



جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

**تقوية الأعمدة الخرسانية المربعة باستخدام شرائح الـ *GFRP-CFRP*  
تحت تأثير الحمولات المحورية والمقارنة بينها**

Strengthening of square RC columns using GFRP and CFRP Wraps under  
axial loads and comparing between them

إعداد:

م. رثام حلاوة

المشرف المشارك :

د. أمجد حلواني

المشرف :

أ.د. رياض العيسى

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

## تقوية الأعمدة الخرسانية المربعة باستخدام شرائح الـ GFRP-CFRP تحت تأثير الحمولات المحورية والمقارنة بينها

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

إعداد :

المهندسة رثام حلاوة

إشراف :

أ.د. رياض العيسى

المشرف المشارك :

د. أمجد حلواني

العام الدراسي

2018

لجنة الحكم السادة الأستاذة :

كلية الهندسة المدنية	الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية	أ.د. رياض العيسى
عضوا "مشرفا"	الاختصاص: مقاومة المواد	جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية	الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية	د. مروان البشير
عضوا"	الاختصاص : حساب إنشآت	جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية	الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية	د. طلال شرف
عضوا"	الاختصاص : خرسانة مسلحة	جامعة دمشق

## موجز البحث

### overview

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

وقد تم في هذا البحث دراسة مقارنة بين تقوية الأعمدة الخرسانية المربعة باستخدام مادتي الـ CFRP و GFRP تحت تأثير الحمولات المحورية من حيث قدرة التحمل والمطاوعة عن طريق تغليفها بطريقة الـ Sandwich (وجود صفيحة أكرليك ) أو Regular (عدم وجود صفيحة أكرليك ) وذلك بإجراء تحليل عددي وفق طريقة العناصر المحدودة ( Finite Element Method FEM ) وإجراء التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لا خطية المادة

كما يهدف هذا البحث إلى دراسة تغير سماكة صفيحة الأكرليك في العينات الكربونية المغلفة بطريقة الساندويش إضافة إلى تغير عدد طبقات الـ FRP للشريحة الواحدة وأيضاً استخدام خليط من شرائح الـ CFRP و GFRP معاً وأخيراً تثبيت كمية الـ FRP مع وبدون الأكرليك مع تغير نسبة التغطية ودراسة أثرها على المطاوعة وقدرة التحمل

## الإهداء

لا يسعني في هذه اللحظات إلا ان أعبر عن جزيل الشكر والعرفان وأتوجه بخالص الامتنان إلى من أشرف على هذا العمل , فكان لي خير داعم وخير سند وكان منهل علم لا يبخل ولا ينضب متمنية أن يكون هذا العمل من الأعمال التي يفخر بالاشراف عليها

### الأستاذ الدكتور رياض العيسى

إلى من كان لي خير مرشد وخير ناصح فكان عطاؤه بلا حدود إلى من أشكره من كل قلبي

### الدكتور أمجد حلواني

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 ..... إلى الذي اعتبره قدوتي في هذه الحياة

### أبي العزيز

إلى القلب الحنون واليد الدافئة..... إلى من أعطتني من روحها وعمرها حباً وتضحيةً لمستقبل جميل .....إلى من كانت لي خير عون ..... إلى اغلى الناس

### أمي الغالية

إلى من سكنت قلبي وسكنت قلبها ..... إلى عين ارتقتني بأمل منذ الطفولة ..... إلى رفيقة طفولتي ودرربي .... إلى من كانت بكلماتها خير داعم .... إلى قلب يفيض بالحنان والدفء والطيبة

### أختي ليال

إلى من قاسموني هموم حياتي فكانوا لي خير عونٍ في عثراتي .... إلى من أرى نجاحي ومستقبلي بأعينهم

### إخوتي تمام وهمام

إلى من نقشته الأقدار لي فكان في قلبي وفي روحي إلى من حفرت اسمه في عقلي وفي عروقي ....إلى صديقي و رفيق دربي .... إلى من كانت كلماته حكمةً وموعظةً لي

### شريك عمري

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

أصدقائي ( مارتينا – شذى – ولاء – مادلين – نغم – هناء – سلمان – بسمة – أسامة- راما - رنا – محمود – محمد )

إلى زميلي وصديقي الذي ساهم في الوصول إلى ما وصلت إليه الآن ... إلى من شجعني في رحلتي ... إلى الذي تعلمت منه الكثير فكان لي خير داعم ومعلم

### المهندس أحمد الخطيب

وفي النهاية كل الشكر لمن ساعدني في إنجاز هذا العمل ... وكل من وقف جانبي ... وكل من أعطاني دون مقابل .... ولأناس كثير كانوا حولي..... لا تكفي صفحات إهدائي لأذكرهم ولكن لكل منهم بصمة لن أنساها .

## فهرس المحتويات

### Contents

I .....	فهرس المحتويات
IV.....	فهرس الأشكال
XII .....	فهرس الجداول
XIII.....	الرموز المستخدمة
XIX.....	قائمة المختصرات
3.....	الفصل الأول
3.....	مقدمة (Introduction)
4.....	1-1- مقدمة عن الأعمدة
5.....	2-1- لمحة عن أشكال التقوية في الأعمدة
6.....	3-1- بعض مزايا مركبات الـ FRP
6.....	4-1- محاسن استخدام مركبات الـ FRP في تقوية الأعمدة
7.....	5-1- هدف البحث
7.....	6-1- طرائق البحث
7.....	7-1- محتويات الأطروحة
9 .....	الفصل الثاني
9.....	الدراسة المرجعية Literature Review
10.....	1-2- مقدمة
10.....	2-2- تعريف بمادة الـ FRP وخصائصها
11.....	3-2- مقدمة عن مادة الـ FRP (Fiber Reinforced Polymer)
13.....	4-2- مقدمة عن الـ CFRP
14.....	5-2- مقدمة عن الـ GFRP
14.....	6-2- استخدام مادة الـ FRP في تقوية الأعمدة البيتونية

- 16.....7-2- الخواص الميكانيكية
- 16.....1-7-2- مادة البيتون المسلح ومكوناتها
- 18.....2-7-2- الخواص الميكانيكية للبيتون
- 18.....1-2-7-2- مقاومة البيتون على الضغط
- 19.....2-2-7-2- مقاومة البيتون على الشد
- 20.....8-2- المراجعة البحثية

### 33..... الفصل الثالث

### 34..... التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

#### Method Structural Analysis Using Finite Element

- 34.....1-3- المقدمة
- 34.....2-3- العناصر المستخدمة في النمذجة باستخدام برنامج Abaqus
- 34.....1-2-3- العنصر المحدود (C3D8R) solid Element
- 35.....2-2-3- العنصر المحدود (S4R) Shell Element
- 35.....3-2-3: العنصر المحدود (T3D2) truss Element
- 35.....3-3- نوع التحليل المستخدم في النموذج
- 36.....4-3- الشروط المحيطة للنموذج المدروس
- 37.....5-3- توصيف المواد المستخدمة في النمذجة
- 42.....6-3- التحقق من النماذج و مقارنة النتائج التحليلية
- 42.....1-6-3: حالة عمود خرساني بدون الـ FRP
- 43.....2-6-3: مقارنة بين عمودين خرسانيين تمت تقويتهم بمادة الـ GFRP وتم التغليف بدون صفيحة الأكريليك مع اختلاف نسبة التغطية
- 43.....3-6-3: حالة مقارنة بين عمودين خرسانيين تمت تقويتهم بمادة الـ GFRP وكلاهما بنسبة تغطية واحدة (100%) مع اختلاف طريقة التغليف
- 44.....4-6-3: حالة مقارنة بين عمودين خرسانيين تمت تقويتهم بمادة الـ GFRP وكلاهما بنسبة تغطية 50% مع اختلاف طريقة التغليف
- 45.....5-6-3: حالة مقارنة بين عمودين خرسانيين تمت تقويتهم بمادة الـ CFRP وكلاهما بنسبة تغطية واحدة 100% مع اختلاف طريقة التغليف

6-6-3 : حالة مقارنة بين عمودين خرسانيين مقويين بمادة الـ GFRP كلاهما بنسبة تغطية 50% مع اختلاف طريقة التغليف ..... 45

47.....**الفصل الرابع**

47.....**الدراسة البارامترية Parametric study**

48..... 1-4 - مقدمة ( introduction )

48..... 1-1-4- دراسة أثر تغير سماكة صفيحة الأكرليك

48..... 1-1-1-4- العينة الجزئية الكربونية

49..... 2-1-1-4- العينة الكلية الكربونية

50..... 2-1-4- تغير عدد طبقات الـ FRP للشريحة الواحدة

50..... 1-2-1-4- العينة الجزئية الكربونية

50..... 2-2-1-4- العينة الكربونية الكلية

51..... 3-1-4- استخدام شرائح الـ CFRP و GFRP معا

52..... 4-1-4- دراسة أثر تثبيت كمية الـ FRP والأكرليك مع تغير نسبة التغطية

1-4-1-4- دراسة مقارنة بين العينات التالية C-S-6-10 , C-S-6-00 , ومكافئاتها من العينات

52..... C-F-3-05 , C-F-3-00

2-4-1-4- دراسة مقارنة بين العينات التالية C-S-4-10 , C-S-4-00 , ومكافئاتها من العينات

53..... C-F-2-00 C-F-2-05

45.....**الفصل الخامس**

45.....**النتائج والتوصيات لأعمال مستقبلية**

## **Results and Recommendations for future works**

55..... 1-5- النتائج

56..... 2-5- التوصيات لأعمال مستقبلية

## فهرس الأشكال

### Figures list

- الشكل (1-1): صور لبعض مقاطع الأعمدة المستطيلة والدائرية  
4 ..... (<https://www.google.com/search>)
- الشكل (2-1): صور لبعض مقاطع الأعمدة بشكل حرف T وزاوية  
5 ..... (<https://www.google.com/search>)
- الشكل (1-2): أنواع البوليميرات المدعمة بالألياف  
11 ..... [ Almalik ,M.,(2015)]
- الشكل (2-2): الأشكال الشائعة لتوزيع الألياف ضمن مادة الـ FRP  
12 ..... [Almalik,M.,(2015)]
- الشكل (3-2): منحنى الإجهاد – التشوه النسبي لمادة الألياف وللمادة الرابطة ولمادة الـ FRP  
13 ..... [Almalik,M.,(2015)]
- الشكل (4-2): ميكانيكية التطويق للأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام مادة الـ FRP  
14 ..... [Almalik ,M.,(2015)]
- الشكل (5-2): مقارنة بين منحنيات الإجهاد – التشوه المحوري لأعمدة بيتونية مدعمة بالـ FRP وأخرى غير مدعمة [ Almalik ,M.,(2015 )]  
15 ..... [Almalik ,M.,(2015 )]
- الشكل (6-2): منحنى الإجهاد – التشوه النسبي لفولاذ التسليح وفق الكود الأوروبي  
17 ..... [Almalik ,M.,(2015 )]
- الشكل (7-2): العلاقة بين الإجهاد – التشوه النسبي للبيتون على الضغط  
19 ..... [BS EN 1992-1-1, (2004)]
- الشكل (8-2): قدرة تحمل الأعمدة المستخدمة [ Raval and Dave ,2012]  
20 ..... [ Raval and Dave ,2012]
- الشكل (9-2): التشوه النسبي للأعمدة المستخدمة [ Raval and Dave ,2012]  
21 ..... [ Raval and Dave ,2012]
- الشكل (10-2): نسبة التغطية في الأعمدة [ Mahmoud et al , ,2004 ]  
26 ..... [ Mahmoud et al , ,2004 ]
- الشكل (11-2): أبعاد وتسليح العمود المستخدم , [ Mahmoud et al ,2004 ]  
27 ..... [ Mahmoud et al ,2004 ]
- الشكل (12-2): عمود مقوى بشرائح الـ CFRP - (C-F-2-10) [ Mahmoud et al ,2004 ]  
28 ..... [ Mahmoud et al ,2004 ]

- الشكل (2-13) : عمود مقوى بشرائح CFRP - (C-F-2-00) , [ Mahmoud et al ,2004 ] ..... 28
- الشكل (2-14) : تقوية مقاطع الأعمدة مع وبدون صفيحة الأكرليك , [ Mahmoud et al ,2004 ] ..... 29
- الشكل (2-15) : قدرة تحمل الأعمدة , [ Mahmoud et al ,2004 ] ..... 29
- الشكل (2-16) : قدرة تحمل الأعمدة المقواة بشرائح الـ GFRP مع وبدون صفيحة الأكرليك مع تغطية جزئي  
[ Mahmoud et al ,2004 ] ..... 30
- الشكل (2-17) : قدرة تحمل الأعمدة المقواة بشرائح الـ GFRP مع وبدون صفيحة الأكرليك مع تغطية كاملة  
[ Mahmoud et al ,2004 ] ..... 30
- الشكل (2-18) : قدرة تحمل الأعمدة المقواة بشرائح الـ GFRP بدون صفيحة الأكرليك مع تغطية كاملة وجزئية  
[ Mahmoud et al ,2004 ] ..... 31
- الشكل (2-19) : قدرة تحمل الأعمدة المقواة بشرائح الـ CFRP ذات تغطية كاملة مع وبدون صفيحة الأكرليك  
[ Mahmoud et al ,2004 ] ..... 31
- الشكل (2-20) : قدرة تحمل الأعمدة المقواة بشرائح الـ CFRP مع وبدون صفيحة الأكرليك وذات تغطية جزئية  
[ Mahmoud et al ,2004 ] ..... 32
- الشكل (3-1) : العنصر المحدود C3D8R [Abaqus. Ver 6.12] ..... 34
- الشكل (3-2) : العنصر المحدود (S4R) [Abaqus. Ver 6.12] ..... 35
- الشكل (3-3) : العنصر المحدود T3D2 [Abaqus. Ver 6.12] ..... 35
- الشكل (3-4) : تفصيل التسليح المستخدم في النموذج [Abaqus. Ver 6.12] ..... 36
- الشكل (3-5) : نموذج للعمود الخرساني مع التقسيمات المستخدمة بدون الـ FRP [Abaqus. Ver 6.12] ..... 36
- الشكل (3-6) : مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الضغط [Abaqus. Ver 6.12] ..... 38
- الشكل (3-7) : مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الشد [Abaqus. Ver 6.12] ..... 39
- الشكل (3-8) : تصرف البيتون على الضغط - الدراسة الحالية ..... 40
- الشكل (3-9) : مخطط الإجهاد- التشوه النسبي المكافئ للبيتون على الشد ..... 40
- الشكل (3-10) : مخطط الإجهاد- التشوه النسبي المفترض للتسليح الطولي و العرضي للعمود المستخدم ..... 41
- الشكل (3-11) : نموذج للعمود الخرساني حيث أن نسبة التغطية المستخدمة 100%  
[Abaqus. Ver 6.12] ..... 41

الشكل (12-3) : نموذج للعمود الخرساني حيث أن نسبة التغطية المستخدمة 50%

42 ..... [Abaqus. Ver 6.12]

الشكل (13-3) : العمود المرجعي من دون FRP ..... 42

الشكل (14-3) : مقارنة بين عمودين خرسانيين مقويين بمادة الـ GFRP وتم التغليف بدون صفيحة الأكرليك مع اختلاف نسبة التغطية ..... 43

الشكل (15-3) : مقارنة بين عمودين خرسانيين مقويين بمادة الـ GFRP وكلاهما ذات نسبة تغليف واحدة مع اختلاف طريقة التغليف ..... 44

الشكل (16-3) : مقارنة بين عمودين خرسانيين مدعمن بمادة الـ GFRP وكلاهما ذات نسبة تغطية 50% مع اختلاف طريقة التغليف ..... 44

الشكل (17-3) : مقارنة بين عمودين خرسانيين مقويين بمادة الـ CFRP وكلاهما ذات نسبة تغطية واحدة

(100%) مع اختلاف طريقة التغليف ..... 45

الشكل (18-3) : مقارنة بين عمودين خرسانيين مقويين بمادة الـ CFRP كلاهما بنسبة تغطية 50% مع اختلاف طريقة التغليف ..... 46

الشكل (19-3) : مقارنة بين النتائج التجريبية والنتائج التحليلية من حيث قدرة التحمل للعينات المستخدمة ..... 46

الشكل (1-4) : تغيير سماكة صفيحة الأكرليك للعيينة الكربونية C-S-2-10 من 10mm إلى 12mm و 20mm ..... 48

الشكل (2-4) : تغيير سماكة صفيحة الأكرليك للعيينة الكلية الكربونية C-F-2-10 من 10mm إلى 12mm و 20mm ..... 49

الشكل (3-4) : تغيير عدد طبقات الـ FRP للشريحة الواحدة في العينة الكربونية الجزئية ..... 50

الشكل (4-4) : تغيير عدد طبقات الـ FRP للشريحة الواحدة في العينة الكربونية الجزئية ..... 51

الشكل (5-4) : استخدام شرائح الـ CFRP و GFRP معا" ..... 51

الشكل (6-4) : دراسة مقارنة بين العينات التالية C-S-6-10, C-S-6-00 ومكافئاتها من العينات

C-F-3-00, C-F-3-05 ..... 52

الشكل (7-4) : دراسة مقارنة بين العينات التالية C-S-4-10, C-S-4-00 ومكافئاتها من العينات

C-F-2-05, C-F-2-00 ..... 53

## فهرس الجداول

- الجدول ( 1-2 ) : مواصفات الأعمدة المستخدمة [Jaya and Mathai, (2012)] .....22
- الجدول(2-2) : قدرة تحمل الأعمدة [ RezaEsfahani , RezaKianous,2005] .....23
- الجدول ( 3-2 ) : مواصفات الأعمدة المستخدمة , [ Mahmoud et al ,2004] .....24
- الجدول (4-2) : مواصفات مادة الـ FRP , [ Mahmoud et al ,2004] .....25
- الجدول(5-2) مواصفات صفيحة الأكرليك المستخدمة في النمذجة, [ Mahmoud et al ,2004] .....27

## الرموز المستخدمة

### Symbols

الرموز المستخدمة في البحث :

معامل انخفاض القساوة على الشد (Uniaxial tension damage variable)	$d_t$
معامل المرونة الابتدائي (Initial Modules of elasticity)	$E_0$
معامل المرونة للبيتون (Modules of elasticity of concrete)	$E_c$
معامل المرونة الثاني للبيتون (Second modules of elasticity of concrete)	$E_{cm}$
معامل المرونة لحديد التسليح (Modules of elasticity of reinforcement)	$E_s$
المقاومة المميزة للبيتون على الضغط (The compressive strength of concrete)	$f_c$
المقاومة المميزة الاسطوانية للبيتون على الضغط (Characteristic compressive cylinder strength of concrete)	$f_{ck}$
المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون على الضغط (Mean value of concrete compressive cylinder strength of concrete)	$f_{cm}$
المقاومة المتوسطة للبيتون على الشد في المنحى الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الشد (Mean value of tensile strength of concrete)	$f_{ctm}$
إجهاد الخضوع لفضولاد التسليح (Yield stress of reinforcement)	$f_y$
التشوه النسبي الطولي (Axial Strain)	$\epsilon$
تشوه الضغط اللدن المتبقي (Compressive Equivalent Plastic Strain)	$\epsilon_c^{pl}$
تشوه الضغط غير المرن (Compressive Inelastic Strain)	$\epsilon_c^{in}$
تشوه الضغط الكلي للبيتون عند نقطة معينة (Compressive total Strain)	$\epsilon_c$
تشوه الضغط المرن (Compressive Elastic Strain)	$\epsilon_c^{el}$
تشوه الشد اللدن المتبقي (Tensile Equivalent Plastic Strain)	$\epsilon_t^{pl}$
تشوه التشقق (Cracking Strain)	$\epsilon_t^{ck}$
تشوه الشد الكلي عند نقطة معينة (Tensile total Strain)	$\epsilon_t$

تشوه الشد المرن (Tensile Elastic Strain)	$\epsilon_{ot}^{el}$
التشوه النسبي للبيتون على الضغط المقابل لذروة الإجهاد (Compressive strain in the concrete at the peak stress)	$\epsilon_{c1}$
التشوه النسبي الحدي للبيتون على الضغط (Ultimate compressive strain in the concrete)	$\epsilon_{cu1}$
التشوه النسبي الابتدائي للبيتون على الشد عند ذروة الإجهاد في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد التشوه- النسبي للبيتون على الشد	$\epsilon_{to}$
التشوه الحدي للبيتون على الشد في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد التشوه النسبي للبيتون على الشد	$\epsilon_{total}$
التشوه النسبي للحديد عند الخضوع (Relative strain yielding in the steel)	$\epsilon_y$
إجهاد الضغط في البيتون ويقدر بال $N/mm^2$ (compressive stress in the concrete)	$\delta_c$
مقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون على الضغط مقدرة بال $N/mm^2$	$f_{cm}$
(Mean value of concrete cylinder compressive strength)	
التشوه النسبي على الضغط للبيتون (compressive strain in the concrete)	$\epsilon_c$
التشوه النسبي عند القيمة الأعظمية للإجهاد (The strain in peak stress)	$\epsilon_{cu1}$
معامل المرونة الابتدائي للبيتون مقدرًا بال $N/mm^2$	$E_{cm}$
إجهاد الخضوع الحقيقي لل فولاذ	$f_{yk}$
إجهاد الخضوع التصميمي لل فولاذ	$f_{yd}$
قيمة الإجهاد الحقيقي عند الانهيار لل فولاذ	$K f_{yk}$
مقاومة الفولاذ للشد	$f_t$
إجهاد الخضوع لل فولاذ	$f_y$
نسبة إجهاد الانقطاع إلى إجهاد السيالان	$K$
التشوه النسبي الأعظمي لل فولاذ عند التصميم	$\epsilon_{ud}$
التشوه النسبي المقابل لإجهاد الانهيار الحقيقي لل فولاذ	$\epsilon_{uk}$
معامل أمن تصميمي جزئي لل فولاذ	$\gamma_s$

*قائمة المختصرات*

*Abbreviation list*

<i>CDP Plasticity</i>	<i>Concrete Damaged</i>
<i>FEM</i>	<i>Finite Element Method</i>
<i>GFRP</i>	<i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i>
<i>CFRP</i>	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i>
<i>MNLA</i>	<i>Materially Non-linear Analysis</i>
<i>RC</i>	<i>Reinforced Concrete</i>

## المحتويات

- (1) المقدمة
- (2) الدراسة المرجعية
- (3) التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة
- (4) الدراسة البارامترية
- (5) النتائج والتوصيات لأعمال مستقبلية
- (6) المراجع المستخدمة

**الفصل الأول**

**مقدمة**

***Introduction***

## الفصل الأول

### مقدمة

## Introduction

### 1-1- مقدمة عن الأعمدة :

#### Introduction about concrete columns

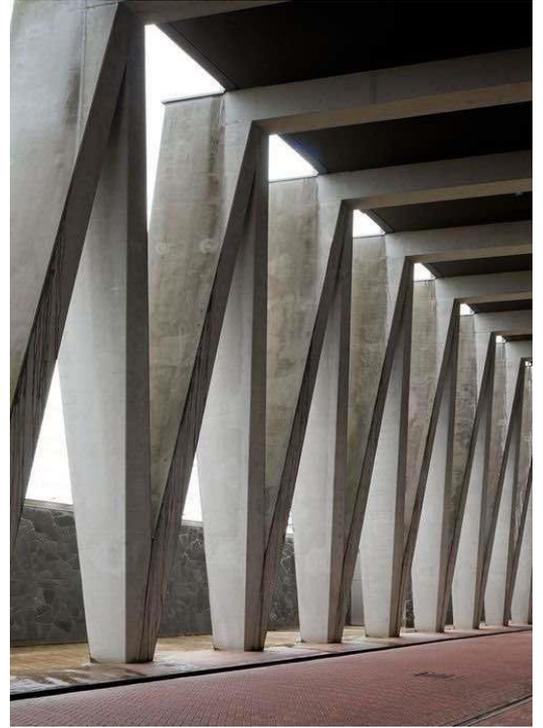
تعد الأعمدة من أهم العناصر الإنشائية في المنشآت فهي تعمل على نقل الحمولات من البلاطات والجوائز إلى الأساسات لذا حيث تلعب دوراً هاماً في سلامة المنشأ والحفاظ على استقراره . وتعرف الأعمدة بأنها العناصر التي يكون طولها أكبر بكثير من أبعاد مقطعها العرضي .

