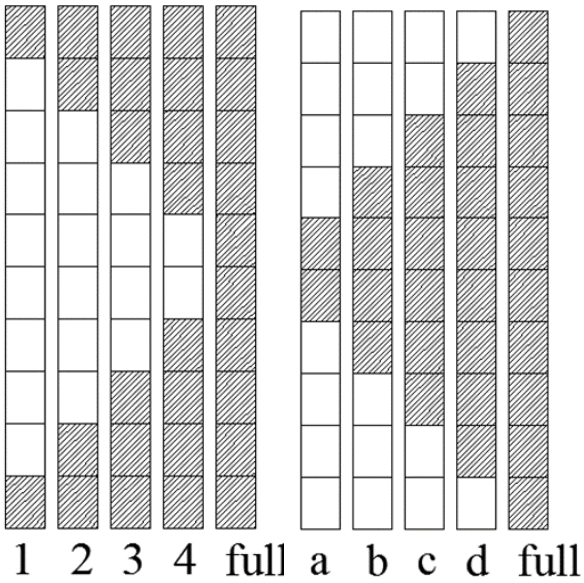
4-4 أماكن توضع طبقة الألياف الزجاجية على طول العمود المربع:

The places of GFRP layer on the length of square column:

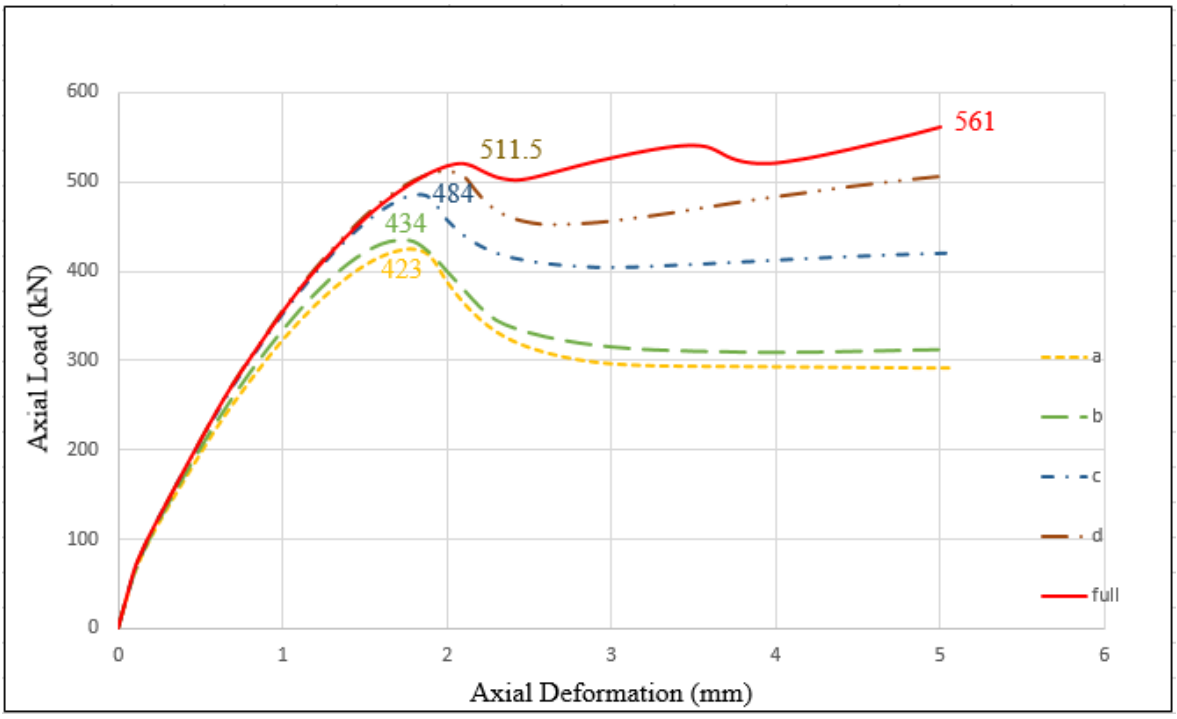
لمعرفة تأثير أماكن توضع طبقة الألياف الزجاجية على طول العمود على قيمة الحمولة الأعظمية تم دراسة عدة حالات لتوضع طبقة الألياف وهي مبينة في الشكل (4-14) وتم إجراء التحليل لكل حالة من الحالات وذلك من أجل العمود بمقطع مربع (a/b=1).