يمكن أن تبنى الأعمدة من عدة مواد مثل الحجر والخشب ولكن أكثر المواد انتشاراً هي المعدن والبيتون المسلح وغالباً ما يأخذ المقطع العرضي شكل مربع أو مستطيل أو دائري .

تتلقى الأعمدة حمولات محورية بشكل رئيسي لذا فإن تسليحها العامل يكون بالاتجاه الطولي ويتم تسليحها أيضاً بالاتجاه العرضي بتسليح مناسب , حيث يقاوم كل من البيتون والتسليح الطولي القوى الضاغطة بينما يقاوم التسليح العرضي قوى القص ويؤمن ربطاً 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 (1-1): صور لبعض مقاطع الأعمدة المستطيلة والدائرية [https://www.google.com/search]



الشكل (1-2): صور لبعض مقاطع الأعمدة بشكل حرف T وزاوية [https://www.google.com/search]

## 1-2 - لمحة عن أشكال التقوية في الأعمدة: [ Almalik .M,(2015) ]

### 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 مثلاً" حالة جسر يجب أن يقاوم حمولة مرور أكبر أو عند استخدام المبنى لأغراض جديدة تختلف عن التي صمم لأجلها وكذلك أيضاً" من أجل تقوية المنشآت نتيجة الأضرار التي تسببها العوامل البيئية . وفي إطار المشكلة العامة لتقوية المنشآت البيتونية المسلحة هنالك مشكلة تقوية الأعمدة . إن تقوية الأعمدة تمثل مشكلة هندسية وهي تنطوي كسائر المشكلات الهندسية على العديد من الحلول حيث لكل من هذه الحلول الميزات والمساوئ الخاصة بها وكذلك مجال تطبيق معين ومن بعض الطرائق التقليدية المستخدمة في عملية التقوية :

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

- تقوية 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 وغالبا ما تستخدم في العناصر الطويلة التي لا يؤدي زيادة مقطعها إلى اساءة معمارية
- القميص البيتوني : وذلك بتغليف الأعمدة بطبقة جديدة من البيتون المسلح

### 3-1 - بعض مزايا مركبات الـ FRP [ Almalik ,M.,(2015) ]

- ضد التآكل الكيميائي وأظهرت مقاومة وديمومة عالية ضد الظواهر البيئية القاسية
- تمتلك نسبة متانة / وزن عالية جدا" فوزنها يساوي تقريبا خمس وزن مادة الفولاذ بينما متانتها تزيد عن متانة الفولاذ من 8-10 أضعاف
- سهولة 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 تقوية الأعمدة بمركبات الـ FRP على تغليف العمود بطبقة من هذه الألياف بحيث يكون اتجاه الألياف عمودياً على المحور الطولي للعمود حيث تقوم الألياف بمقاومة التشوهات العرضية الناتجة من تأثير عامل بواسون عند تعرض العمود للضغط ويؤدي الضغط الجانبي الناتج في طبقة الألياف كردة فعل إلى إحداث حالة من الإجهادات ثلاثية الأبعاد في البيتون والتي تؤدي إلى تحسن كبير في المتانة والمطاوعة مقارنة بحالة البيتون المعرض إلى ضغط محوري

### 4-1 - محاسن استخدام مركبات الـ FRP في تقوية الأعمدة [ Almalik ,M.,(2015) ]

- ❖ تؤمن تطويق جانبي فعال للعمود
- ❖ إن حجم وشكل ووزن العنصر الأساسي المقوى يبقى كما هو
- ❖ تعد من الطرائق الجيدة في تقوية 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
- ❖ سهولة التركيب مما يوفر من الكلفة ويجعلها مناسبة في حالات تقوية المنشآت القائمة
- ❖ تؤمن الحد الأدنى من التأثير السلبي على المنشآت الحالية

ولمركبات الـ FRP عدة مساوئ عند استخدامها في تقوية المنشآت منها :

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

## 5-1 - هدف البحث (Objective of the research) :

يهدف هذا البحث لدراسة مقارنة بين تقوية الأعمدة الخرسانية المربعة باستخدام مادتي الـ CFRP و GFRP تحت تأثير الحمولات المحورية من حيث قدرة التحمل والمطاوعة عن طريق تغليفها بطريقة الـ Sandwich (وجود صفيحة أكرليك) أو Regular (عدم وجود صفيحة أكرليك)

## 6-1- 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 التحليل اللاخطي Non-Linear Analysis الذي يأخذ بعين الاعتبار لا خطية المادة ومن ثم إجراء دراسة بارامترية على عدة متغيرات

- تغير سماكة صفيحة الأكرليك في العينات الكربونية المغلفة بطريقة الساندويش سواء عينة ذات تغطية جزئية أو تغطية كلية وملاحظة أثرها على المطاوعة وقدرة تحمل الأعمدة
- تغير عدد طبقات الـ FRP للشريحة
- استخدام خليط من شرائح الـ CFRP و GFRP معاً
- تثبيت كمية الـ FRP مع وبدون الأكرليك مع تغير نسبة التغطية ودراسة أثرها على المطاوعة وقدرة التحمل

## 7-1- محتويات الأطروحة : (Content of Thesis)

تتألف هذه الأطروحة من 5 فصول :

### الفصل الأول :

يحتوي هذا الفصل على مقدمة عامة عن الأعمدة ثم لمحة عن أشكال التقوية في الأعمدة وكذلك يحتوي على شرح مفصل لمزايا مركبات الـ FRP حيث تم ذكر محاسن استخدامها ومساوئها وأخيراً هدف البحث وطرائق هذا البحث

### الفصل الثاني :

يحتوي هذا الفصل على المراجعة البحثية المتعلقة بهذا البحث حيث تم وضع مقدمة عن مادة الـ FRP ثم مقدمة عن الألياف الزجاجية والألياف الكربونية وتضمن هذا الفصل أيضاً الخواص الميكانيكية للبيتون والتوسع بمقاومته على الشد وعلى الضغط وأخيراً تم شرح مفصل للدراسة المرجعية المستخدمة في البحث

### الفصل الثالث :

يتضمن مقدمة عامة عن الدراسات التحليلية التي تمت في هذا البحث ثم توصيف المواد الداخلة في النمذجة والعناصر المستخدمة في النموذج وشروط الاستناد ونوع التحليل المستخدم بالإضافة إلى المقارنة بين النموذج التحليلي والدراسة التي قام بها الباحثون [ Mahmoud et al ,2004 ]

### الفصل الرابع :

يتضمن الدراسة البارامترية للنموذج المدروس حيث تم تغير سماكة صفيحة الأكرليك في العينات الكربونية المغلفة بطريقة الساندويش سواء أكانت عينة ذات تغطية جزئية أو تغطية كلية وملاحظة أثرها على المطاوعة وقدرة تحمل الأعمدة ثم دراسة أثر تغير عدد طبقات الـ FRP للشريحة الواحدة وكذلك تم استخدام خليط من شرائح الـ CFRP و الـ GFRP معاً وأخيراً تم تثبيت كمية الـ FRP مع وبدون الأكرليك مع تغير نسبة التغطية

### الفصل الخامس :

يلخص النتائج التي توصل إليها البحث بالإضافة إلى وضع توصيات من أجل أعمال مستقبلية والمراجع المستخدمة

الفصل الثاني  
الدراسة المرجعية  
*(Literature Review)*

## الفصل الثاني

### الدراسة المرجعية

### (Literature Review)

#### 2-1- مقدمة :

يحتوي هذا الفصل على مقدمة عن مادة الـ FRP وأيضا مقدمة عن الألياف الزجاجية والألياف الكربونية بالإضافة إلى دراسة الخواص الميكانيكية للبيتون سواء أكان على الضغط أو على الشد وأخيراً تم عرض عدة دراسات تجريبية حول موضوع هذا البحث

#### 2-2-مقدمة عن مادة الـ FRP (Fiber Reinforced Polymer) :

تتألف هذه المادة من مجموعة من الألياف ومادة بوليميرية وتقسم لعدة أنواع : [ McDaniel and knight,( 2014) ]

1- الزجاجية ( glass )

2- الكربونية ( carbon )

3- البازلتية ( basalt )

وتستخدم فيها البوليميرات التالية :

❖ بوليستر ( polyester )

❖ فينيل إيستر ( vinyl ester )

❖ بولي إيثان ( polyurethane )

❖ إيبوكسي ( epoxy )

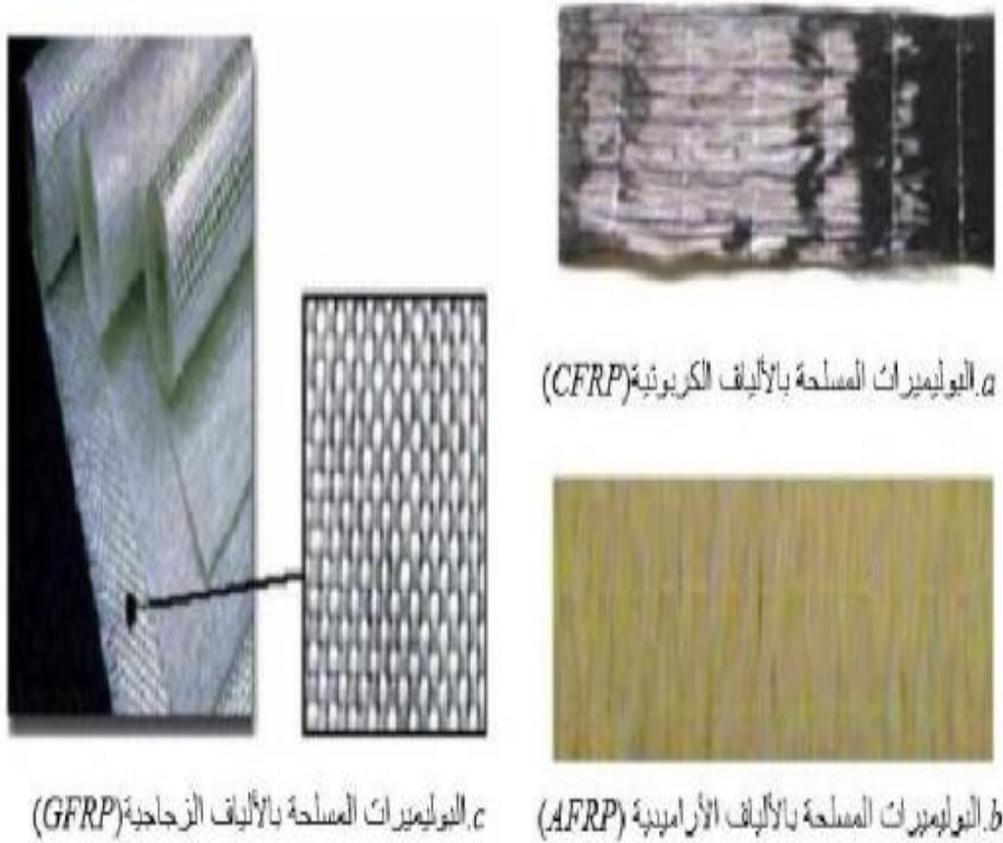
ومن أهم ميزات هذه المادة أنها سهلة الاستخدام والنقل والتركيب و تتوفر من الوقت والكلفة اللازمين في حالة الصيانة والإصلاح ومن مساوئها حساسيتها للأشعة فوق البنفسجية وتأثرها بالرطوبة [ McDaniel and knight,( 2014) ]

## 2-3- تعريف بمادة الـ FRP وخصائصها :

### *Definition of FRP Material and its properties*

البوليميرات المدعمة بالألياف 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 وتقوم الألياف بتحمل القوى وهي التي تعطي مادة الـ FRP متانتها العالية

أكثر الألياف استخداماً في تطبيقات الهندسة المدنية هي تلك المصنوعة من الزجاج GFRP , الكربون CFRP , أو الأرميد AFRP الشكل (1-2)



الشكل (1-2) : أنواع البوليميرات المدعمة بالألياف, [Almalik ,M.,(2015)]

تعتبر الألياف مادة غير متجانسة لذلك فإن خصائصها الميكانيكية تتغير بشكل كبير وفقا للاتجاه الذي تقاس عنده هذه الخصائص وأيضا حسب نوع الألياف , المادة الرابطة المستخدمة , كمية الألياف ضمن المركب , وزاوية توزيع الألياف ضمن المادة الرابطة

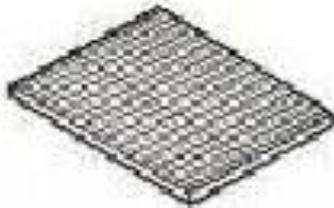
ويبين الشكل (2-2) أشكال مختلفة لتوزيع الألياف ضمن المادة الرابطة .



Uniaxial



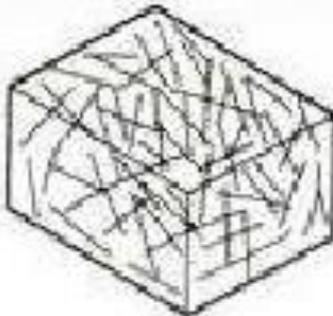
Angle-ply



Cross-ply



Random-in-the-plane

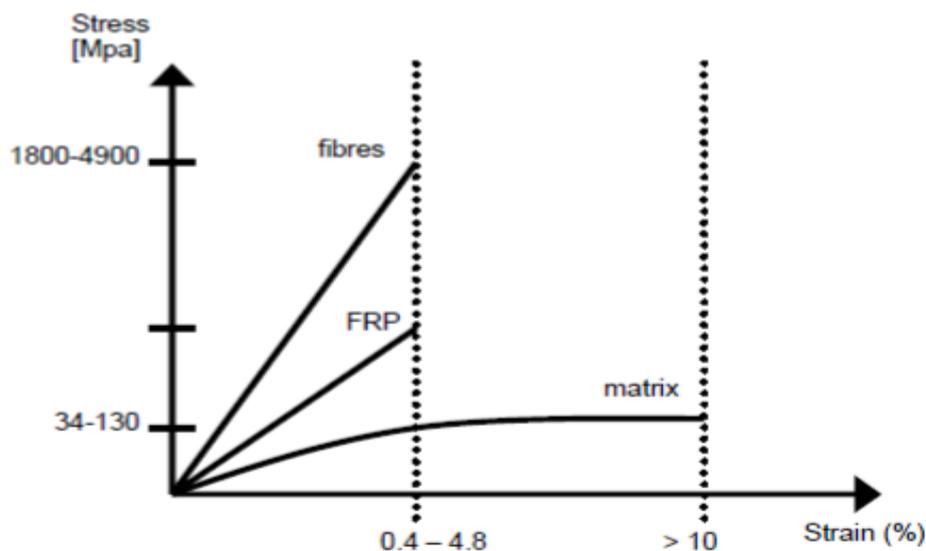


Random in 3 dimensions

الشكل (2-2) : الأشكال الشائعة لتوزيع الألياف ضمن مادة الـ FRP [Almalik ,M.,(2015 )]

إن محاسن ألياف الزجاج أنها منخفضة التكلفة وعازلة أما مساوئها فهي وجود عامل مرونة منخفض وحساس للتآكل والرطوبة و لألياف الكربون معامل تمدد حراري منخفض ومقاومة منخفضة للكهرباء . أما أن ألياف الأرميد فهي تقاوم الضرر الناتج عن التحميل الديناميكي ولكنها حساسة للأشعة فوق البنفسجية ولديها مقاومة ضغط منخفضة

ويبين الشكل (2-3) منحنى الاجهاد التشوه للألياف Fibers ولمادة البوليمر Matrix ولمادة الـ FRP التي ينتج منحنى الاجهاد - التشوه لها من تراكم المنحنيين السابقين



الشكل (2-3) : منحنى الإجهاد - التشوه النسبي لمادة الألياف وللمادة الرابطة وللمادة الـ FRP [Almalik,M,(2015)]

#### 4-2- مقدمة عن الألياف الكربونية (Carbon Fiber Reinforced Polymer CFRP)

تتألف هذه الألياف من عدة رقائق ذات لون أسود مركبة من مادة الإيبوكسي المسلحة بألياف كربونية بنسبة تزيد عن 99% ومعامل مرونتها في العادة أكبر من  $2.0 \times 10^5$  MPa وتتحمل على الشد باتجاه الألياف بقيمة تزيد 3500 MPa تمتاز بمايلي : [ Mahmoud. et al, 2004 ]

- منخفضة الوزن
- متوافرة بأي طول ولا تحتاج لوصلات
- سهولة النقل
- ألواح لا تحتاج إلى التحضير
- اقتصادية في التركيب فلا تحتاج إلى أجهزة تركيب أو أيدي عاملة كثيرة
- متوافرة بعوامل مرونة مختلفة
- مقاومة للقلويات
- يمكن الطلاء فوقها دون الحاجة لتحضير مسبق
- مقاومتها ممتازة للتعب

## 5-2- مقدمة عن الألياف الزجاجية (Glass Fiber Reinforced Polymer) GFRP

تتألف هذه الألياف من عدة رقائق مركبة من مادة الإيبوكسي المسلحة بألياف زجاجية ومعامل مرونتها أكبر من  $7 \times 10^4$  MPa وتحمل على الشد باتجاه الألياف بقيمة تزيد عن 3200 Mpa [ Mahmoud. et al, 2004 ]

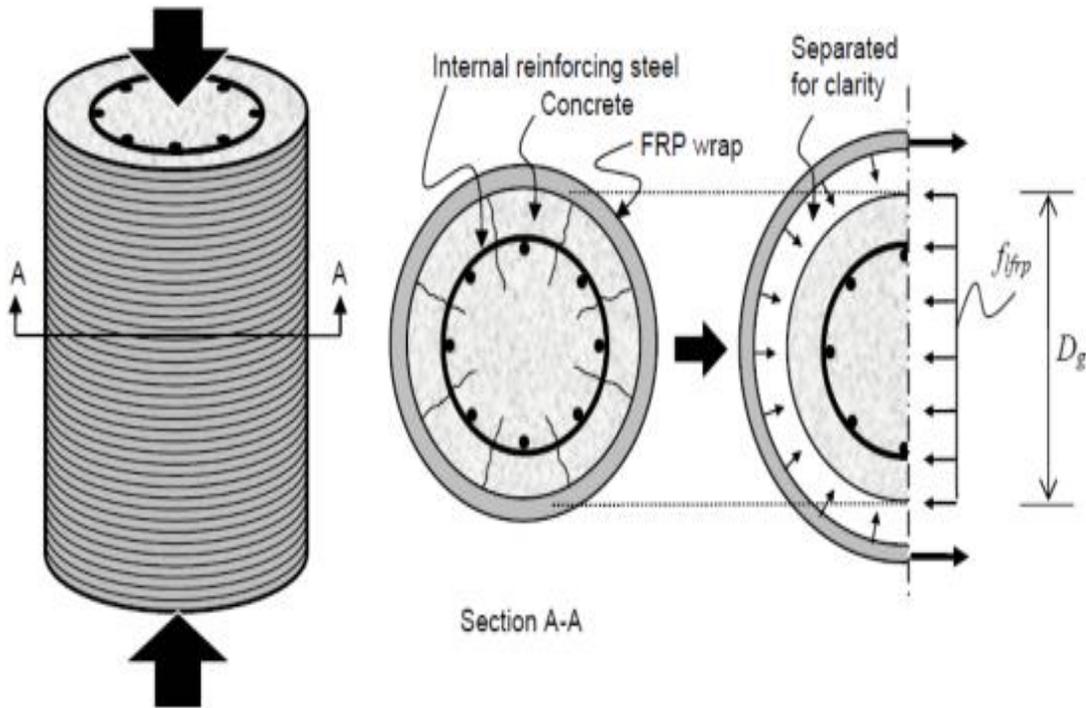
## 6-2- استخدام مادة الـ FRP في تقوية الأعمدة البيتونية