يبين الشكل (4-15) منحنيات الحمولة - الانتقال لحالات الأعمدة (a,b,c,d,full) المبينة في الشكل (4-14) حيث الحالة a تكون الألياف متوضعة في المنطقة الوسطى للعمود على مسافة 20 cm ثم تزداد بشكل تدريجي باتجاه الأطراف حتى نصل إلى حالة التغليف الكامل للعمود (full).

ونلاحظ أن الحمولة الأعظمية تزداد بشكل تدريجي من الحالة a إلى حالة التغليف الكامل (full) , حيث كان الفرق لكل من الحالات a, b, c, d هو 9.7% , 15.9% , 29.3% , 32.6% عند مقارنتها مع حالة التغليف الكامل (full) على الترتيب.



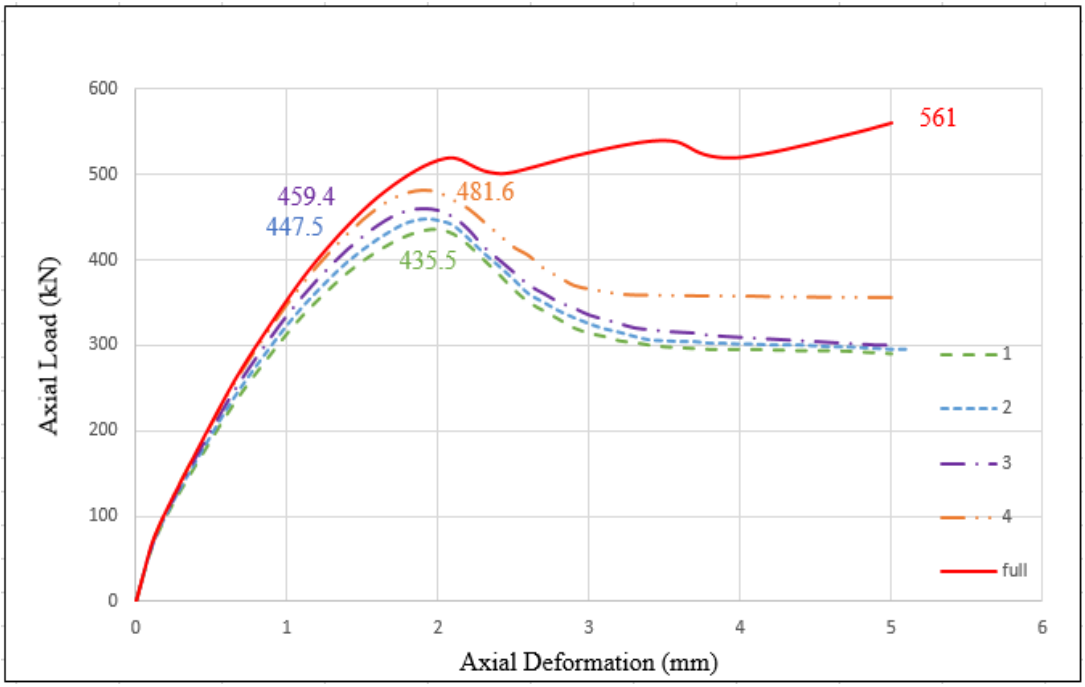
الشكل (4-14): حالات أماكن توضع الألياف الزجاجية على طول العمود المربع



الشكل (4-15): منحنيات الحمولة – الانتقال لحالات الأعمدة (a,b,c,d,full) وفق الدراسة التحليلية

يبين الشكل (4-16) منحنيات الحمولة - الانتقال لحالات الأعمدة (1,2,3,4,full) المبينة في الشكل (4-14) السابق حيث الحالة 1 تكون الألياف متوضعة عند أطراف العمود على مسافة 10 cm عند كل طرف ثم تزداد بشكل تدريجي باتجاه المنتصف حتى نصل إلى حالة التغليف الكامل للعمود (full).