### The Usage of FRP In Strengthening Columns

إن تغليف الأعمدة البيتونية المسلحة بمركبات الـ FRP يحسن أداء العمود بالمرتبة الأولى ليس لأن الألياف نفسها تتحمل جزء من الحمولة المطبقة على العنصر وإنما أيضا لأنها تؤمن ضغط جانبي على العمود . هذا الضغط الناتج عن تطويق العمود يضع البيتون بحالة من الإجهادات ثلاثية الأبعاد مغيرا من خصائص منحنى الحمولة – التشوه للبيتون . إن تطبيق مستويات عالية من الضغط الجانبي يمكن البيتون من الحفاظ على قوة محورية أكبر وتشوهات محورية حدية أكبر عن طريق تغيير نمط الانهيار من تشقق البيتون إلى سحق عجينة الاسمنت

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 محوريا"

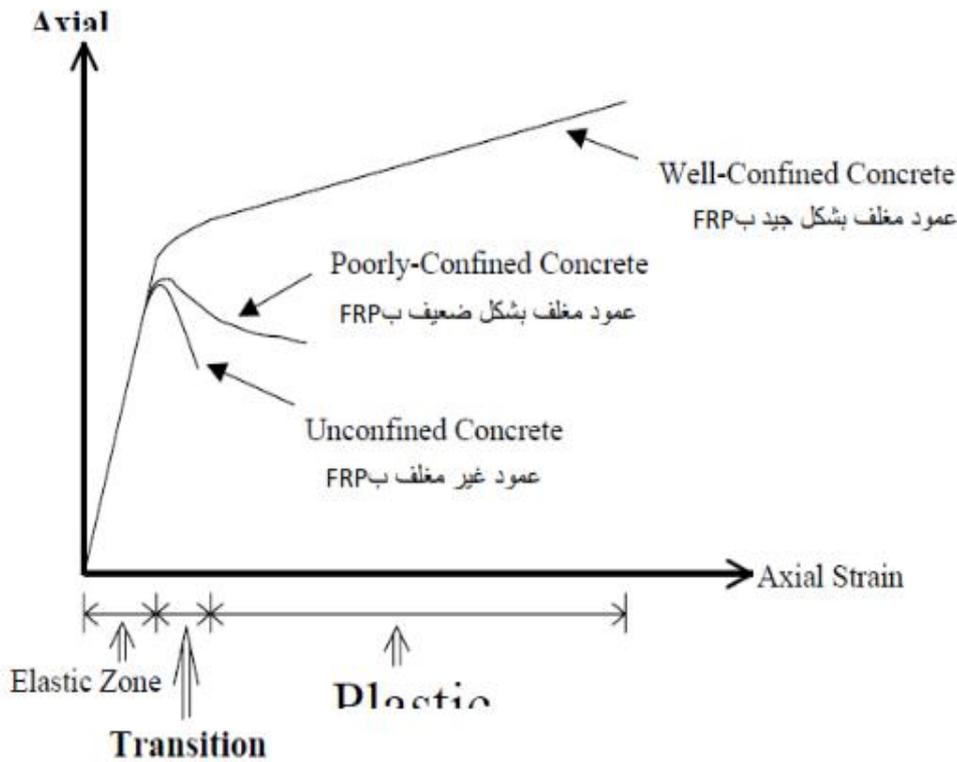
وفي المقاطع العرضية الدائرية ينتج ضغط جانبي موحد وإجهادات منتظمة أما في المقاطع غير الدائرية فيكون توزع الإجهادات معقد وغير منتظم ويكون مستوى أداء العمود أقل مقارنة بحالة المقاطع العرضية الدائرية



الشكل (4-2) : ميكانيكية التطويق للأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام مادة الـ FRP [Almalik ,M.,(2015 )]

ويبين الشكل (2-5) منحنيات الاجهاد المحوري والتشوه للأعمدة المغلفة وغير المغلفة . المنحنيين العلويين يمثلان أعمدة مدعمة بالـ FRP 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 )

إن ميل الجزء الأول من منحنيات الأعمدة المغلفة بالـ FRP 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 وتنشأ 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 (2-5) : مقارنة بين منحنيات الإجهاد – التشوه المحوري لأعمدة بيتونية مدعمة بالـ FRP وأخرى غير مدعمة [Almalik ,M.,(2015 )]

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 إيجابياً 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 كافٍ للتغلب على حالة تدهور البيتون تحت تأثير التشوهات الكبيرة التي يتعرض لها .

توصل العديد من الباحثين إلى أن التشوهات الحدية التي يتم التوصل 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 .

## 7-2- الخواص الميكانيكية:

### 7-2-1- مادة البيتون المسلح ومكوناتها :

## Reinforced Concrete Material and its Components

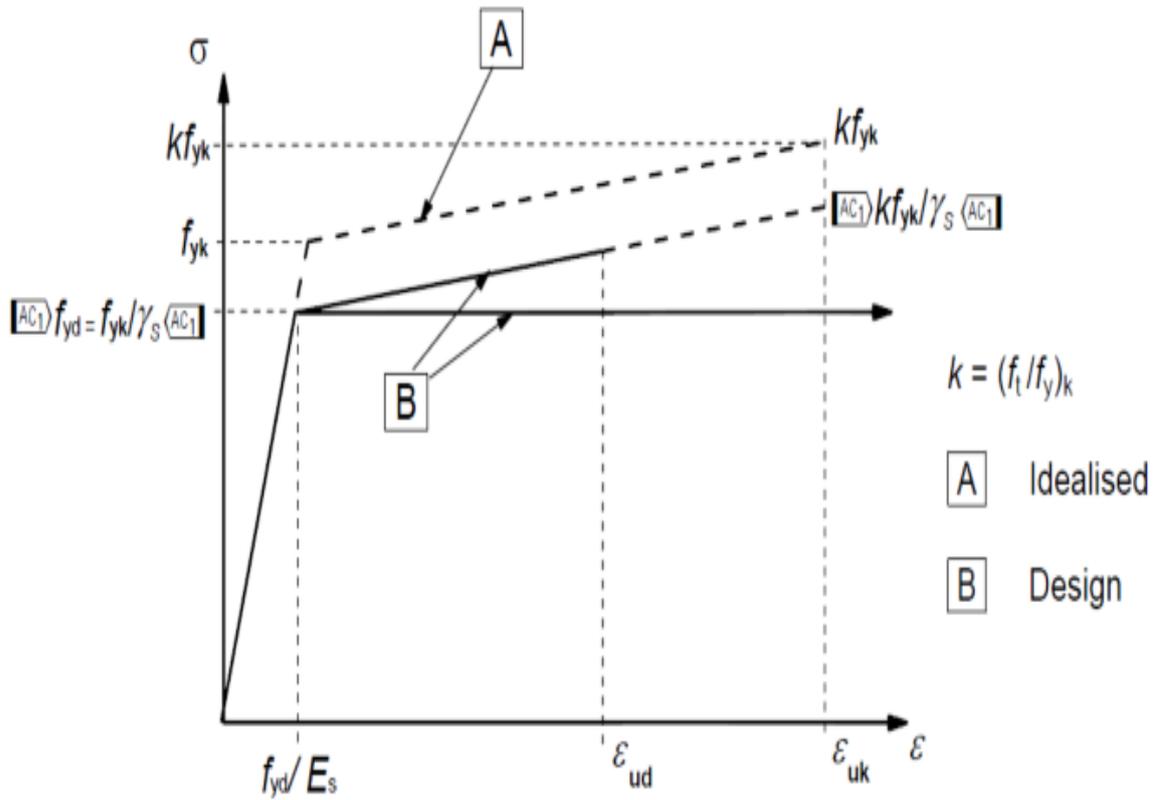
تعد مادة البيتون المسلح من أكثر المواد انتشاراً في مجال البناء وذلك بسبب ديمومتها العالية وسهولة تشكيلها حيث يمكن صبها في قوالب ذات أشكال متعددة ومقاومتها للحريق وإمكانية استخدامها لأبنية ذات طابق واحد أو عدة طوابق وتعتبر مادة البيتون المسلح مادة غير متجانسة ( Composite Material ) فهي تتألف من قضان التسليح ( Steel Reinforcement ) التي تقاوم الشد , والبيتون الذي يقاوم الضغط وتعتبر مادة البيتون بحد ذاتها مادة مركبة لاحتوائها على العديد من المواد مثل الاسمنت - الحصى - الرمل - الماء التي تخلط مع بعضها بنسب معينة لتكوين مادة البيتون النهائية , وقد تضاف في بعض الحالات محسنات معينة أو إضافات بهدف استخدام البيتون لأغراض محددة ومن 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 .

ويعتمد الكود الأوروبي في تصنيف البيتون على مقاومته المميزة على الضغط  $f_{ck}$  وهي المقاومة التي يتم الحصول عليها بعد 28 يوم من صب العينات الاسطوانية .

و يبين الشكل (2-6) منحنى الإجهاد-التشوه النسبي لفلواذ التسليح وفق الكود الأوروبي (EuroCode2-2004). يكون السلوك في البداية مرناً خطياً بمعامل مرونة  $E_s$  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  $k \cdot f_{yk}$  . ويبين الشكل ثلاث منحنيات :

الأول A يمثل السلوك الحقيقي للفلواذ , والمنحنيين B يمثلان السلوك عند التصميم , فالمستقيم الأفقي يمثل سلوك كامل اللدونة والمستقيم المائل يمثل تخفيض السلوك الحقيقي مقداره  $Y_s$



الشكل (6-2) : منحنى الإجهاد – التشوه النسبي لفولاذ التسليح وفق الكود الأوروبي [Almalik ,M.,(2015 )]

$f_{yk}$  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 السيلا

$\epsilon_{ud}$  التشوه النسبي الأعظمي للفولاذ عند التصميم

$\epsilon_{uk}$  التشوه النسبي المقابل لإجهاد الانهيار الحقيقي للفولاذ

$\gamma_s$  معامل أمان تصميمي جزئي للفولاذ

## 2-7-2- الخواص الميكانيكية للبيتون :

### 1-2-7-2- مقاومة البيتون على الضغط ( Concrete compressive strength ) :

يتم تحديد العلاقة بين الإجهاد  $\sigma_c$  والتشوه النسبي اعتمادا على الكود الأوربي [ BS EN 1992-1-1, (2004) ] كما يبين الشكل (1-2) وذلك وفقا للعلاقات 1, 2, 3 وذلك من أجل  $0 < |\epsilon_c| < |\epsilon_{cu1}|$

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{K\eta - \eta^2}{1 + (K-2)\eta} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \quad (2)$$

$$K = \frac{1.05 * E_{cm} * |\epsilon_{c1}|}{f_{cm}} \quad (3)$$

حيث :

$\sigma_c$  : إجهاد الضغط في البيتون ويقدر بال  $N/mm^2$  (compressive stress in the concrete)

$f_{cm}$  : مقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون على الضغط مقدرة بال  $N/mm^2$

(Mean value of concrete cylinder compressive strength)

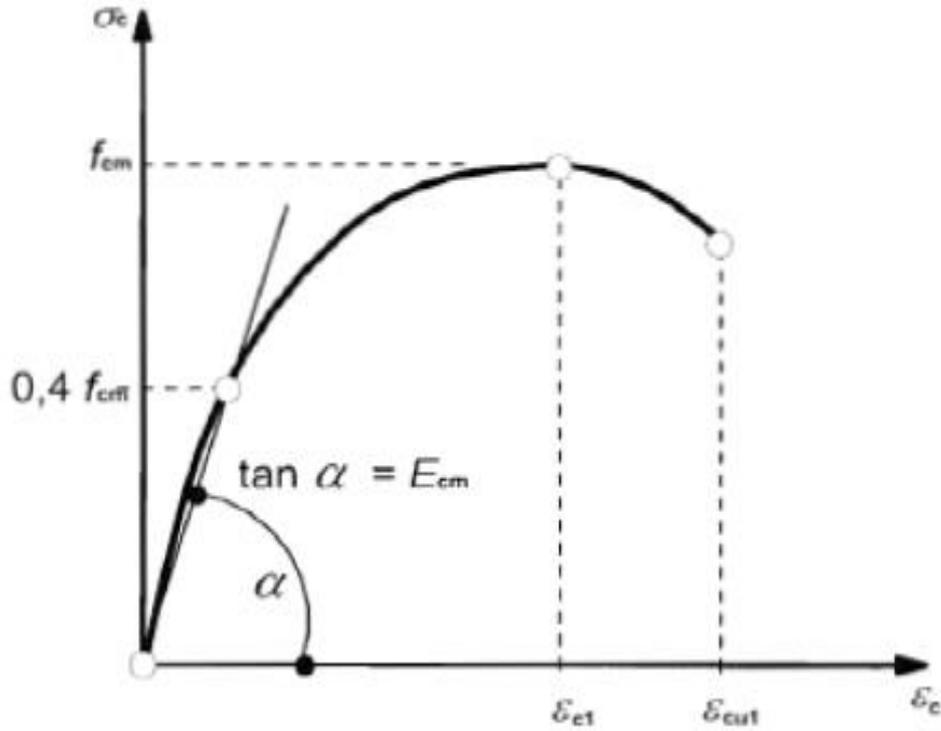
$\epsilon_c$  : التشوه النسبي على الضغط للبيتون (compressive strain in the concrete)

$\epsilon_{c1}$  : التشوه النسبي عند القيمة الأعظمية للإجهاد (The strain in peak stress)

$E_{cm}$  : معامل المرونة الابتدائي للبيتون مقدرًا بال  $N/mm^2$

(Initial modulus of elasticity of concrete)

ويحدد قيم  $E_{cm}$  ,  $\epsilon_{cu1}$  , وفقا للعلاقات 4 , 5 , 6 بالاعتماد على قيمة المقاومة الاسطوانية للبيتون على الضغط بعمر الـ 28 يوم  $f_{ck}$  (Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days) حيث يلاحظ من الشكل (2-8) أن العلاقة بين الإجهاد – التشوه النسبي للبيتون تكون خطية حتى الوصول إلى إجهاد مساو لـ  $0.4 f_{cm}$  ومن ثم تصبح العلاقة لا خطية حتى الوصول إلى المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون على الضغط المقابلة لقيمة التشوه النسبي الحدي للبيتون على الضغط (ultimate compressive strain in the concrete)



الشكل (7-2) : العلاقة بين الإجهاد – التشوه النسبي للبيتون على الضغط [ BS EN 1992-1-1, (2004) ]

$$\varepsilon_{cu1} = 0.7 f_{cm}^{0.3} < 2.8\% \quad (4)$$

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

$$E_{cm} = 22000 \times (f_{cm} / 10)^{0.3} \quad (6)$$

#### 2-2-7-2- مقاومة البيتون على الشد (concrete tensile strength) :

يتم حساب مقاومة البيتون على الشد وفقاً لـ [Kmiecik and Kaminski , (2011)] وذلك بالاعتماد على المقاومة المميزة الاسطوانية للبيتون  $f_{ck}$  وذلك وفقاً للعلاقة (7) :

$$f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3} \quad (7)$$

$f_{ctm}$  : مقاومة البيتون على الشد مقدرة ب  $N/mm^2$  (tensile strength of concrete)

وتعطى قيمة التشوه النسبي الموافقة لإجهاد الشد الأعظمي  $f_{ctm}$  بالعلاقة (8) :

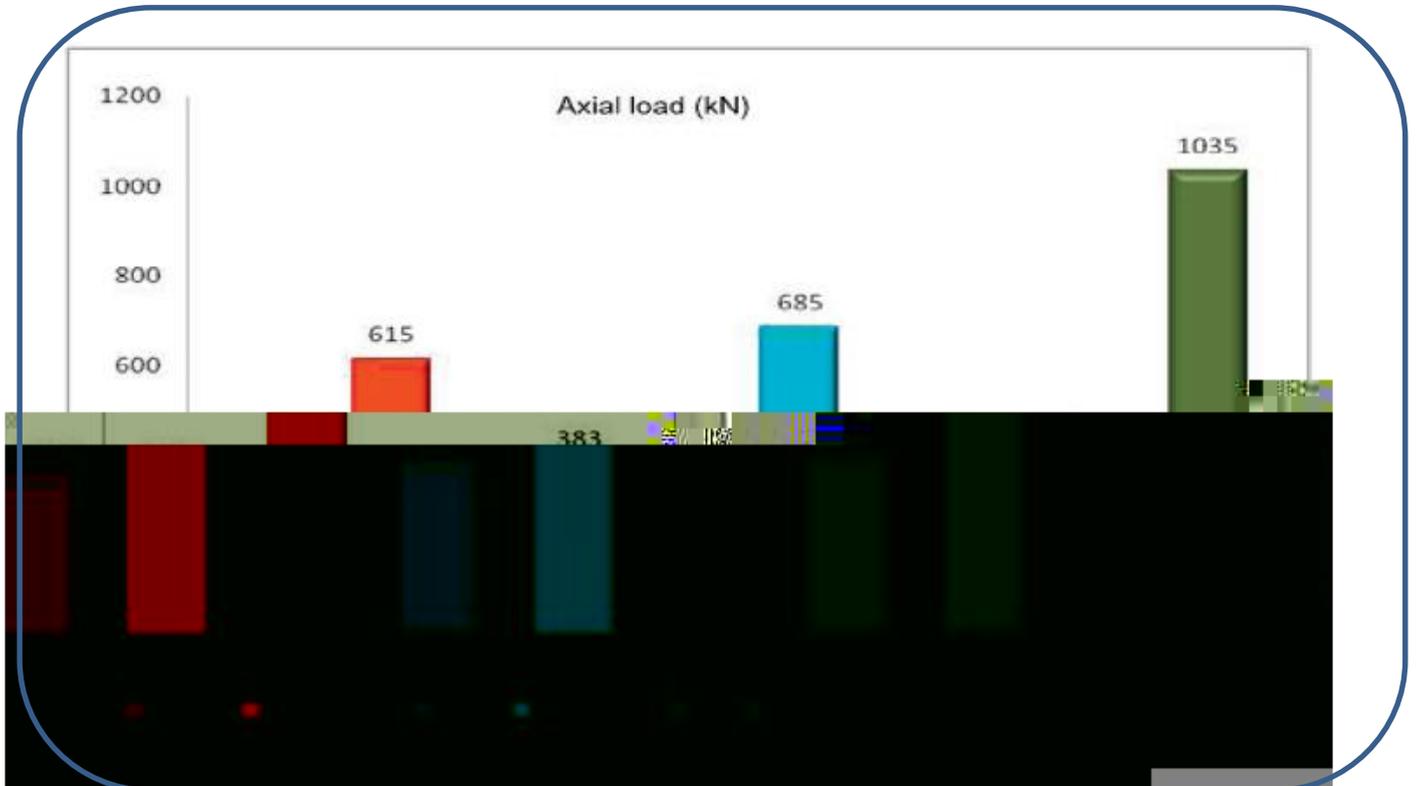
$$\varepsilon_{to} = \frac{f_{ctm}}{E_0} \quad (8)$$

كما تنعدم المقاومة عند قيمة التشوه النسبي الموافقة لوصول فولاذ التسليح الطولي إلى السيلان حيث تعطى بالعلاقة :

$$\varepsilon_{tot} = \frac{f_y}{E_s} \quad (9)$$

### 8-2- المراجعة البحثية (Literature Review) :

قام الباحثان [ Raval and Dave ,2012] , بدراسة تقوية الأعمدة الخرسانية باستخدام مادة الـ GFRP وذلك تحت تأثير الحمولات المحورية على قدرة تحملها حيث تم أخذ 15 عمود خرساني تسعة منهم تم اعتبارها كأعمدة مرجعية والأعمدة المتبقية قويت بطبقة من GFRP وتم تحميلها تحت الضغط المحوري حتى الانهيار وبيين الشكلين (8-2), (9-2) قدرة تحمل الأعمدة المستخدمة والتشوه النسبي على التوالي :



الشكل ( 8-2 ) : قدرة تحمل الأعمدة المستخدمة [ Raval and Dave ,2012]



الشكل (9-2): التشوه النسبي للأعمدة المستخدمة [Raval and Dave, 2012]

ومن خلال الشكلين ( 8-2, 9-2) تم التوصل إلى النتائج التالية :

من أجل الأعمدة المستطيلة والمربعة كانت نسبة الزيادة في قدرة التحمل 79% , 76% على التوالي ونجد من الشكل (9-2) أن المساحة تحت المنحني **SW** الممثل للعمود المربع المقوى بطبقة من الـ GFRP قد ازدادت عن المساحة تحت المنحني **SC** الممثل للعمود المربع غير المقوى بمادة الـ GFRP مما يدل على أن مطاوعة العمود قد ازدادت عند التقوية بمادة الـ GFRP

وقام الباحثان [Jaya and Mathai, (2012)] بدراسة أثر الأعمدة الخرسانية المقواة ب مادة GFRP و CFRP تحت تأثير الحمولات المحورية على قدرة تحملها بأبعاد 300×300×3000mm حيث تم اختبار 6 نماذج من الأعمدة ثلاثة منها تم اختبارها بوضع طبقتين , 4 طبقات , 6 طبقات على التوالي من مادة الـ GFRP ونموذجان آخران تم اختبارهما بوضع طبقة من مادة الـ CFRP بالإضافة إلى العمود المرجعي ويبين الجدول(2- 1) والشكل (2- 10) مواصفات الأعمدة المستخدمة وقدرة التحمل الناتجة :

جدول ( 1-2 ) : مواصفات الأعمدة المستخدمة [Jaya and Mathai, (2012)]

Sl. No.	Specimen Identification	No. of GFRP layers	No. of CFRP layers
1	GFC 0	0	0
2	GFC 1	2	-
3	GFC 2	4	-
4	GFC 3	6	-
5	CFC 1	-	1
6	CFC 2	-	1

و تم التوصل إلى النتائج التالية :

- أظهرت النماذج المقواة ب طبقتين , 4 طبقات , 6 طبقات من الـ GFRP زيادة في قدرة التحمل بمقدار 8% , 28% , 32% على التوالي مقارنة مع العمود المرجعي
- أعطى العمود المقوى ب 6 طبقات من الـ GFRP أعلى قدرة تحمل مقارنة مع النموذج المرجعي
- أظهرت النماذج المقواة بطبقتين , 4 طبقات , 6 طبقات من الـ GFRP زيادة في قيمة المطاوعة بمقدار 25% , 54% , 70% على التوالي مقارنة مع النموذج المرجعي
- النموذج المقوى بطبقة من الـ CFRP أعطى زيادة في قدرة التحمل بمقدار 98.3% مقارنة مع العمود المرجعي وزيادة في المطاوعة بقيمة تزيد عن 2.7% مقارنة مع العمود المرجعي
- أعطى النموذج المقوى بطبقة واحدة من الـ CFRP زيادة في قدرة التحمل بمقدار 98.3% وزيادة في قيمة المطاوعة بمقدار 2.7% في حين أن النموذج المقوى ب 6 طبقات من الـ GFRP أعطى زيادة في قدرة التحمل بمقدار 32% وزيادة في قيمة المطاوعة بمقدار 70% مقارنة مع العمود المرجعي

أما الباحثان [ RezaEsfahani , RezaKianous,2005 ] فقد قاما بدراسة تقوية الأعمدة الخرسانية باستخدام مادة الـ FRP تحت تأثير الحمولات المحورية من حيث قدرة التحمل حيث تمت الدراسة على مجموعتين من الأعمدة كل منها تحتوي على ثلاثة أعمدة الأولى مربعة الشكل أبعادها 180×180×850 mm والأخرى دائرية الشكل ذات قطر 203 mm وتمت تقويتها بمادة الـ FRP وتحميلها تحت الضغط المحوري حتى الانهيار ويبين الجدول ( 2-2 ) قدرة التحمل الناتجة للأعمدة المستخدمة .

جدول (2-2) : قدرة تحمل الأعمدة [ RezaEsfahani , RezaKianous,2005]

Circular Specimen	Max. Load (kN)	Displacement (mm)		Square Specimen	Max. Load (kN)	Displacement (mm)	
		At Max. Load	Ultimate			At Max. Load	Ultimate
A	2798	12.3	12.7	A	1417	7.4	14.1
B	2488	11.6	18.7	B	1343	3.3	7.7
C	2324	10.6	12.4	C*	1618	10.9	11.9
Average (A, B, C)	2537	11.5	14.6	Average (A and B)	1380	5.4	10.9

ومن الجدول 2-2 يمكن ملاحظة أن الأعمدة الخرسانية الدائرية تعطي زيادة في قدرة التحمل بمقدار 45.605 % مقارنة مع الأعمدة الخرسانية المربعة

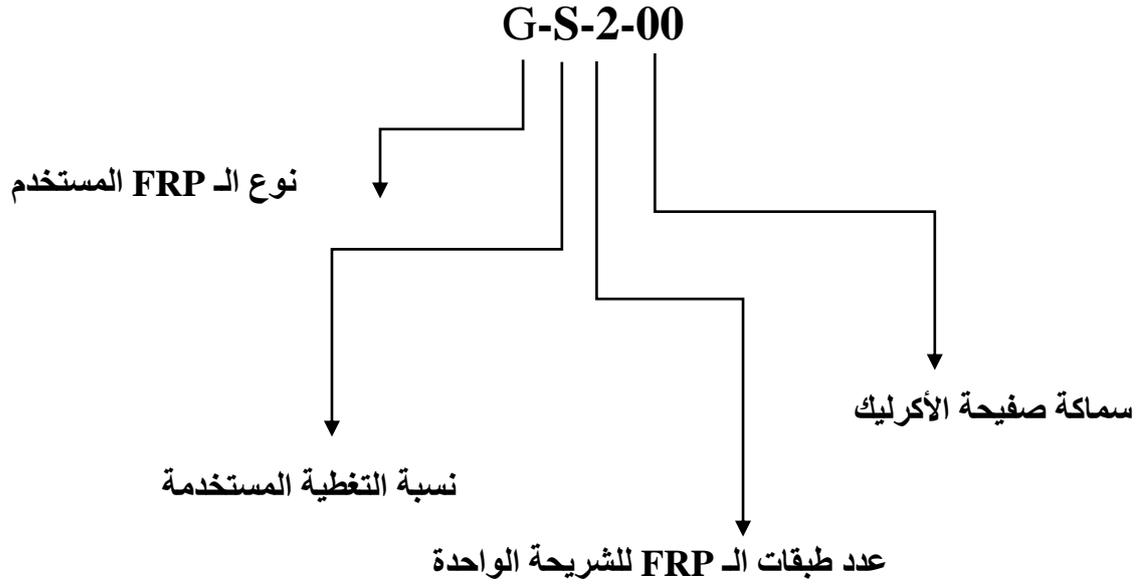
وأيضاً قام الباحثون , [ Mahmoud et al ,2004 ] بدراسة أثر تقوية الأعمدة الخرسانية تحت تأثير الحمولات المحورية المركزية على قدرة تحملها باستخدام مادة الـ FRP وهذه الدراسة هي التي سيتم اعتمادها في النمذجة حيث تم أخذ 12 عينة بأبعاد 200×200×1500 mm واعتبار عمودين من الأعمدة المستخدمة كعمودين مرجعيين والأعمدة المتبقية قد تمت تقويتها بشرائح الـ FRP ( , CFRP GFRP ) ويبين الجدول (3- 2) مواصفات الأعمدة المستخدمة :

جدول (3-2) : مواصفات الأعمدة المستخدمة , [ Mahmoud et al ,2004 ]

Column	FRP Sheets Type	Wrapping method	Sandwich plate thickness	Confinement ratio %	Percentage of wrapping
R1	-	-	0	0	0
R2	-	-	0	0	0
G-S-2-00	E-Glass	Regular	0	2.60	50% (10 cm Strips)
G-F-2-00	E-Glass	Regular	0	5.20	100% (Full length)
G-S-2-10	E-Glass	Sandwich	10mm	2.60	50% (10 cm Strips)
G-S-3-10	E-Glass	Sandwich	10mm	3.90	50% (10 cm Strips)
G-F-2-06	E-Glass	Sandwich	6mm	5.20	100% (Full length)
G-F-2-10	E-Glass	Sandwich	10mm	5.20	100% (Full length)
C-S-2-00	Carbon	Regular	0	2.00	50% (10 cm Strips)
C-F-2-00	Carbon	Regular	0	4.00	100% (Full length)
C-S-2-10	Carbon	Sandwich	10mm	2.00	50% (10 cm Strips)
C-F-2-10	Carbon	Sandwich	10mm	4.00	100% (Full length)

حيث :

- Control ( R1,R2) : عمود خرساني بدون مادة الـ FRP
- G-S-2-00 : عمود خرساني مدعم بطبقتين من الـ GFRP داخلية وخارجية بنسبة تغطية 50% وبدون صفيحة أكرليك
- C-F-2-10 : عمود خرساني مدعم بطبقتين من الـ CFRP داخلية وخارجية بنسبة تغطية 100% ومع صفيحة أكرليك

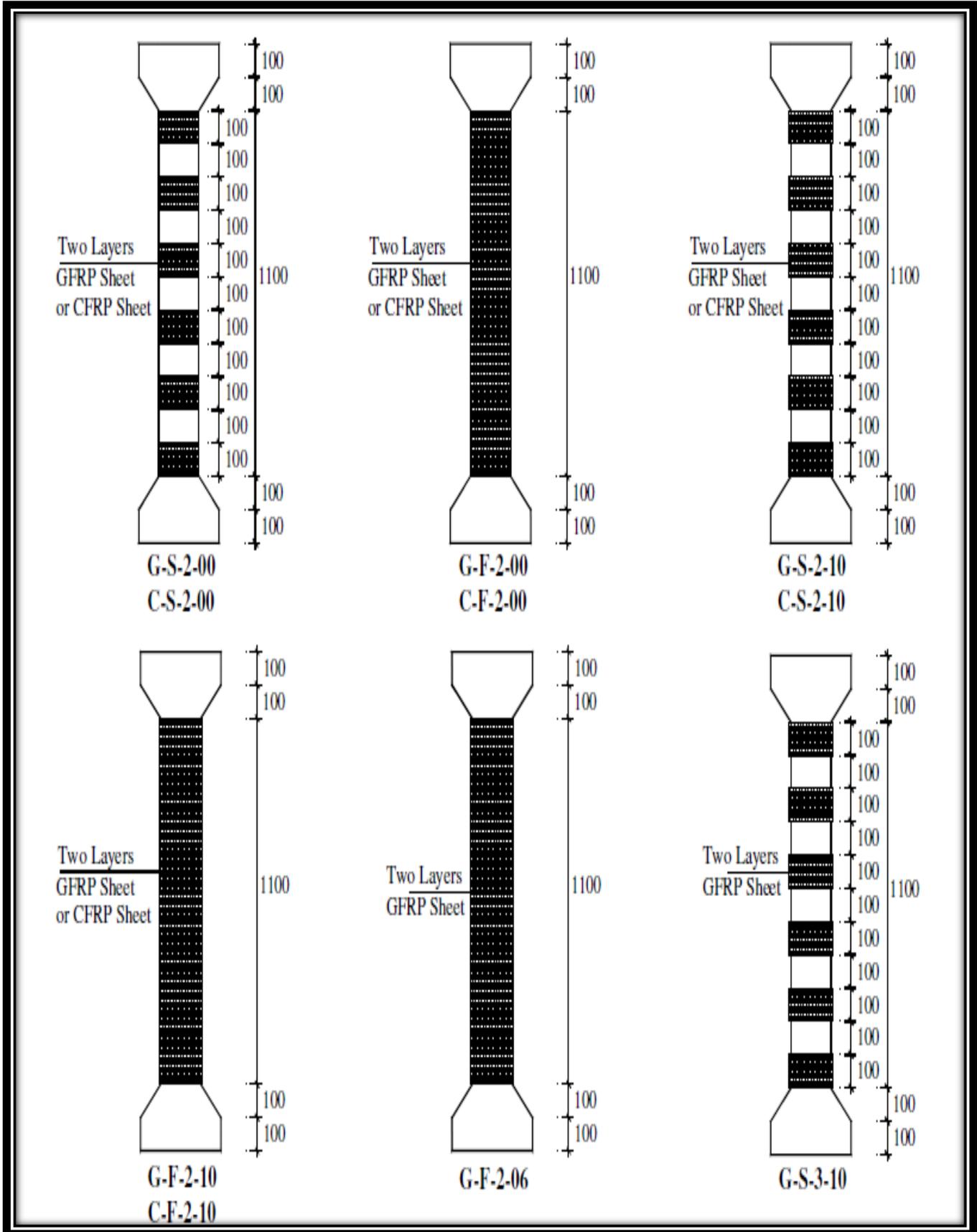


وتمت في هذه الدراسة تقوية كل عمود بطبقتين من الـ FRP طبقة داخلية وأخرى خارجية حيث تم أخذ شرائح الـ CFRP من النوع Tyfo SCH-41S وشرائح الـ GFRP من النوع Tyfo SHE-51A ويبين الجدول (4-2) مواصفات الـ FRP المستخدمة في التقوية :

جدول (4-2) : مواصفات مادة الـ FRP , [ Mahmoud et al ,2004 ]

	Dry properties of FRP sheets				Gross laminate properties			
	Tensile strength	Tensile modulus	Ultimate elongation	Fiber thickness	Tensile strength	Tensile modulus	Elongation at break	Laminate thickness
	Gpa	Gpa		mm	Mpa	Gpa		mm
E-glass (GFRP)	3.24	72.4	4.50%	0.36	460	20.9	2.20%	1.30
Carbon (CFRP)	3.79	230	1.70%	0.28	876	72.4	1.20%	1.00

ويبين الشكل (10-2) نسبة التغطية المستخدمة للأعمدة سواء تغطية جزئية أو تغطية كاملة :



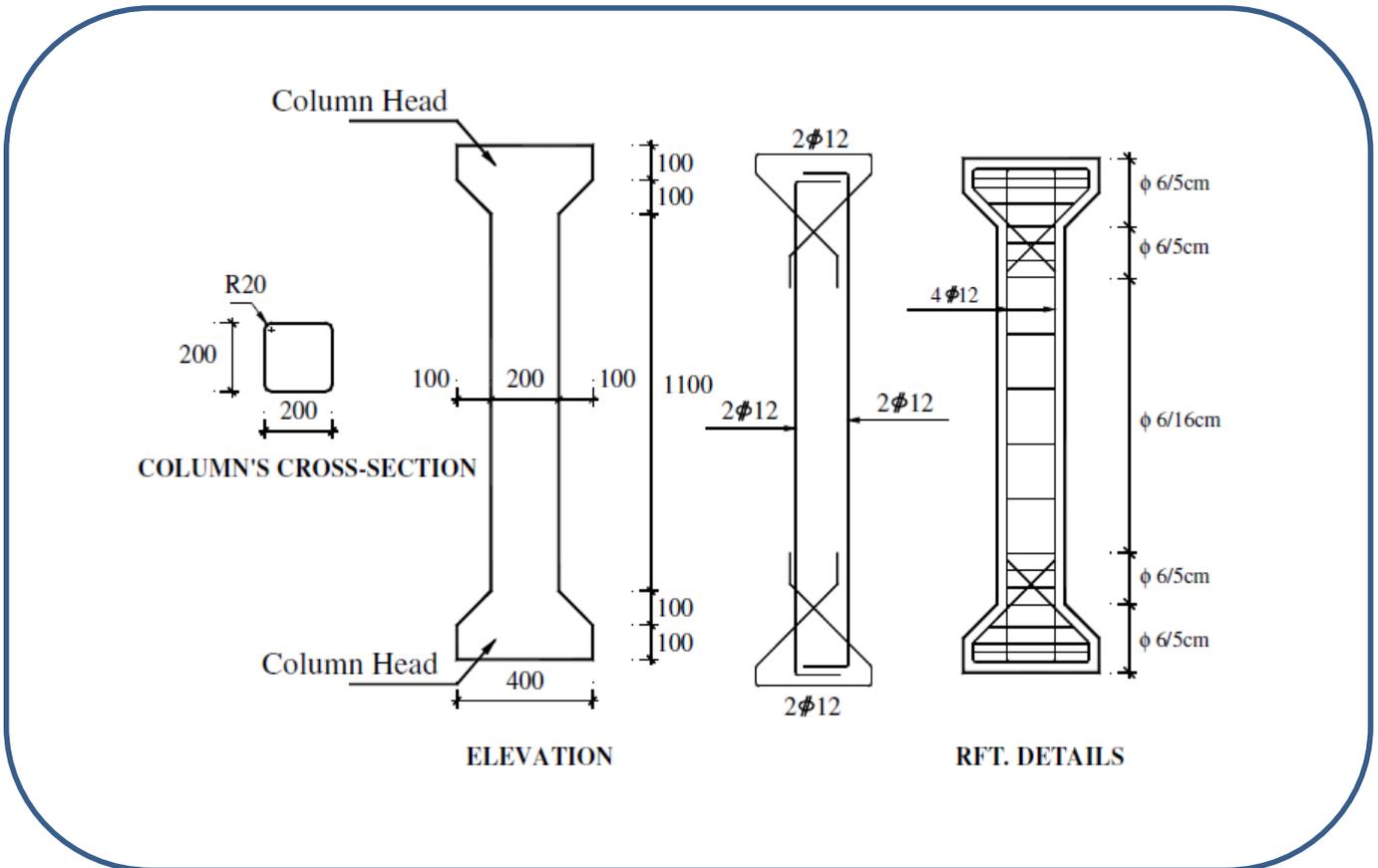
الشكل (10-2): نسبة التغطية في الأعمدة [ Mahmoud et al , 2004 ]

ويبين الجدول (5-2) مواصفات صفيحة الأكرليك المستخدمة في التجربة :

الجدول (5-2) مواصفات صفيحة الأكرليك المستخدمة في النمذجة , [ Mahmoud et al ,2004 ]

Tensile strength	68-75 Mpa	ASTM D 638
Elongation at break	4%	
Modulus of elasticity	2900-3200 Mpa	ASTM D 638
Compressive strength	110 Mpa	ASTM D 695

ويبين الشكل (11-2) أبعاد العمود المستخدم :



الشكل (11-2) : أبعاد وتسليح العمود المستخدم , [ Mahmoud et al ,2004 ]

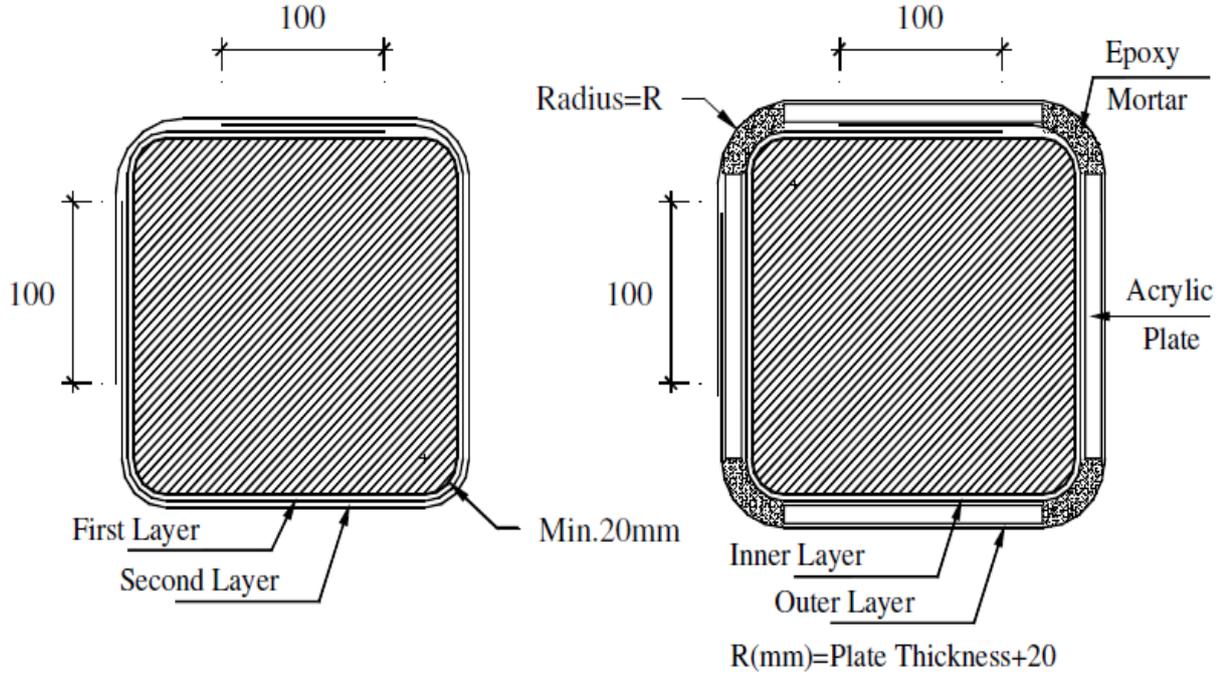


الشكل (12-2): عمود مقوى بشرائح الـ CFRP - (C-S-2-10) , [ Mahmoud et al ,2004 ]



الشكل (13-2) : عمود مقوى بشرائح الـ CFRP - (C-F-2-00) , [ Mahmoud et al ,2004 ]

ويبين الشكل (14-2) مقاطع الأعمدة مع أو بدون صفيحة الأكرليك :

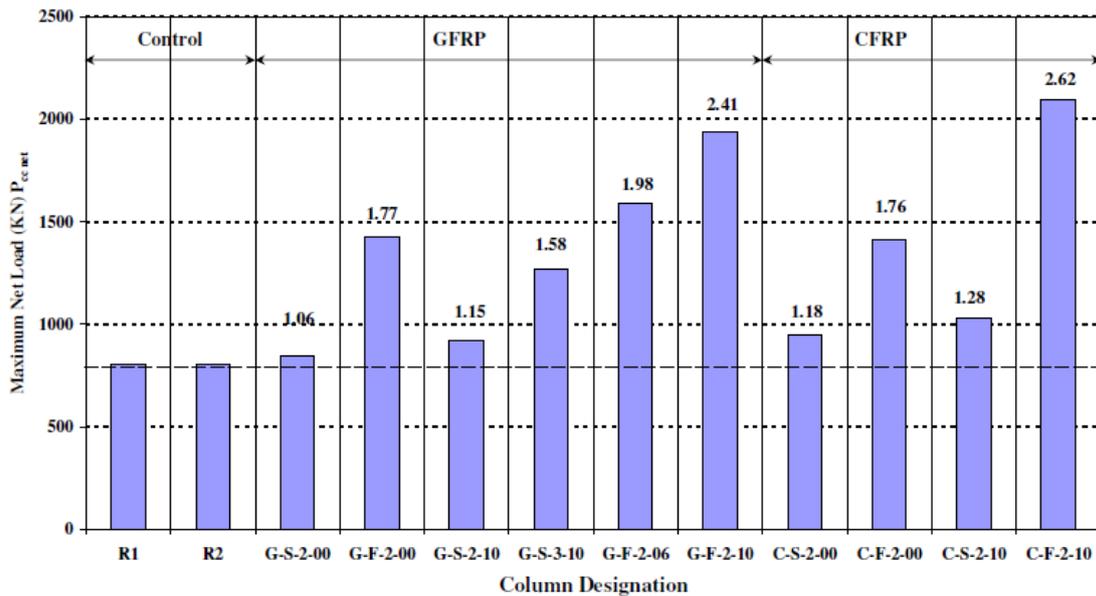


#### COLUMN REGULAR WRAPPING

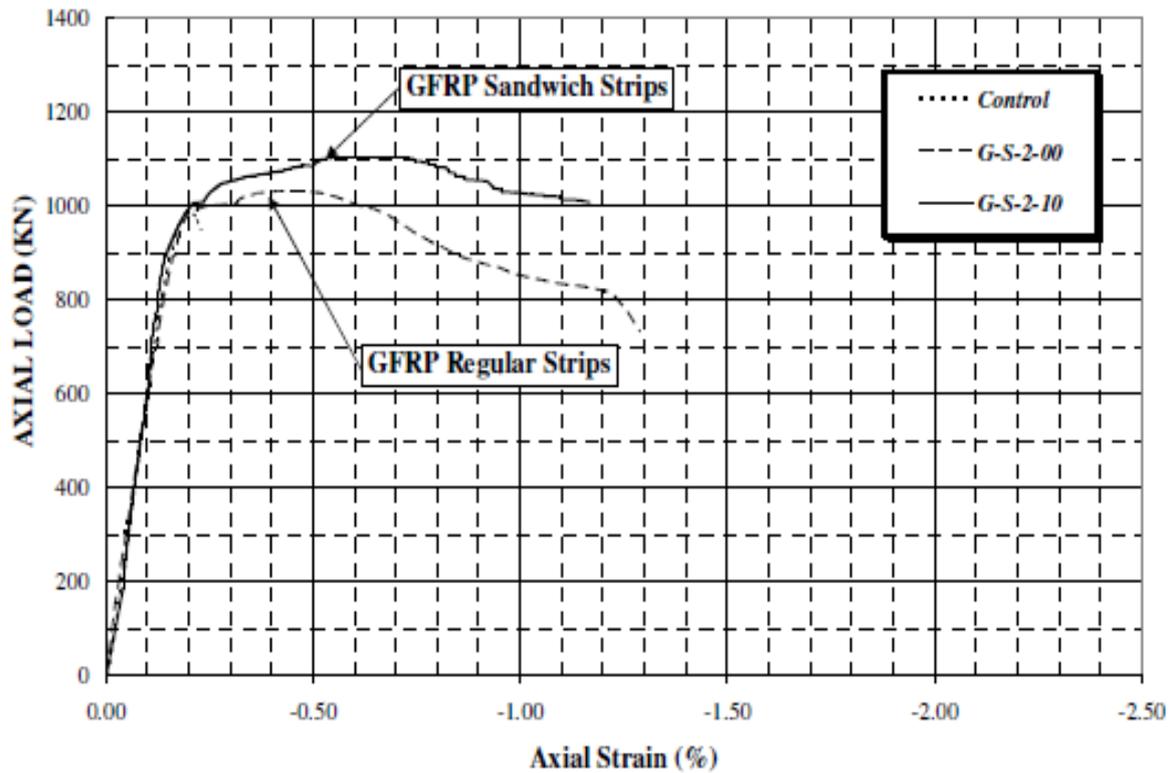
#### COLUMN SANDWICH WRAPPING

الشكل (14-2): تقوية مقاطع الأعمدة مع وبدون صفيحة الأكرليك , [ Mahmoud et al ,2004 ]