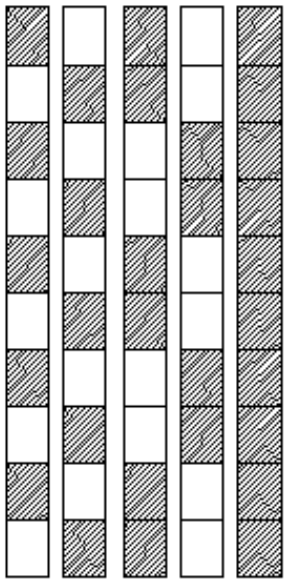
ونلاحظ أن الحمولة الأعظمية تزداد بشكل تدريجي من الحالة 1 إلى حالة التغليف الكامل (full) , حيث كان الفرق لكل من الحالات 1, 2, 3, 4 هو 16.5% , 22.1% , 25.4% , 28.8% عند مقارنتها مع حالة التغليف الكامل (full) على الترتيب.



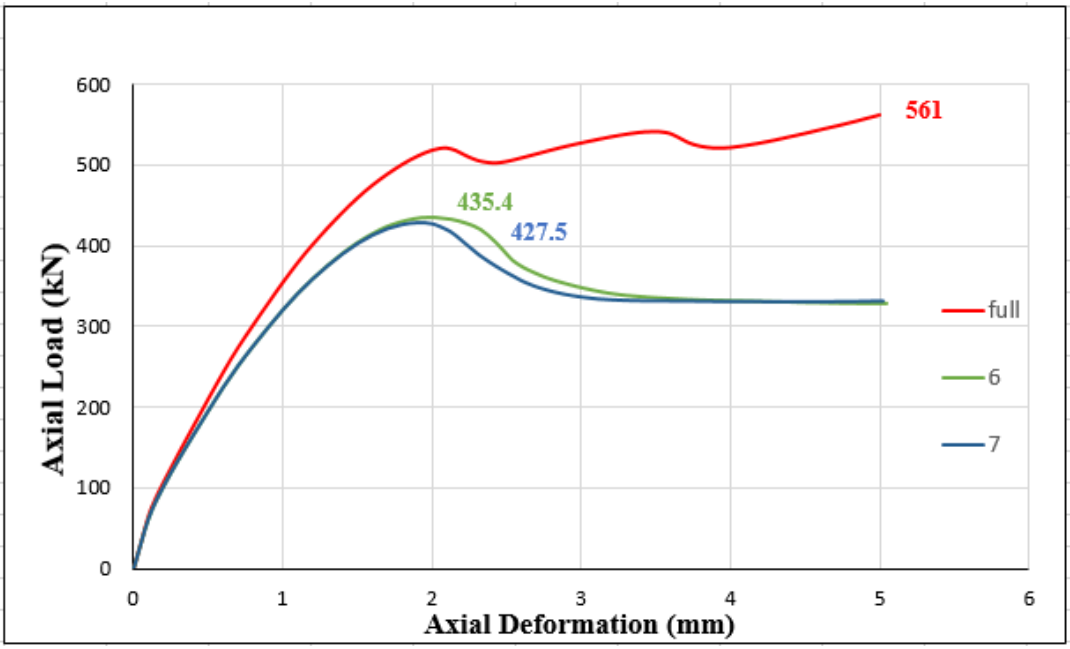
الشكل (4-16): منحنيات الحمولة – الانتقال لحالات الأعمدة (1,2,3,4,full)

يبين الشكل (4-17) حالات أخرى لأماكن توضع الألياف على طول العمود حيث الحالة (6-7) تكون الألياف متوضعة بالتناوب على طول العمود كل 10 mm , والحالة (8-9) تكون الألياف متوضعة بالتناوب كل 20 mm.

يبين الشكل (4-18) منحنيات الحمولة - الانتقال لحالات الأعمدة (6,7,full) المبينة في الشكل (4-16) حيث نلاحظ أن الفرق في الحمولة الأعظمية للحالة (6-7) هو 28.8% و 31.23% على الترتيب عند مقارنتها مع العمود المغلف بشكل كامل.