وتبين الأشكال ( 15-2 , 16-2 , 17-2 , 18-2 , 19-2 , 20-2 ) قدرة تحمل الأعمدة المستخدمة المقواة بشرائح مختلفة سواء بتغطية كاملة أو جزئية :

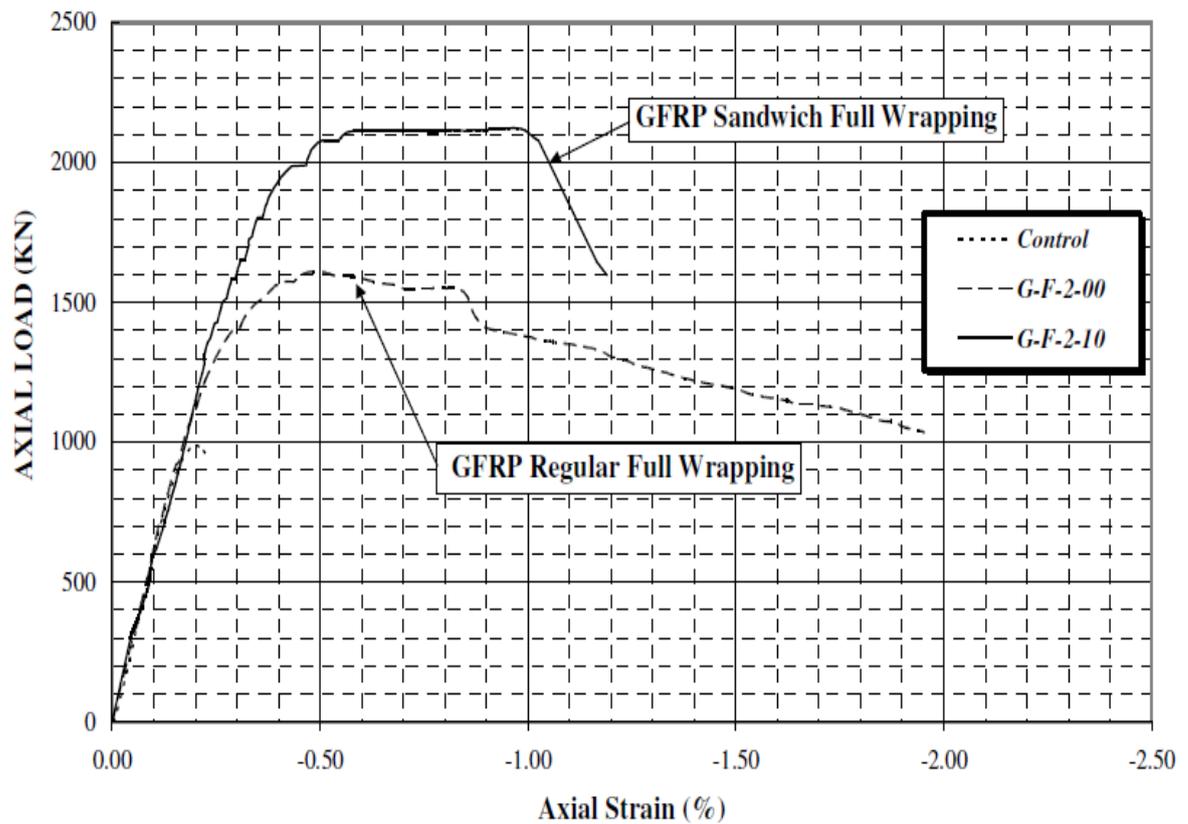


الشكل (15-2): قدرة تحمل الأعمدة , [ Mahmoud et al ,2004 ]



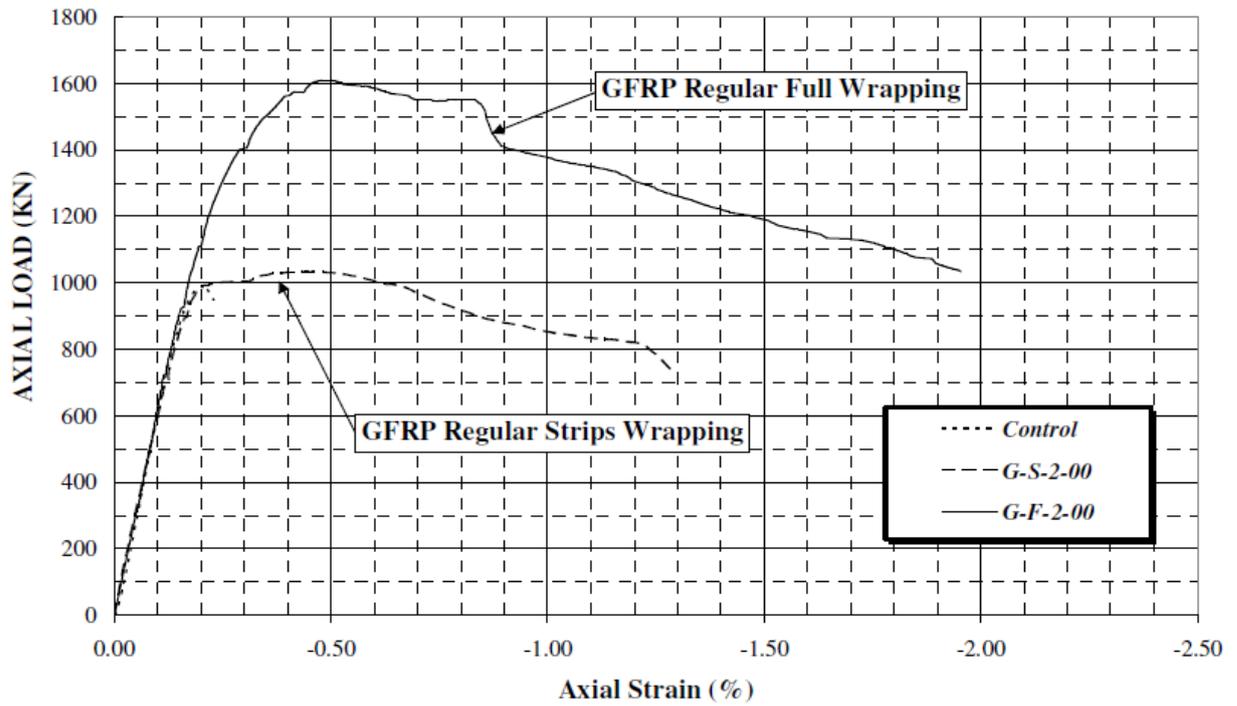
الشكل ( 16-2 ) : قدرة تحمل الأعمدة المقواة بشرائح الـ GFRP مع وبدون صفيحة الأكرليك مع تغطية جزئي

[ [Mahmoud et al ,2004]

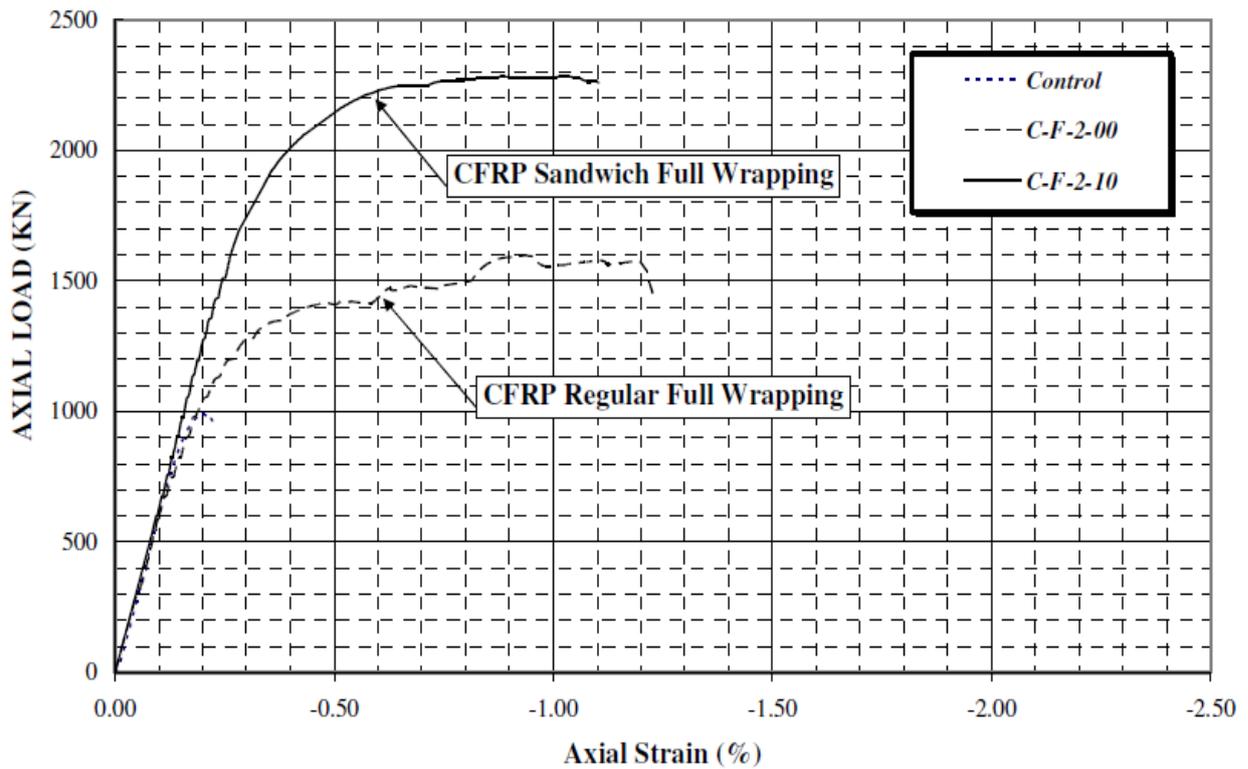


الشكل ( 17-2 ) : قدرة تحمل الأعمدة المقواة بشرائح الـ GFRP مع وبدون صفيحة الأكرليك مع تغطية كاملة

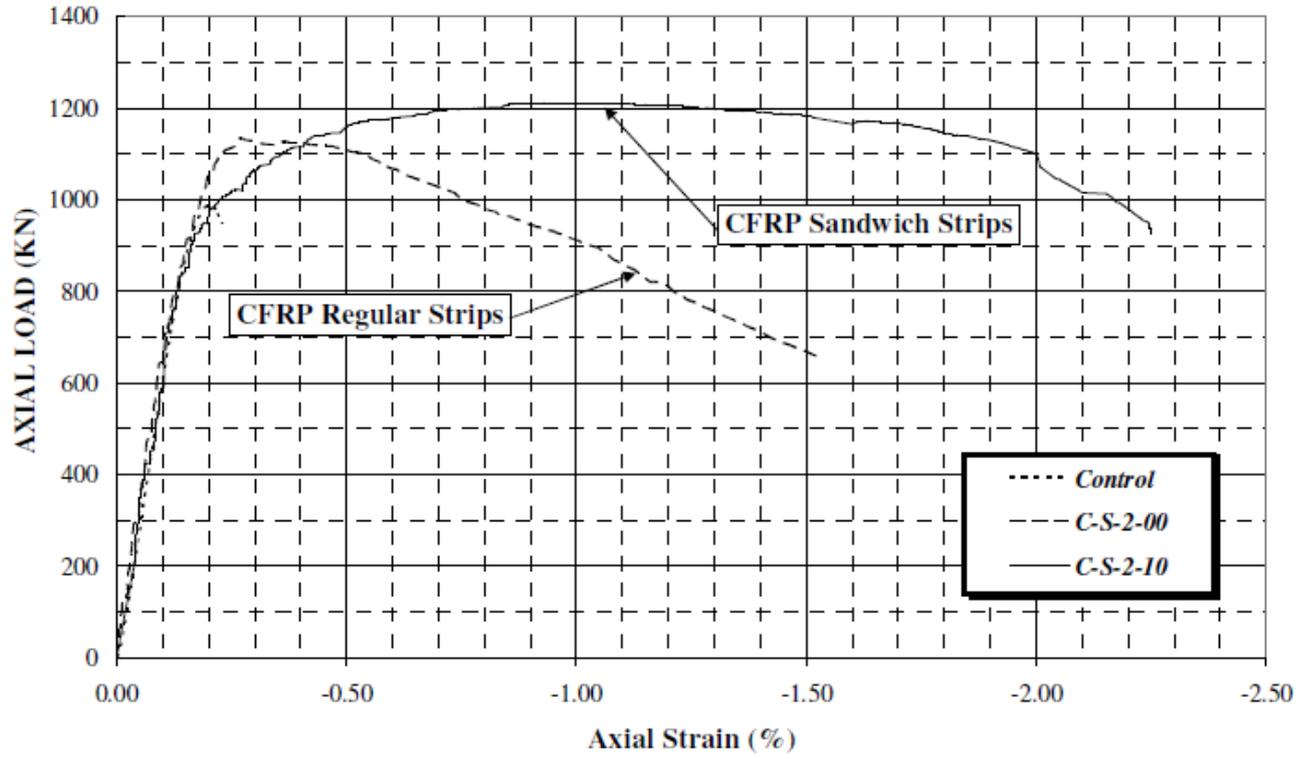
[ Mahmoud et al ,2004]



الشكل (18-2): قدرة تحمل الأعمدة المقواة بشرائح الـ GFRP بدون صفيحة الأكرليك مع تغطية كاملة وجزئية [ Mahmoud et al ,2004]



الشكل (19-2): قدرة تحمل الأعمدة المقواة بشرائح الـ CFRP ذات تغطية كاملة مع وبدون صفيحة الأكرليك [ Mahmoud et al ,2004]



الشكل (2-20) : قدرة تحمل الأعمدة المقواة بشرائح الـ CFRP مع وبدون صفيحة الأكرليك وذات تغطية جزئية [ Mahmoud et al ,2004 ]

## الفصل الثالث

التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

*Structural Analysis Using Finite Element Method*

## الفصل الثالث

### التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

### *Structural Analysis Using Finite Element Method*

#### 1-3- المقدمة :

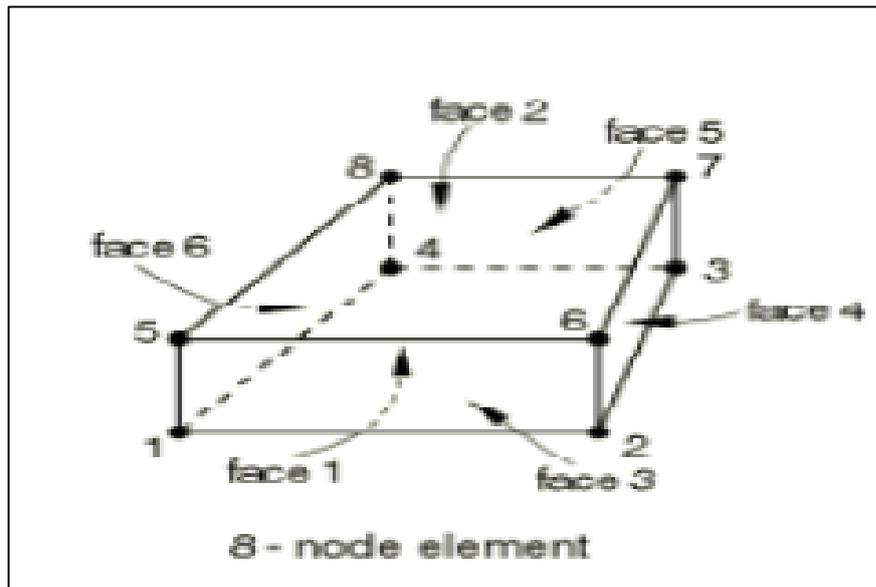
تتضمن عملية بناء نموذج عددي ثلاثي البعد 3D يحاكي الدراسة التجريبية التي قام بها الباحثون [ Mahmoud et al, 2004] حيث تمت التجربة على أعمدة خرسانية مربعة الشكل ومقواة بمادة الـ FRP تحت تأثير الحمولات المحورية

تمت هذه النمذجة باستخدام برنامج التحليل الإنشائي Abaqus واعتماد طريقة العناصر المحدودة . حيث تم بناء نموذج للعمود الخرساني ثم تمت تقوية هذا العمود بشرائح من مادتي الـ CFRP و GFRP وقورنت النتائج التحليلية مع نتائج الدراسة التجريبية .

#### 2-3- العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج ABAQUS :

#### 1-2-3 : العنصر المحدود (C3D8R) solid Element :

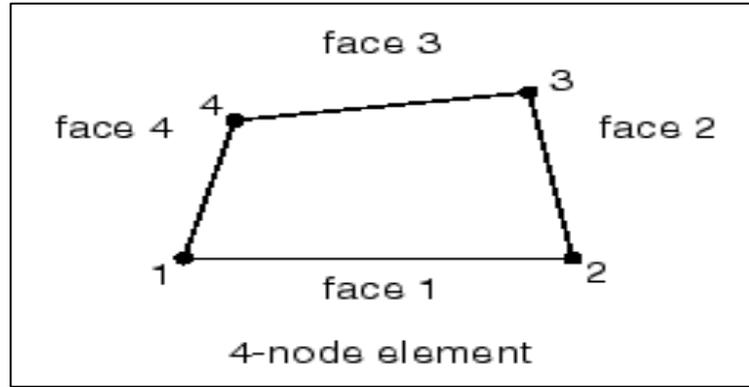
يستخدم هذا العنصر لنمذجة العمود الخرساني حيث يحتوي على 8 عقد ولكل عقدة 6 درجات حرية وهي الانتقالات بالاتجاهات XYZ , كما هو موضح في الشكل ( 1-3 )



الشكل ( 1-3 ) : العنصر المحدود (C3D8R) [Abaqus. Ver 6.12]

### 2-2-3 : العنصر المحدود (S4R) Shell Element :

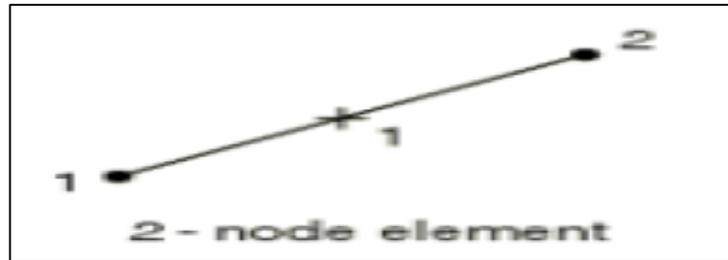
يستخدم هذا العنصر لنمذجة العناصر الإنشائية التي تكون ذات سماكة أصغر بكثير بالنسبة للبعدين الآخرين وكذلك يستخدم لنمذجة شرائح الـ FRB حيث يتألف هذا العنصر من 4 عقد ولكل عقدة 3 درجات حرية كما هو مبين في الشكل (2-3)



الشكل (2-3) : العنصر المحدود (S4R) [Abaqus. Ver 6.12]

### 3-2-3 : العنصر المحدود (T3D2) truss Element :

يستخدم هذا العنصر لنمذجة فولاذ التسليح الطولي والعرضي ويتألف من عقدتين ولكل عقدة درجتان حرية كما هو مبين في الشكل (3-3)



الشكل (3-3) : العنصر المحدود T3D2 [Abaqus. Ver 6.12]

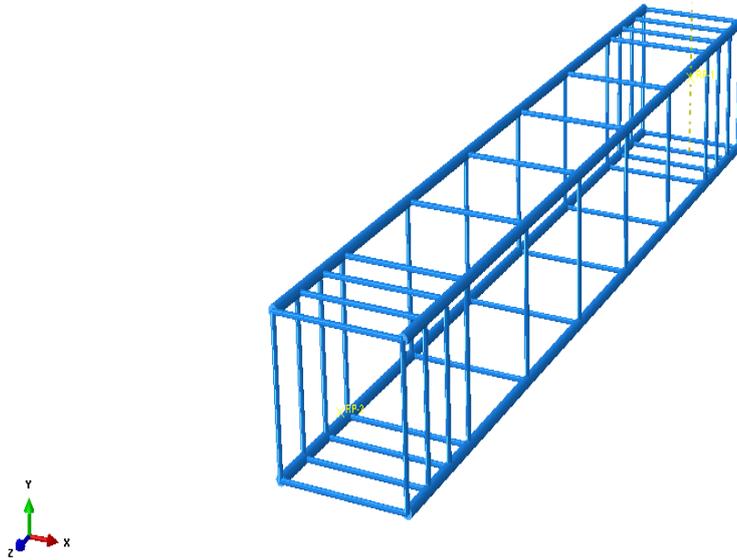
وتم افتراض التماسك بين البيتون المسلح والفولاذ تماسك تام (Embedded Region). وكذلك تم ربط البيتون وشرائح الـ FRP بواسطة (Tie Region) بحيث لا يوجد أي انتقالات نسبية بين البيتون والـ FRP