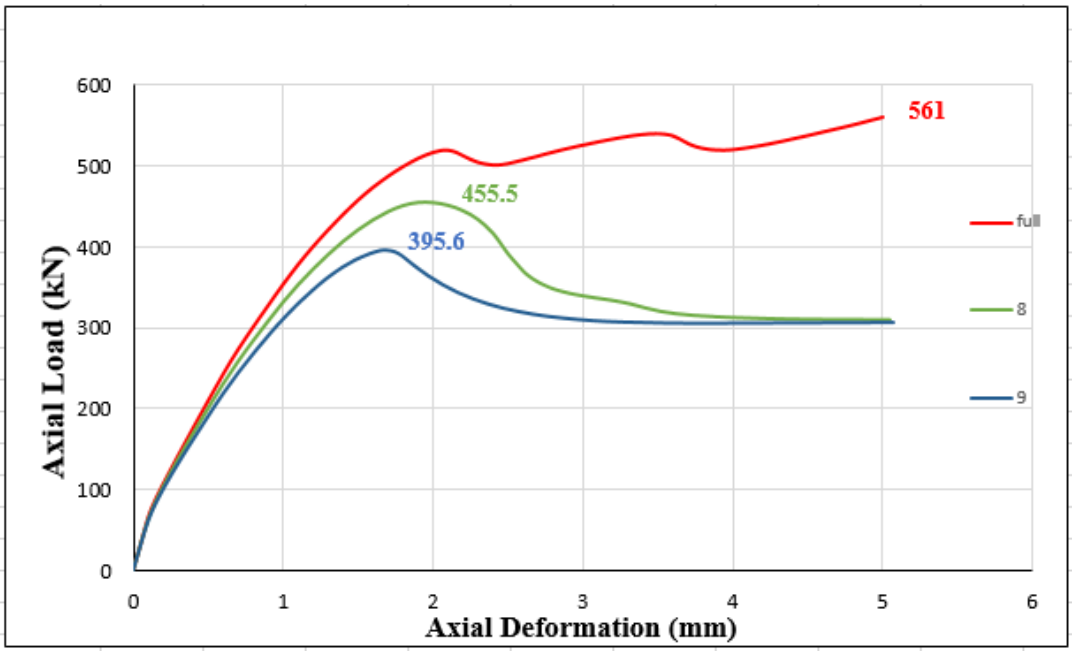


الشكل (4-17): حالات أماكن توضع الألياف الزجاجية على طول العمود المربع



الشكل (4-18): منحنيات الحمولة – الانتقال لحالات الأعمدة (6,7,full)

يبين الشكل (4-19) منحنيات الحمولة - الانتقال لحالات الأعمدة (6,7,full) المبينة في الشكل (4-16) حيث نلاحظ أن الفرق في الحمولة الأعظمية للحالة (8-9) هو 23.16% و 41.8% على الترتيب عند مقارنتها مع العمود المغلف بشكل كامل.



الشكل (4-19): منحنيات الحمولة – الانتقال لحالات الأعمدة (8,9,full)

وبالتالي يمكن اختيار الحالة المناسبة للتغليف بالألياف لنتمكن من زيادة قدرة تحمل العمود بنسبة معينة حسب الحاجة مما يساهم في توفير الوقت والكلفة.

5-4 خلاصة الفصل الرابع: Chapter 4 Conclusion

تم في هذا الفصل إجراء دراسة تحليلية بطريقة العناصر المحدودة على أعمدة مقواة وغير مقواة بالألياف الزجاجية GFRP بمقاطع عرضية مختلفة، وتبين أن أكبر زيادة في الحمولة الأعظمية بعد التقوية بالألياف الزجاجية تكون من أجل المقطع الدائري ثم المربع ثم المستطيل وتتناقص فعالية الألياف مع زيادة قيمة معامل المقطع العرضي، ثم تم إجراء التحليل على أعمدة مقواة بالألياف الزجاجية بمقاطع عرضية مربعة ومستطيلة ذات حواف حادة ومدورة وتبين أن فعالية الألياف تتحسن عند تدوير الحواف, أخيراً تم إجراء تحليل على أعمدة مقواة بالألياف الزجاجية لعدة حالات لأماكن توضع الألياف على طول العمود وحصلنا على عدة نسب للزيادة في الحمولة الأعظمية حسب كل حالة وبذلك نستطيع اختيار الحالة المناسبة والتوفير في الكلفة.

وعليه تم تلخيص النتائج التي تم التوصل إليها في ضوء هذه الدراسة في الفصل التالي مع بعض التوصيات المتعلقة بموضوع متابعة البحث.