### 3-3- نوع التحليل المستخدم في النموذج (Type of used analysis) :

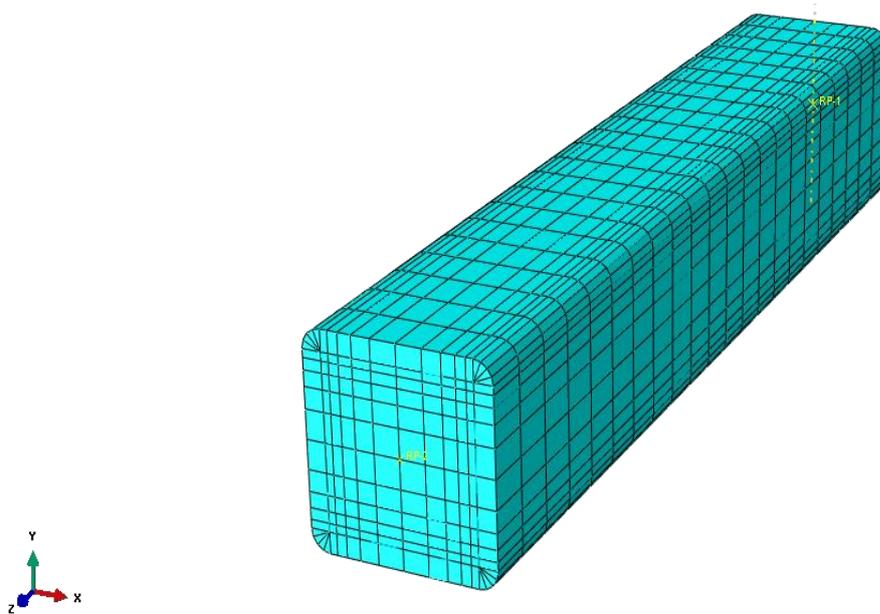
تم اعتماد تحليل لا خطي يأخذ بعين الاعتبار لاختية المادة (Materially Non-Linear Analysis, MNA)

### 4-3- الشروط المحيطة للنموذج المدروس ( Boundary Condition ) :

تم تقييد عقد العمود الخرساني مربع الشكل في المستوي السفلي على الانتقالات والدورانات وفي الأعلى تم وضع حمل محوري مركزي بما يوافق الدراسة التجريبية



الشكل (4-3) : تفصيل التسليح المستخدم في النموذج [Abaqus. Ver 6.12]



الشكل (5-3) : نموذج للعمود الخرساني مع التقسيمات المستخدمة بدون FRP [Abaqus. Ver 6.12]

### 3-5- توصيف المواد المستخدمة في النمذجة ( Materials Used in Modeling ) :

تحتوي قاعدة بيانات برنامج ABAQUS ثلاثة طرق مختلفة لنمذجة البيتون وهي :

1. Concrete Smearred Cracking Model
2. Cracking Model for concrete ( Brittle Cracking Model )
3. Concrete damage plasticity

كل طريقة من هذه الطرق معدة من أجل إمكانية نمذجة البيتون والبيتون المسلح .

الطريقة الأولى في نمذجة البيتون تستخدم عند تطبيق حمولات متزايدة ( pushover loading ) ولا تصلح عند تطبيق الحمل الدوري ( cycling loading ) وانهار البيتون يكون إما بسبب التشقق على الشد أو التحطم على الضغط أما الطريقة الثانية تستخدم في الحالات التي يكون فيها انهيار البيتون على الضغط والشد غير مهم حيث يعتبر سلوك البيتون على الضغط سلوكاً "مرناً" (Elastic Behavior) أما الطريقة الثالثة تستخدم في حالات التحميل الدوري (cycling loading) وحالات التحميل الرتيب حيث يأخذ بعين الاعتبار تأثير استرداد القساوة المرنة عند انعكاس الحمولة من الشد إلى الضغط . ولذلك تعد الطريقة الثالثة هي الطريقة الأفضل في نمذجة البيتون [Abaqus. Ver 6.12]

ويشير الشكل (3-6) عن منحنى الإجهاد – التشوه على الضغط المحوري لطريقة الـ CDP حيث يمثل المحور الأفقي التشوه النسبي للبيتون على الضغط  $\epsilon_c$  بينما يمثل المحور الشاقولي إجهاد الضغط في البيتون  $\delta_c$  حيث يكون سلوك البيتون على الضغط مرناً خطياً حتى الوصول إلى قيمة الإجهاد الابتدائي  $\delta_{c0}$  بعدها يبدأ السلوك اللاخطي للمادة وتسمى هذه المرحلة بمرحلة التقسية على الضغط ( Compression Hardening ) ثم يبدأ المنحني بالانخفاض مع ازدياد التشوهات وتسمى هذه المرحلة بال (Strain softening) وذلك نتيجة ظهور أول شق فتضعف مقاومة المادة بسبب ازدياد التشققات واتصالها فيما بينها . وفي هذه المرحلة عند إزالة الحمولة في أي نقطة من منحنى الإجهاد– التشوه على الضغط تتناقص قساوة المادة حيث يتم التعبير عن انخفاض القساوة  $d_c$  الذي يسمى معامل تخفيض القساوة على الضغط وتتراوح قيمته بين الصفر (المادة غير متشققة) إلى الواحد (المادة قد فقدت كامل مقاومتها) . ويعبر الخط المنقط ذو الميل  $E_0$  حيث (  $E_0$  معامل المرونة الابتدائي ) (Initial Modulus of Elasticity) عن السلوك المرناً للمادة عند إزالة الحمل , كما يعبر الخط المنقط ذو الميل  $E_0 (1 - d_c)$  عن السلوك اللدن للمادة عند إزالة التحميل وهذا ناتج عن انخفاض قساوة المادة نتيجة ظهور تشوهات الضغط اللدنة المتبقية في المادة  $\epsilon_c^{pl}$  والتي تعطى بالعلاقة (10) :

$$\epsilon_c^{pl} = \epsilon_c - \epsilon_{oc}^{el} \cdot \frac{1}{1-d_c} \quad (10)$$

حيث  $\epsilon_c^{in}$  يمثل التشوه غير المرناً (Inelastic strain) ويعطى بالعلاقة (11) :

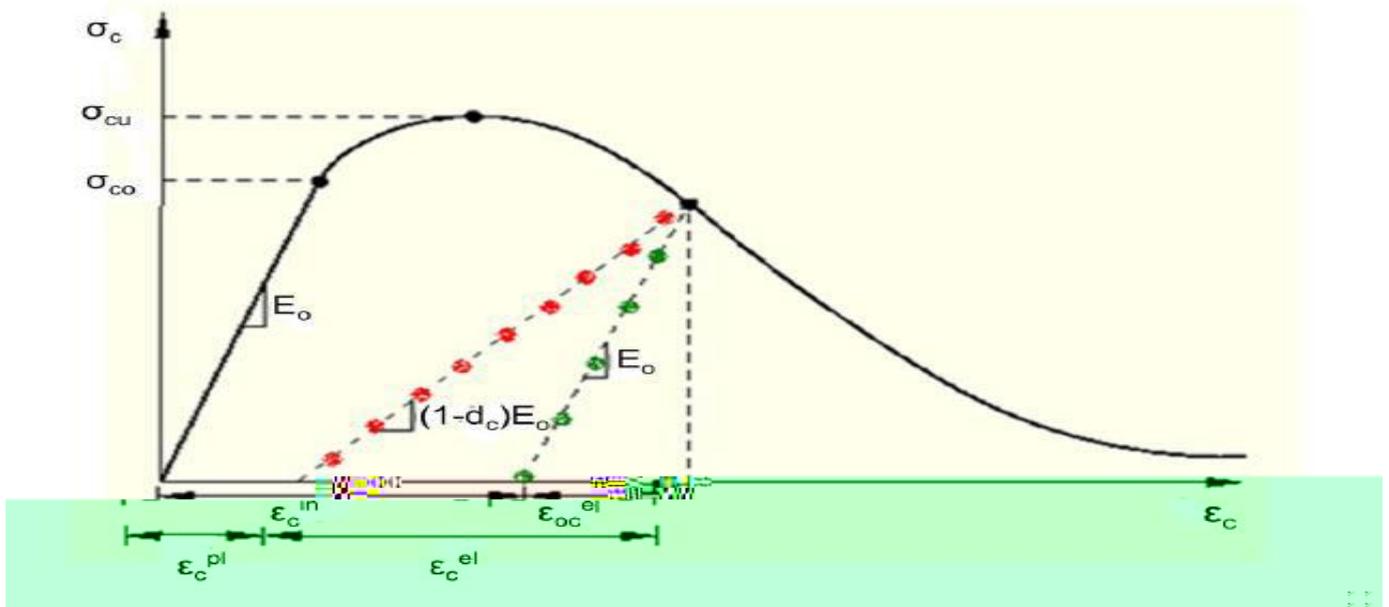
$$\epsilon_c^{in} = \epsilon_c - \epsilon_{oc}^{el} \quad (11)$$

$$d_c = \frac{\sigma_{cu} - \sigma_c}{\sigma_{cu}} \quad (12)$$

$\epsilon_c$  : التشوه الكلي الحاصل عند نقطة معينة من منحنى الإجهاد - التشوه النسبي على الضغط غير المحوري .

$\epsilon_{oc}^{el}$  : التشوه المرن الذي ينتج من تقسيم إجهاد الضغط الناتج عن النقطة المذكورة  $\sigma_c$  على معامل المرونة الابتدائي  $E_0$  ويعطي بالعلاقة (13) :

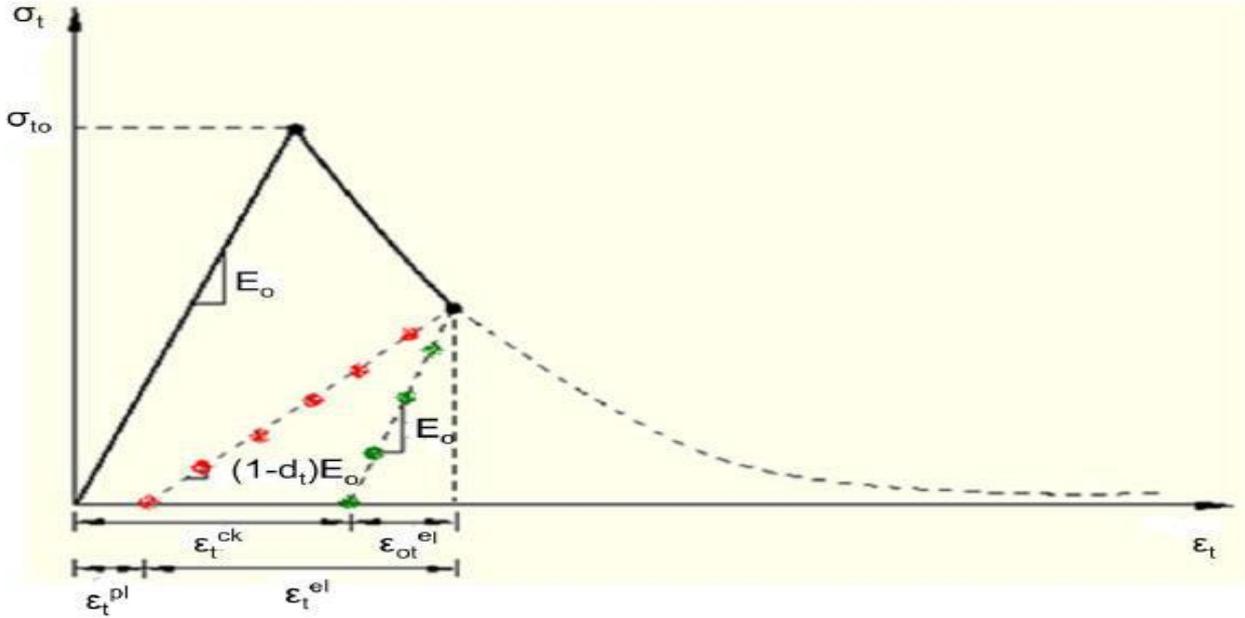
$$\epsilon_{oc}^{el} = \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (13)$$



الشكل ( 6-3 ) : مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الضغط [ Abaqus. Ver 6.12 ]

أما الشكل ( 7-3 ) يمثل تصرف البيتون تحت تأثير الشد المحوري ويكون السلوك خطياً حتى الوصول إلى قيمة الإجهاد الحدي  $\sigma_{t0}$  والذي يترافق مع ظهور أول شق في مادة البيتون , ثم بعد ذلك ينحدر الخط إلى الأسفل في سلوك لا خطي مع استمرار التشوهات بالإزدياد ويوافق ذلك بدء التشققات بالظهور والانتساع , تسمى هذه المرحلة ( strain softening ) . و يتبين من الشكل أنه عند إزالة الحمل في نقطة من هذه المرحلة فإنها تعود بميل  $E_0$  وتتناقص قساوة المادة حيث يتم التعبير عن انخفاض القساوة بالمعامل  $d_t$  والذي يسمى معامل تخفيض القساوة على الشد وتتراوح قيمه بين الصفر (المادة سليمة غير متشققة ) إلى الواحد (المادة قد فقدت كامل مقاومتها) . ويعبر الخط المنقط ذو الميل  $E_0 (1 - d_t)$  عن أنّ البيتون عند إزالة الحمل يسلك سلوك لدن بالمقارنة مع الخط المنقط ذو الميل  $E_0$

الذي يعبر عن السلوك المرن للمادة . ويلاحظ انخفاض ميل الخط المنقط إلى  $(1 - d_t)$  وهذا بسبب انخفاض قساوة المادة الناتجة عن إزالة الحمولة بسبب ظهور تشوهات الشد اللدنة المتبقية في المادة  $\epsilon_t^{pl}$  والتي تعطى بالعلاقة (14) :



الشكل (7-3): مخطط الإجهاد – التشوه النسبي للبيتون على الشد [Abaqus. Ver 6.12]

$$\epsilon_t^{pl} = \epsilon_t - \epsilon_{ot}^{el} \cdot \frac{1}{1-d_t} \quad (14)$$

حيث :

$\epsilon_t^{ck}$  : تشوه التشقق (cracking strain) ويحدد بالعلاقة (15) :

$$\epsilon_t^{ck} = \epsilon_t - \epsilon_{ot}^{el} \quad (15)$$

$\epsilon_{ot}^{el}$  : التشوه المرن عند النقطة من المنحني والتي تنتج من حاصل تقسيم إجهاد الشد عند النقطة المذكورة على معامل المرونة الابتدائي  $E_0$  كما في العلاقة (16) :

$$\epsilon_{ot}^{el} = \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (16)$$

أما  $d_t$  هو معامل تخفيض القساوة على الشد ويعطى بالعلاقة (17):

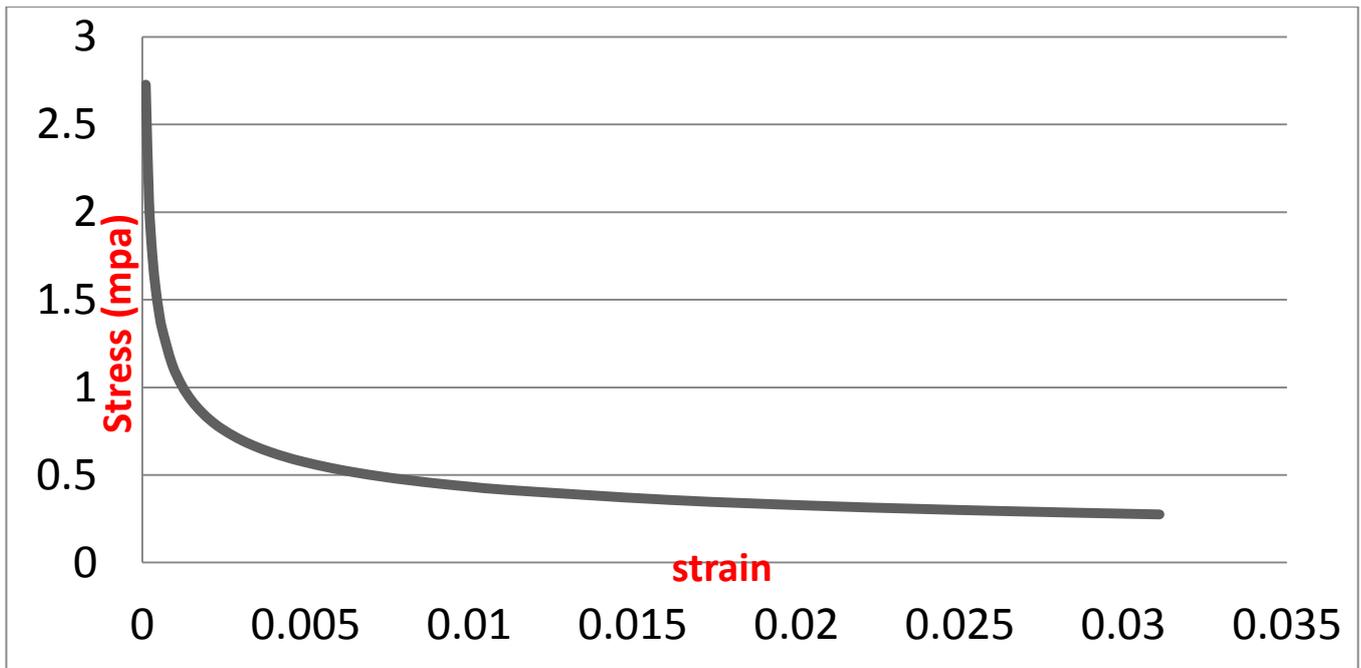
$$d_t = \frac{\sigma_{to} - \sigma_t}{\sigma_t} \quad (17)$$

ولتوصيف مادة البيتون في الدراسة الحالية تم اعتماد مخطط الاجهاد – التشوه النسبي للبيتون كما في الشكل (1-2) ومن الدراسة التجريبية التي قام بها الباحثون [ Mahmoud et al , 2004 ] بلغت المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون على الضغط  $f_c' = 20 \text{ MPa}$  وبالاعتماد على العلاقات (4), (5), (6) تم حساب معامل المرونة الابتدائي للبيتون  $E_{cm} = 27085.18 \text{ MPa}$  ومن خلال العلاقة (1) تم رسم منحنى الاجهاد – التشوه النسبي للبيتون على الضغط كما هو مبين في الشكل (8-3)



الشكل ( 8-3 ) : تصرف البيتون على الضغط – الدراسة الحالية

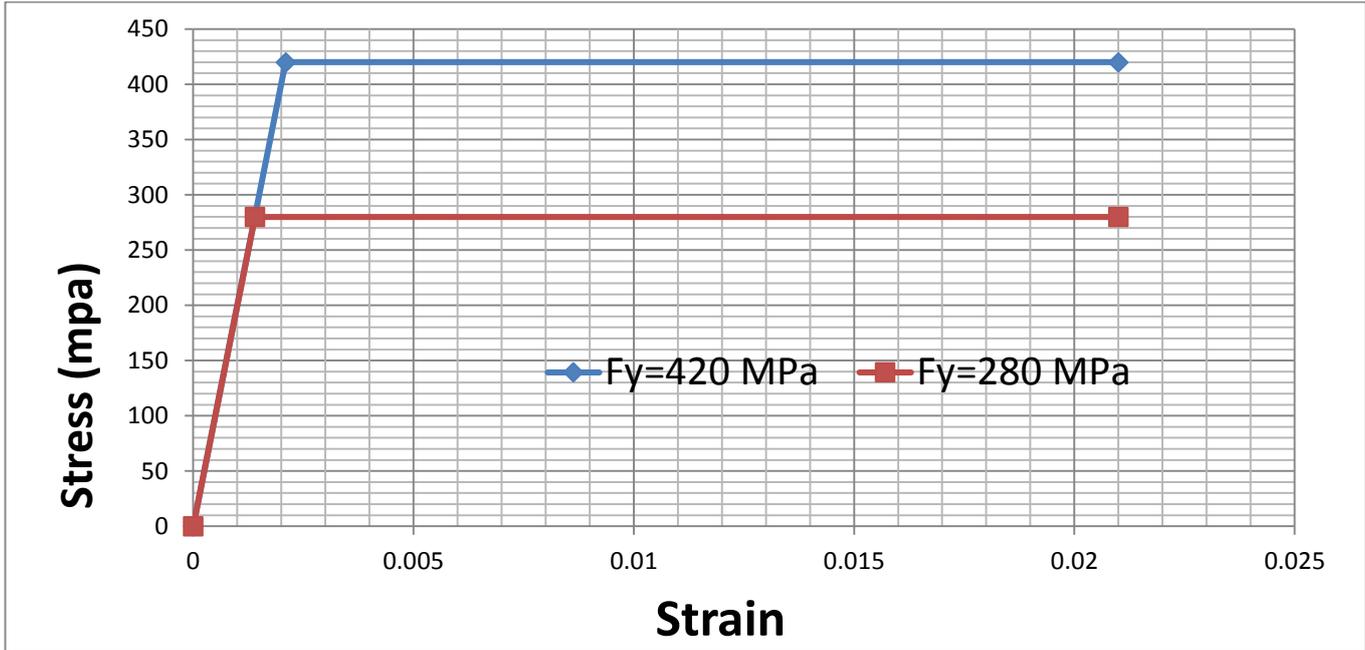
أما بالنسبة لتصرف البيتون على الشد تم اعتماد العلاقات الواردة في الفقرة 2-1-5-2- لرسم مخطط الاجهاد – التشوه النسبي للبيتون على الشد كما هو مبين في الشكل (9-3) :