الفصل الخامس

النتائج والتوصيات

Conclusions and Recommendations

1-5 النتائج: Conclusions

تم في هذا البحث دراسة تأثير تقوية الأعمدة البيتونية المسلحة بالألياف الزجاجية حيث تمت الدراسة باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM) واعتماد التحليلي اللاخطي (Non-Linear Analysis) الذي يأخذ بعين الاعتبار لا خطية المادة.

تم دراسة سلوك الأعمدة البيتونية المسلحة المدعمة بالألياف الزجاجية GFRP وغير المدعمة بطول 1m من أجل عدة متغيرات، حيث تم دراسة المقطع العرضي المربع (a/b=1) والمقطع العرضي المستطيل بقيمتين لمعامل المقطع العرضي (a/b=3 , a/b=2) والمقطع الدائري وإيجاد مقدار الزيادة في الحمولة الأعظمية لكل حالة بعد تدعيم العمود بطبقة من الألياف الزجاجية, ثم تم مقارنة الحالات السابقة مع بعضها لمعرفة المقطع الأكثر كفاءة مع العلم أن مساحة المقطع العرضي متساوية في جميع الحالات. تم أيضاً دراسة الأعمدة ذات المقاطع المربعة والمستطيلة بوجود شطفات حادة ومدورة عند الزوايا لمعرفة أثر ذلك في تحسين أداء الألياف الزجاجية، وأخيرا تم دراسة عدة حالات لأماكن توضع الألياف الزجاجية على طول العمود ذو المقطع المربع.

ونبين فيما يلي النتائج التي تم التوصل إليها في نهاية هذا البحث:

1- يبدي العمود البيتوني بمقطع دائري أكبر زيادة في الحمولة الأعظمية بعد تقويته بالألياف الزجاجية GFRP حيث وصلت إلى 152% بينما تقل الزيادة من أجل المقطع المربع حيث بلغت 38% والسبب في ذلك أن الحواف الحادة للمقطع المربع تؤدي إلى تركز في الإجهادات أي أن توزع الإجهادات لا يكون منتظم بعكس المقطع الدائري حيث تكون الإجهادات منتظمة وبالتالي فعالية أكبر لطبقة الألياف.

2- تقل الزيادة في الحمولة الأعظمية مع زيادة النسبة البعدية للمقطع العرضي من أجل المقاطع المستطيلة بعد تقويتها بالألياف الزجاجية.

3- عند تحويل زوايا المقاطع العرضية المربعة والمستطيلة إلى حواف ذات شطفات حادة ومدورة تزيد فعالية الألياف وتزيد الحمولة بمقدار 5% وتقل التشوهات العرضية لأن تدوير الحواف يقلل من تركز الإجهادات وبالتالي تزيد من فعالية الألياف.

4- أعطت دراسة عدة حالات لأماكن توضع الألياف على طول العمود نسب معينة للزيادة في الحمولة الأعظمية وباختيار الحالة المناسبة يمكن التوفير في الكلفة.

2-5 التوصيات: Recommendation

1. تغيير نسبة التسليح في الأعمدة وطول العمود.
2. تقوية الأعمدة بأنواع أخرى للألياف مثل الألياف الكربونية.
3. تغيير في خصائص الألياف الزجاجية المستخدمة في هذا البحث.
4. أثر وجود عدة طبقات للألياف.

References المراجع

[1] ABAQUS Version 6.12 (2012). "**ABAQUS/Standard User's Manual**".ABAQUS Inc. USA.

[2] Anna Bösche geb. Martius (2007). "**Flexural Strengthening of Concrete- and Reinforced Concrete - Structures by textile Reinforcement - Basics for a calculation model**". Technischen Universität Dresden.

[3] Bagherpour.S (2012). **"Fiber Reinforced Polyster Composite".** In Saleh H.E.M Editor "Polyester", InTesh, Croatia, pp:167-198.

[4] Batikha M (2008). **'Strengthening of thin metallic cylindrical shells using fiber reinforced polymer'**. *Ph.D.Thesis*, Edinburgh, Scotland, UK.

[5] Balamurugan.R, Jayanthi.S, Thirugnanam.G.S (2012). **"Experimental Investigation of Load Carrying Capacity of the Reinforced Concrete Columns Wrapped with GFRP".** European Journal of Scientific Research. ISSN 1450-216X Vol. 90 No 4 November, 2012, pp.569-574.