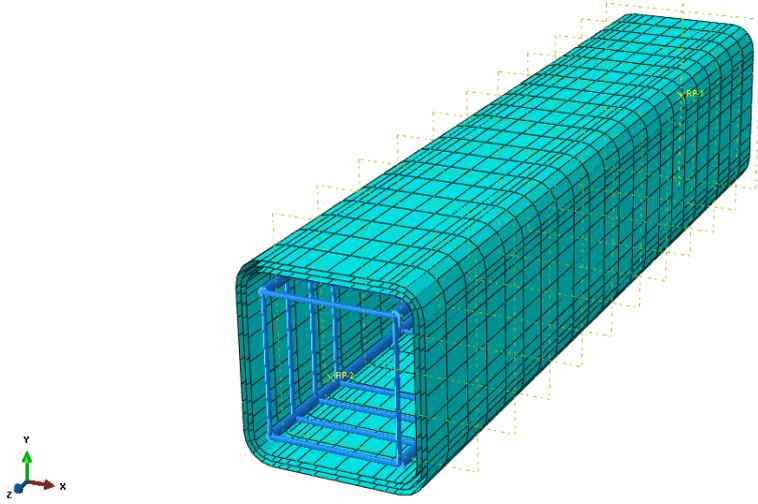
الشكل ( 9-3 ) : مخطط الإجهاد- التشوه النسبي المكافئ للبيتون على الشد

وتم أخذ إجهاد الخضوع للتسليح الطولي ذو القطر 12mm ( $f_y = 420\text{MPa}$ )، ومعامل المرونة  $E_s = 200\text{ GPa}$  فيما تم أخذ إجهاد الخضوع للتسليح العرضي ذو القطر 6 mm ( $f_y = 280\text{MPa}$ )، ومعامل المرونة  $E_s = 200\text{ GPa}$  وفقاً للدراسة التجريبية ويوضح الشكل (10-3) علاقة الإجهاد - التشوه النسبي لفولاذ التسليح، حيث تكون العلاقة خطية مرنة حتى الوصول إلى إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح العرضي والطولي الموافقين لتشوه نسبي يحسب من العلاقة 18 ثم بعدها يبقى الإجهاد ثابتاً مع ازدياد التشوهات

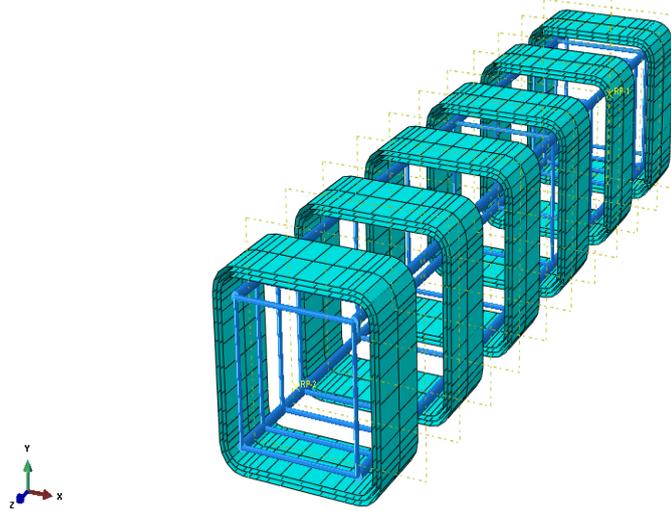
$$\epsilon_c = \frac{f_y}{E_s} \quad (18)$$



الشكل (10-3): مخطط الإجهاد- التشوه النسبي المفترض للتسليح الطولي و العرضي للعمود المستخدم



الشكل (11-3): نموذج للعمود الخرساني حيث أن نسبة التغطية المستخدمة 100% [Abaqus. Ver 6.12]

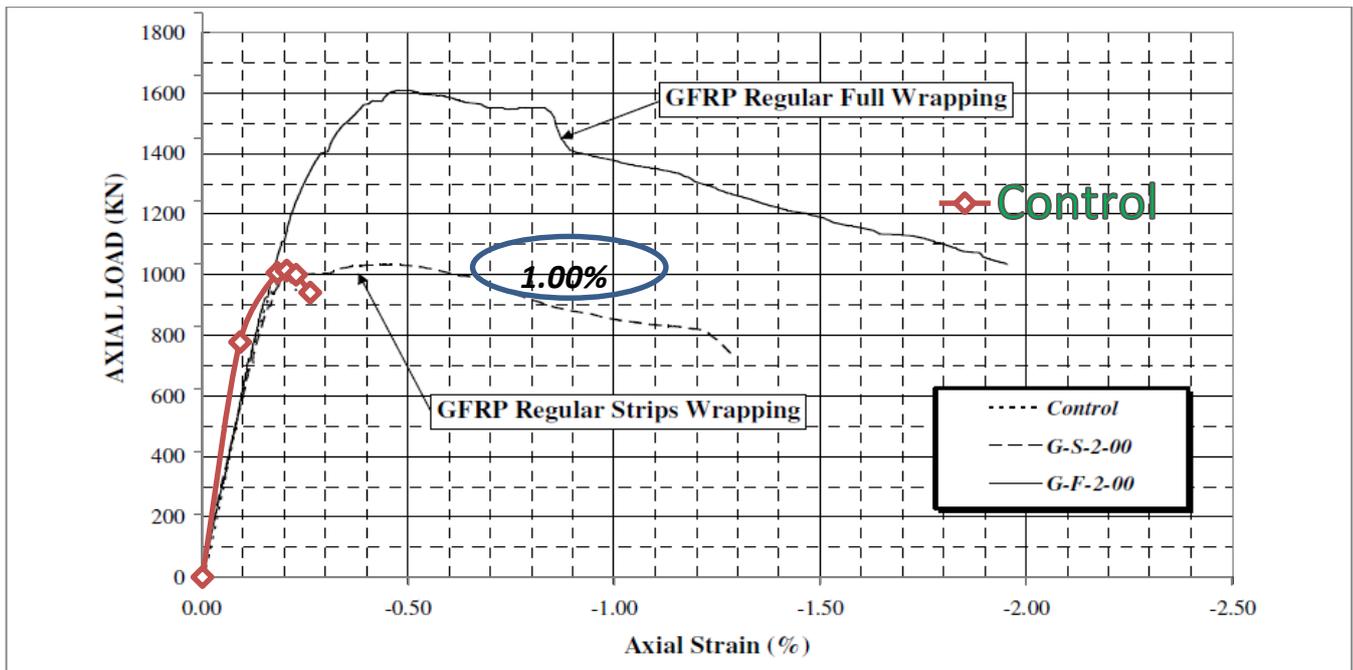


الشكل (12-3) : نموذج للعمود الخرساني حيث أن نسبة التغطية المستخدمة 50% [Abaqus. Ver 6.12]

### 6-3- التحقق من النماذج و مقارنة النتائج التحليلية :

#### 1-6-3 : حالة عمود خرساني بدون الـ FRP ( Concrete Column ) :

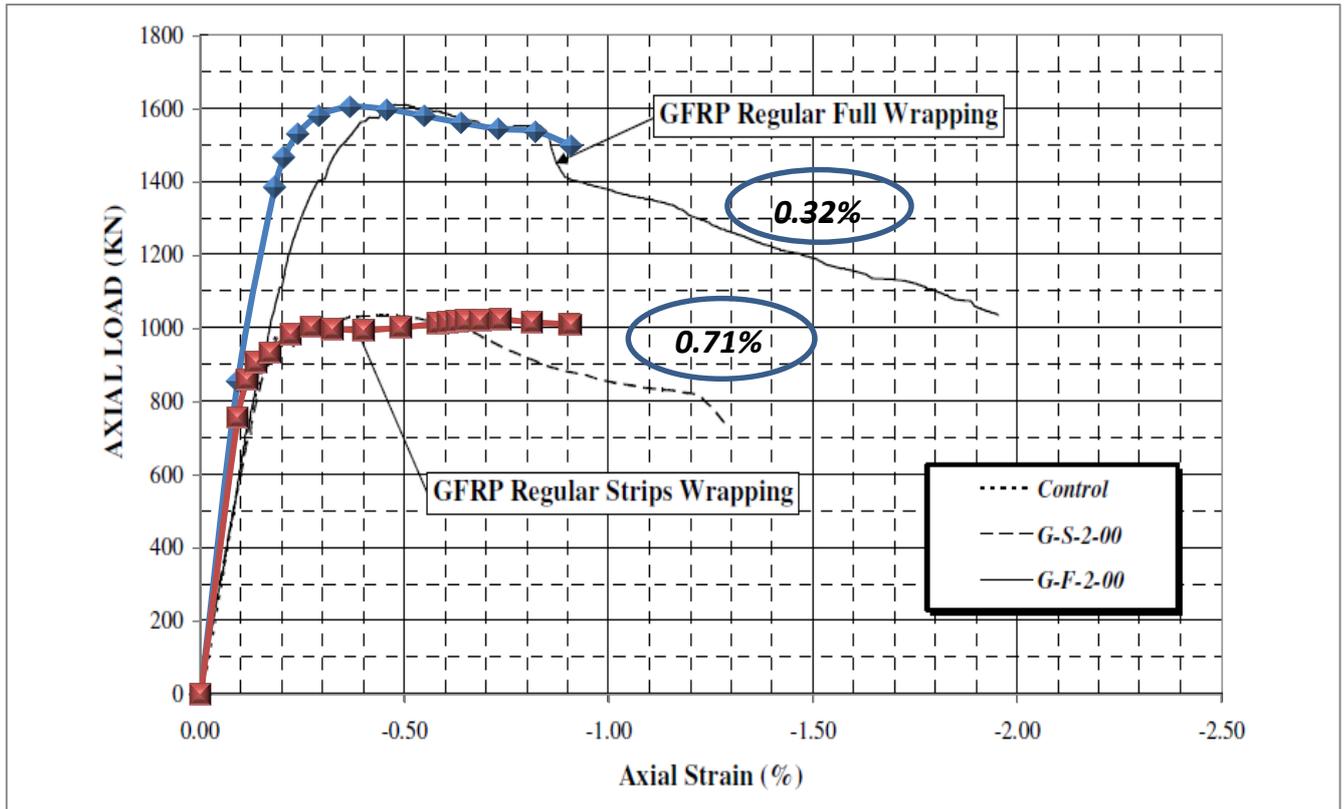
يوضح الشكل (13-3) نتائج المقارنة مع الدراسة التجريبية حيث يمثل المحور الأفقي الإجهاد المحوري Axial Strain والمحور الشاقولي الحمولة المحورية (Axial Load) وقد بلغت الحمولة الأعظمية للعمود المرجعي 978.127kN وبالمقارنة مع النتائج التجريبية كان الفرق في قدرة التحمل بمقدار 1.00%



الشكل (13-3) : العمود المرجعي من دون FRP

**2-6-3 : مقارنة بين عمودين خرسانيين تمت تقويتهما بمادة الـ GFRP وتم التغليف بدون صفيحة الأكرليك مع اختلاف نسبة التغطية**

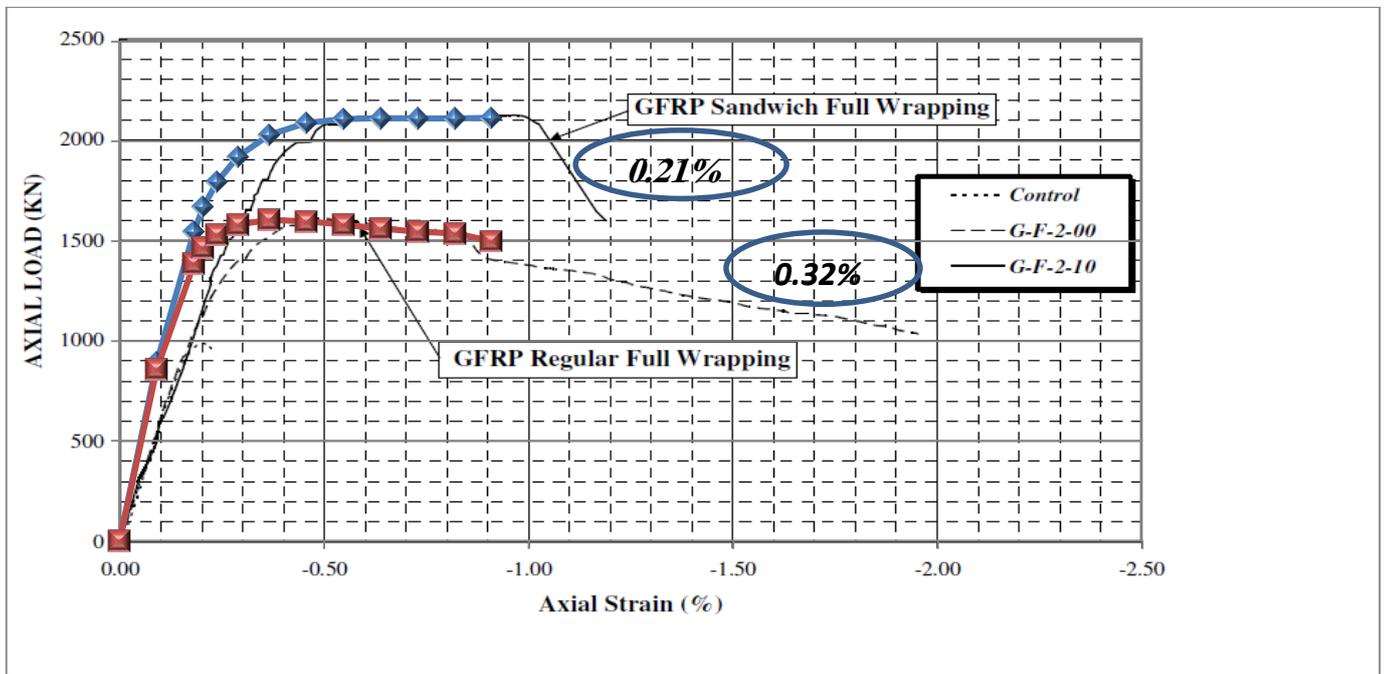
تم تقوية العمودين بطبقتين من الـ GFRP أحدهما تم تغليفه بنسبة تغطية 50% (G-S-2-00) والآخر بنسبة 100% (G-F-2-00) وقد بلغت الحمولة الأعظمية للعمودين 1025.75 kN , 1606.53 KN على التوالي وبالمقارنة مع النتائج التجريبية كان الفرق في قدرة التحمل بمقدار 0.71% , 0.32% على التوالي كما هو مبين في الشكل ( 14-3 )



الشكل ( 14-3 ) : مقارنة بين عمودين خرسانيين مقويين بمادة الـ GFRP وتم التغليف بدون صفيحة الأكرليك مع اختلاف نسبة التغطية

**3-6-3 : حالة مقارنة بين عمودين خرسانيين تمت تقويتهما بمادة الـ GFRP وكلاهما بنسبة تغطية واحدة (100%) مع اختلاف طريقة التغليف**

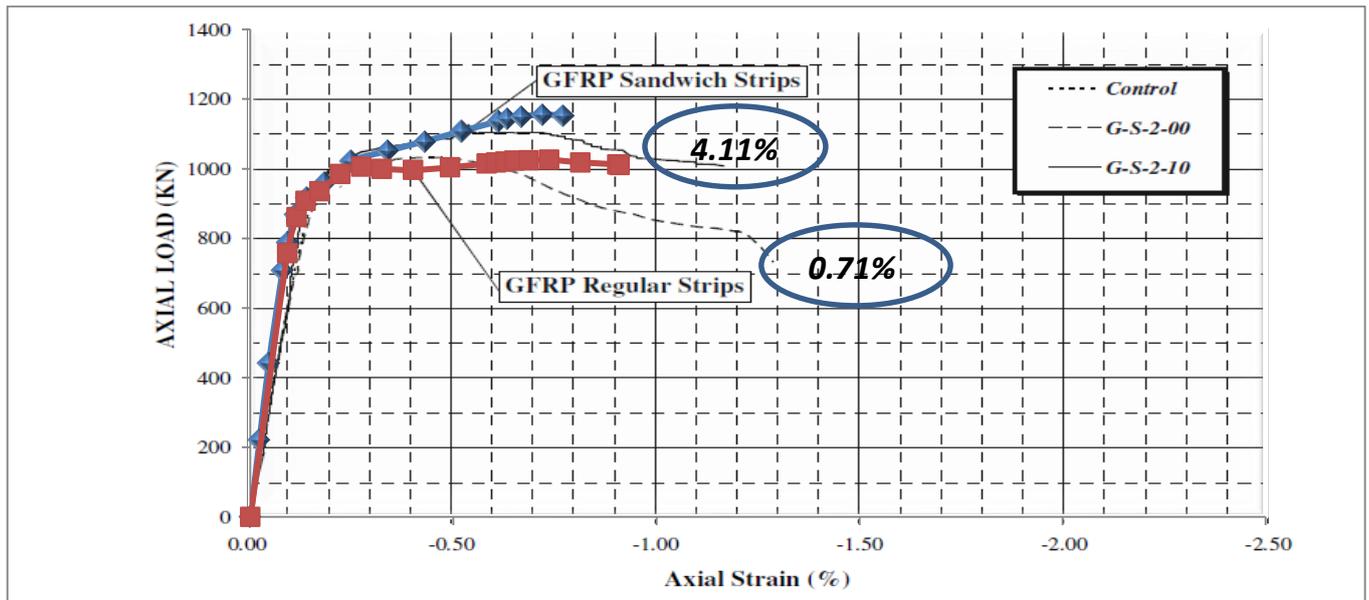
تم تقوية العمودين بطبقتين من الـ GFRP أحدهما تم تغليفه مع صفيحة الأكرليك (G-F-2-10) والآخر بدون صفيحة الأكرليك وكانت نسبة التغطية المستخدمة 100% حيث بلغت الحمولة الأعظمية للعمودين 1606.53KN , 2118.6KN على التوالي وبالمقارنة مع النتائج التجريبية كان الفرق في قدرة التحمل بمقدار 0.21% , 32.0% على التوالي كما هو مبين في الشكل ( 15-3 )



الشكل (3-15): مقارنة بين عمودين خرسانيين مقويين بمادة الـ GFRP وكلاهما ذات نسبة تغليف واحدة مع اختلاف طريقة التغليف

### 4-6-3 : حالة مقارنة بين عمودين خرسانيين تمت تقويتهما بمادة الـ GFRP وكلاهما بنسبة تغطية 50% مع اختلاف طريقة التغليف

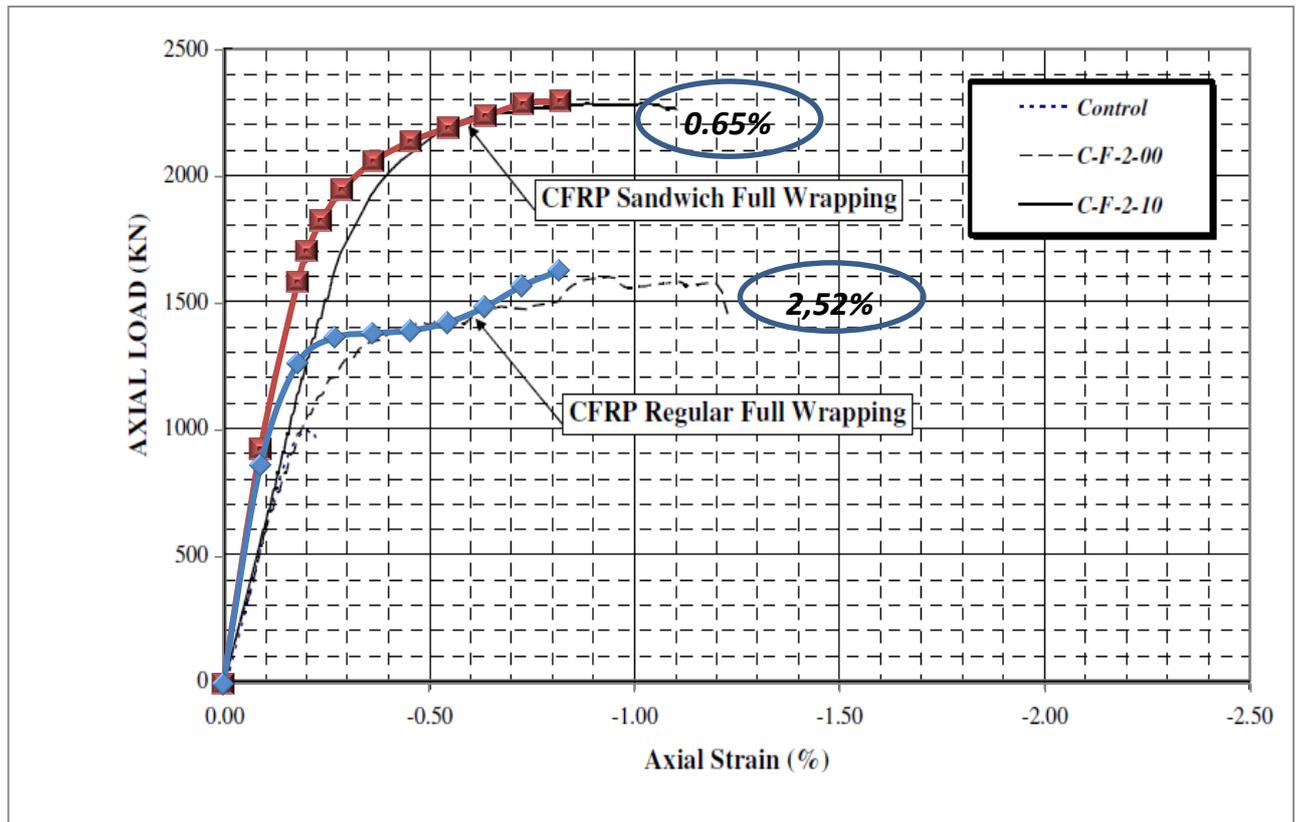
تم تقوية العمودين بطبقتين من الـ GFRP أحدهما تم تغليفه مع صفيحة الأكرليك (G-S-2-10) والآخر (G-S-2-00) بدون صفيحة الأكرليك وكلاهما بنسبة تغطية 50% حيث بلغت الحمولة الأعظمية للعمودين 1025.75 KN , 1152.3KN على التوالي وبالمقارنة مع النتائج التجريبية كان الفرق في قدرة التحمل 4.11% , 0.71% على التوالي كما هو مبين في الشكل (3-16)