[6] Benzaid.R , Chikh.N and Mesbah.H (2008). "**Study of the Compressive Behavior of Short Concrete Columns Confined by Fiber Reinforced Composite**". The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 34, Number 1B ,2009 (Pages: 15-26).

[7] BS EN 1992-1 **Eurocode 2, "Design of concrete structures", Part 1-1**: General rules and rules for buildings.

[8] **CEB-FEB (2010)**, **(Model Code)**. First Complete Draft, Volume 1, FIB – International Federation for Structural Concrete, 1-292.

[9] Cole.C, Belarbi.A. (2001). **"FRP Jacketed Reinforced Concrete Columns".** University of Missouri – Rolla.

[10] Irwan R, Rahman A (2002). **"FRP STRENGTHENING OF CONCRETE STRUCTURES – DESIGN CONSTRAINTS AND PRACTICAL EFFECTS ON CONSTRUCTION DETAILING"** *BBR Systems Ltd, Zurich.*

[11] JIANG.T (2008). **"FRP Confined RC Columns: Analysis, Behavior, and Design"**. PHD thesis, the Hong Kong polytechnic university.

[12] Kumutha.R , Vaidyanathan.R and Palanichamy.M.S (2007). "**Behaviour of reinforced concrete rectangular columns strengthened using GFRP**". Cement & Concrete Composites 29 (2007) 609–615, science direct.

[13] Raval.R , Dave.U (2013). **"Behavior of GFRP Wrapped RC Columns of Different Shapes"**. Chemical, Civil and Mechanical tracks of the 3rd Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE 2012), India.

[14] Rai G.L (2000). **'Different Strengthening Techniques for RC Columns'.** R&M International Pvt. Ltd.

[15] Ricamato.M (2007). **"Numerical and Experimental Analysis of masonry arches strengthened with FRP materials"** PH.D.Thesis, University of Casino,Italy.

[16] Saravanan.J, Suguna.K and Raghunath.P.N.R (2012). "**Strength and Ductility of High Strength Concrete Columns with Glass Fiber Reinforced Polymer Wraps**". Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing) VOL.13, NO.5, 2012 (Pages:585-595).

[17] Teng. J.G, Chen .J.F, Smith .S.T, Lam .L (2002). "**FRP-Strenthened RC Structure**". John Wiely & Sons,LTD (Pages: 195-200).

[18] Williams.B.K (2004) **"An Introduction of FRP Strengthening of Concrete Structures"**. Department of civil engineering, Queen's university, Canada.

مواقع انترنت:

[19] http://www.wemasonry.com/thumb/photo69.html

[20]http://www.columnsandbalustrades.com/StainGrade-Wood-Columns.aspx

[21] http://www.whirlwindsteel.com/pub/Building-Types

[22] http://www.gharexpert.com/articles/Cement-Concrete-1644/Column-Frame-Structure-Building_0.aspx

[23] http://www.we-inter.com/Conceptual-Design-for-a-Precast-Concrete-Hotel-in-Iraq.aspx

ABSTRACT

Columns are the most important members in buildings and may need strengthening for many reasons. Recently, Fiber Reinforced polymer FRP were used to strengthening columns instead of traditional methods because of its properties.

The objective of this research is study the behavior of reinforced concrete columns strengthened with GFRP and compare them with traditional reinforced concrete columns for many shapes of cross sections, and study the effect of rounded edges for rectangular and square cross sections, finally the places of FRP layer on the length of column were studied for several cases.

Finite element method FEM is used in this research and non-linear analysis is taken into account.

This study shows that the circular cross section is the most effective than square and rectangular cross sections after strengthening with GFRP, and the performance of GFRP layer improves after rounded the edges of cross sections, also several percentages of the increase of the maximum load is obtained according with the places of FRP layer on the length of columns.

Damascus University

Faculty of Civil Engineering

Department of Structural Engineering

"Study the Effect of Strengthening Concrete Columns by Glass Fiber Reinforced polymer GFRP"

Thesis Submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Structural Engineering

Prepared By

Eng. MHD Hossam Al Malik

Supervised By

Dr.Eng. Haytham Zarzour

Damascus - 2015