الشكل (3-16) : مقارنة بين عمودين خرسانيين مدعمن بمادة الـ GFRP وكلاهما ذات نسبة تغطية 50% مع اختلاف طريقة التغليف

**3-6-5 : حالة مقارنة بين عمودين خرسانيين تمت تقويتهم بمادة الـ CFRP وكلاهما بنسبة تغطية واحد ( 100% ) مع اختلاف طريقة التغليف**

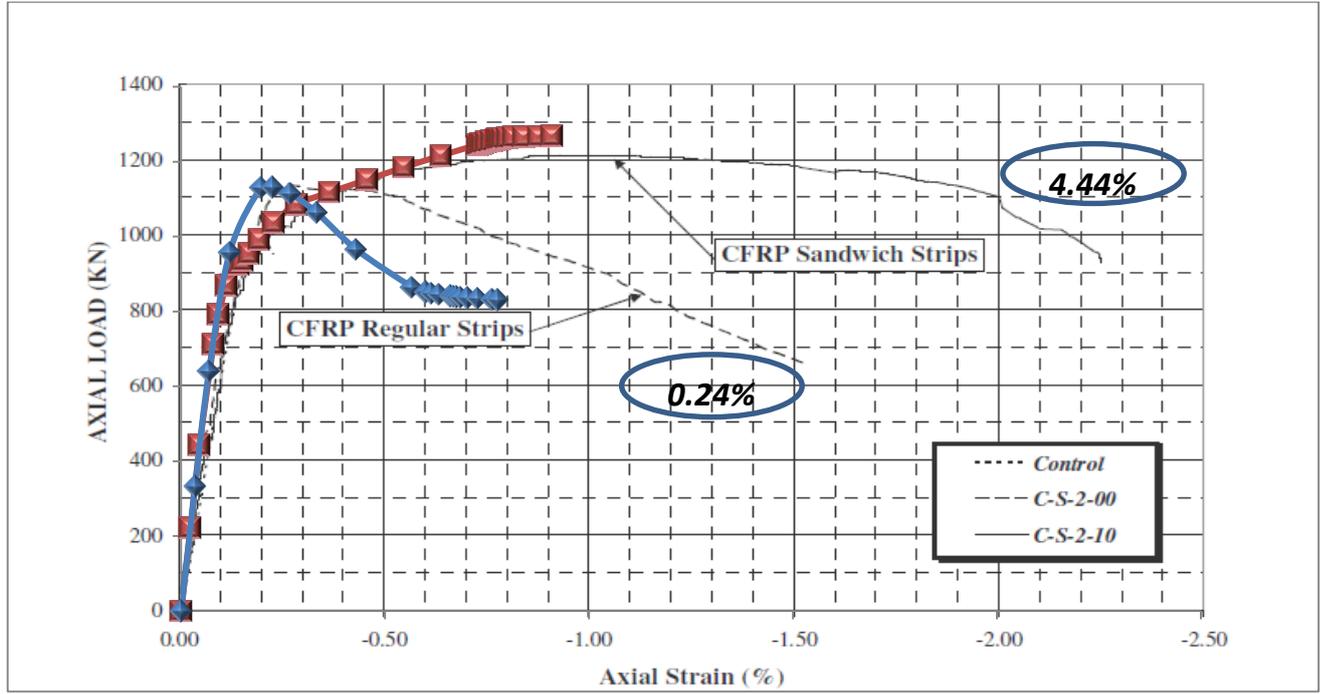
تم تقوية العمودين بطبقتين من الـ CFRP أحدهما تم تغليفه مع صفيحة الأكرليك (C-F-2-10) والآخر بدون صفيحة الأكرليك وكلاهما بنسبة تغطية 100 % حيث بلغت الحمولة الأعظمية للعمودين 2300KN , 1630KN على التوالي وبالمقارنة مع النتائج التجريبية كان الفرق في قدرة التحمل بمقدار 0.65% , 2.52% على التوالي كما هو مبين في الشكل (17-3)



الشكل (17-3): مقارنة بين عمودين خرسانيين مقويين بمادة الـ CFRP وكلاهما ذات نسبة تغطية واحدة (100%) مع اختلاف طريقة التغليف

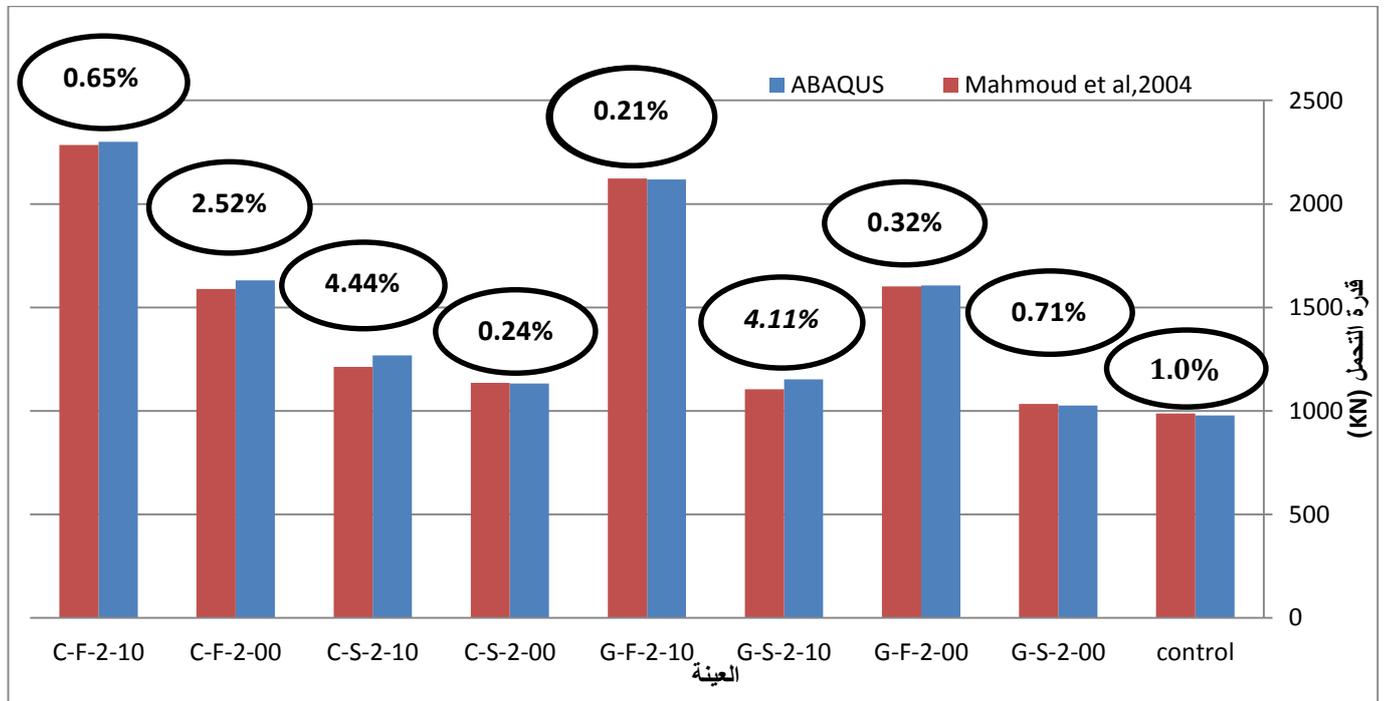
**3-6-6 : حالة مقارنة بين عمودين خرسانيين مقويين بمادة الـ GFRP وكلاهما بنسبة تغطية 50% مع اختلاف طريقة التغليف**

تم تقوية العمودين بطبقتين من الـ CFRP أحدهما تم تغليفه مع صفيحة الأكرليك (C-S-2-10) والآخر بدون صفيحة الأكرليك وكلاهما بنسبة تغطية 50% حيث بلغت الحمولة الأعظمية للعمودين 1132.32KN , 1268.33KN على التوالي وبالمقارنة مع النتائج التجريبية كان الفرق في قدرة التحمل بمقدار 0.24% , 4.44% على التوالي كما هو مبين في الشكل (18-3)



الشكل ( 3-18 ) : حالة مقارنة بين عمودين خرسانيين مقويين بمادة الـ CFRP كلاهما بنسبة تغطية 50% مع اختلاف طريقة التغليف

ويبين الشكل (3-19) مقارنة بين النتائج التجريبية والنتائج التحليلية من حيث قدرة التحمل للعينات المستخدمة :



الشكل (3-19) : مقارنة بين النتائج التجريبية والنتائج التحليلية من حيث قدرة التحمل للعينات المستخدمة

الفصل الرابع

الدراسة البارامترية

**Parametric study**

## الفصل الرابع

### الدراسة البارامترية

### Parametric study

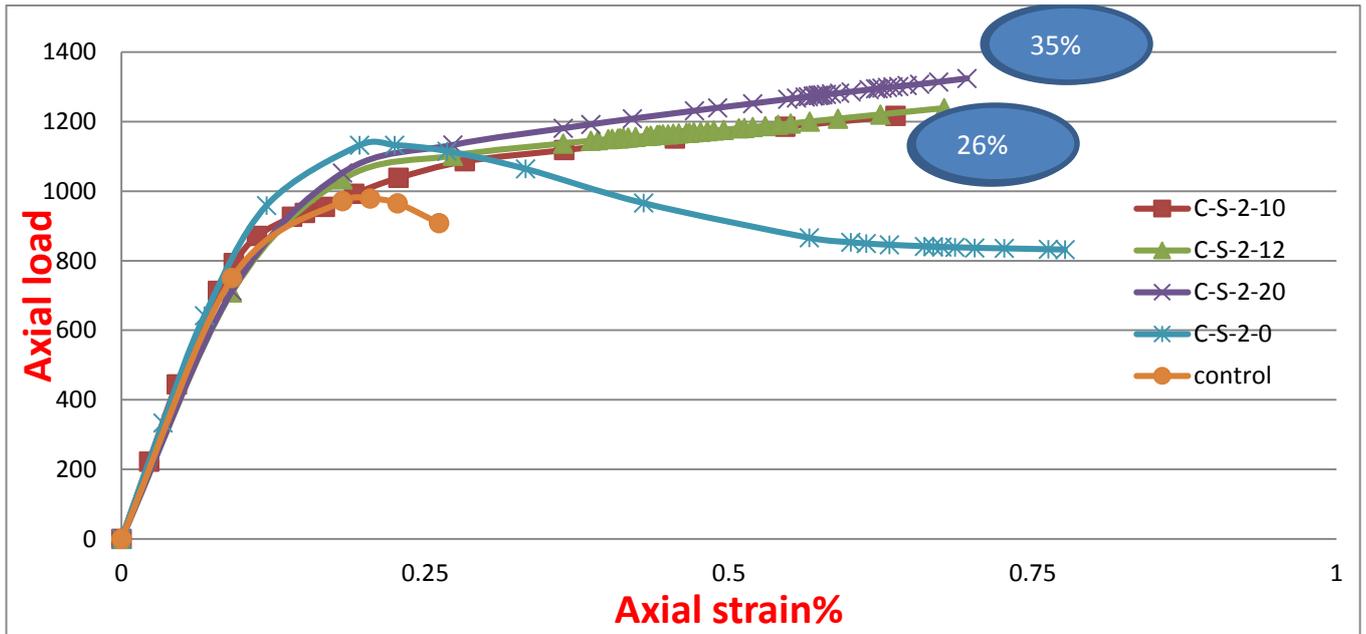
#### 1-4 - مقدمة ( introduction ) :

تم في هذا الفصل تناول أربع بارامترات لهذه الدراسة , أولها دراسة أثر تغيير سماكة صفيحة الأكرليك في العينات الكربونية المغلفة بطريقة الساندويش سواء عينة ذات تغطية جزئية أو تغطية كلية وملاحظة أثرها على المطاوعة وقدرة تحمل الأعمدة ثم دراسة أثر تغيير عدد طبقات الـ FRP للشريحة الواحدة وكذلك أيضا تم استخدام خليط من شرائح الـ CFRP و GFRP معا وأخيرا تم تثبيت كمية الـ FRP مع وبدون الأكرليك مع تغيير نسبة التغطية ودراسة أثرها على المطاوعة وقدرة التحمل

#### 1-1-4- دراسة أثر تغيير سماكة صفيحة الأكرليك :

#### 1-1-1-4- العينة الجزئية الكربونية :

تم دراسة تأثير تغيير سماكة صفيحة الأكرليك للعينة الجزئية الكربونية C-S-2-10 حيث أن السماكة المعتمدة في التجربة 10mm وتم تغييرها إلى السماكات 12mm , 20mm مع ملاحظة أثر التغيير على المطاوعة وقدرة تحمل الأعمدة كما هو موضح في الشكل (1-4) حيث يمثل المحور الأفقي التشوه المحوري (Axial strain) والمحور الشاقولي الحمولة المحورية (Axial Load) :

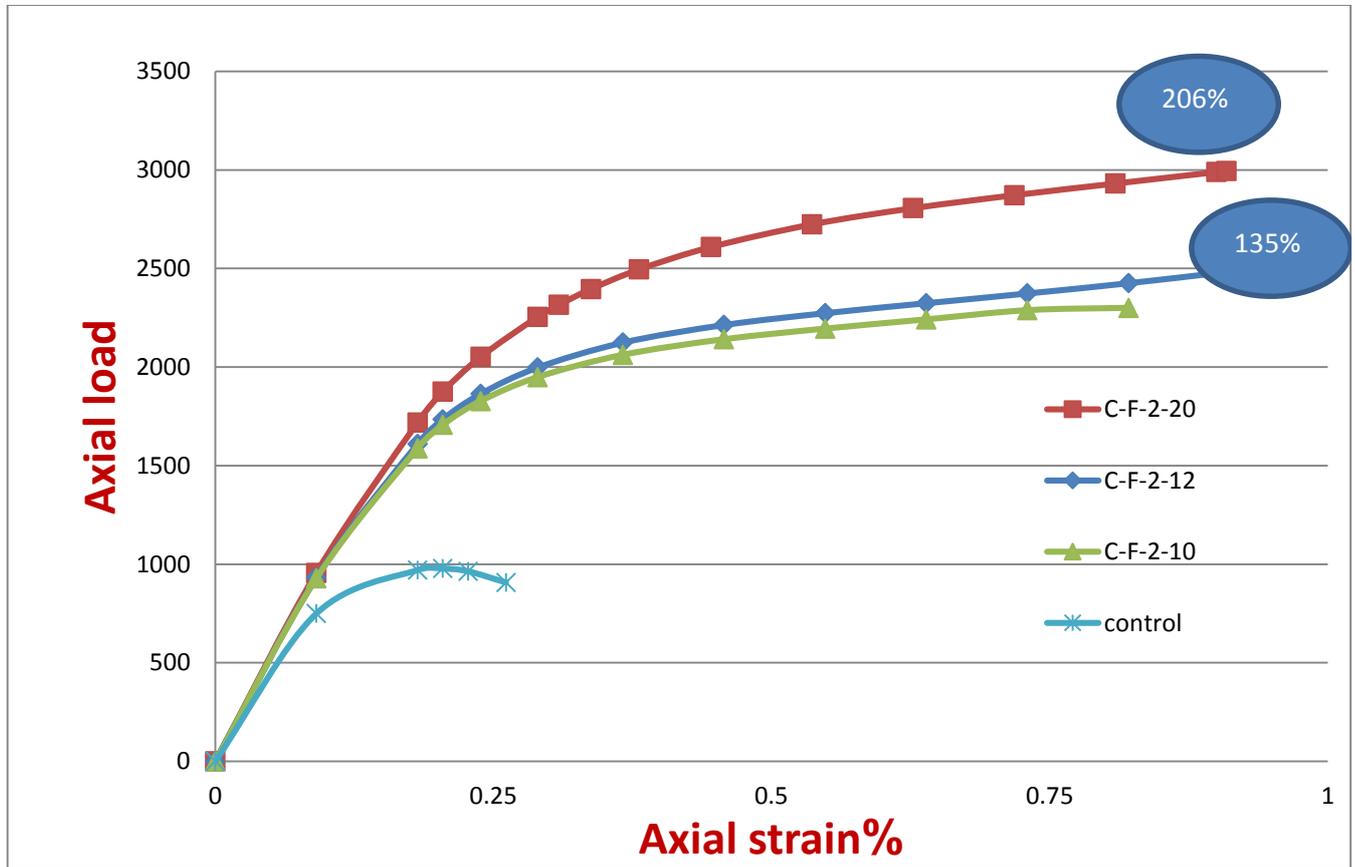


الشكل (1-4) : تغيير سماكة صفيحة الأكرليك للعينة الجزئية الكربونية C-S-2-10 من 10mm إلى 12mm و 20mm

من الشكل (1-4) نلاحظ أنه عند تغيير سماكة صفيحة الأكرليك للعينة الجزئية الكربونية من C-S-2-10 إلى C-S-2-12 و C-S-2-20 أعطت مطاوعة جيدة بينما لم يلحظ الفرق الكبير في قدرة التحمل فكانت الزيادة في قدرة التحمل بمقدار 26%، 35% مقارنة مع العمود المرجعي لذلك تم اعتماد السماكة 10mm للعينات الجزئية الكربونية

#### 2-1-1-4- العينة الكلية الكربونية :

تم دراسة تأثير تغيير سماكة صفيحة الأكرليك للعينة الكلية الكربونية C-F-2-10 حيث أن السماكة المعتمدة في التجربة 10mm وتم تغييرها إلى السماكات 12mm ، 20mm مع ملاحظة أثر التغيير على المطاوعة وقدرة تحمل الأعمدة كما هو موضح في الشكل (2-4) حيث يمثل المحور الأفقي التشوه المحوري (Axial strain) والمحور الشاقولي الحمولة المحورية (Axial Load) :



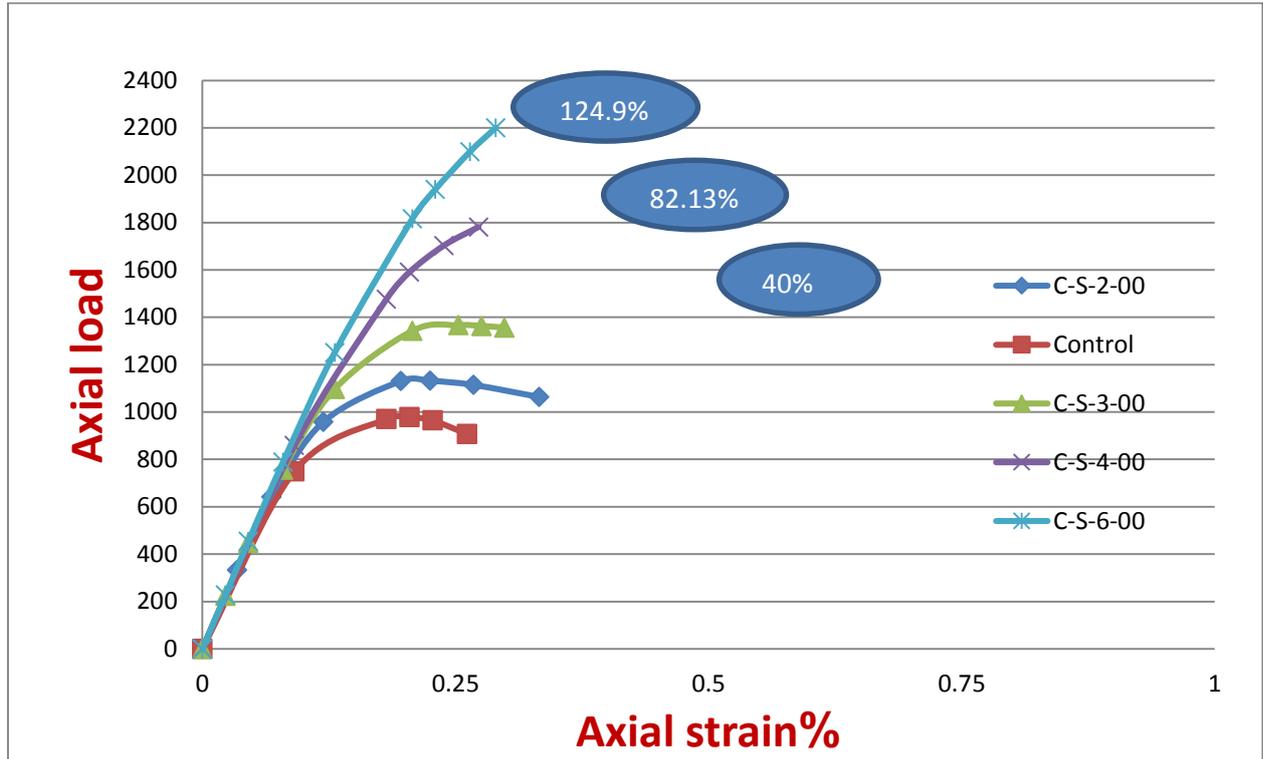
الشكل (2-4) : تغيير سماكة صفيحة الأكرليك للعينة الكلية الكربونية C-F-2-10 من 10mm إلى 12mm و 20mm

من الشكل (2-4) نلاحظ أنه عند تغيير سماكة صفيحة الأكرليك للعينة الكلية الكربونية من C-F-2-10 إلى C-F-2-12 و C-F-2-20 أن هذه العينات قد أعطت مطاوعة جيدة مع زيادة في قدرة التحمل بمقدار 135% و 206% على التوالي مقارنة مع العمود المرجعي

#### 2-1-4-2- تغيير عدد طبقات الـ FRP للشريحة الواحدة :

##### 1-2-1-4 العينة الجزئية الكربونية :

تم دراسة أثر تغيير عدد طبقات الـ FRP للشريحة الواحدة في العينة الجزئية C-S-2-00 حيث تم أخذ طبقتين من الـ FRP في الدراسة المعتمدة وتم تغييرها إلى ثلاث وأربع وست طبقات للشريحة الواحدة C-S-3-00 و C-S-4-00 و C-S-6-00 ودراسة أثرها على المطاوعة وقدرة التحمل كما هو موضح في الشكل (3-4) حيث يمثل المحور الأفقي التشوه المحوري (Axial strain) والمحور الشاقولي الحمولة المحورية (Axial load) :

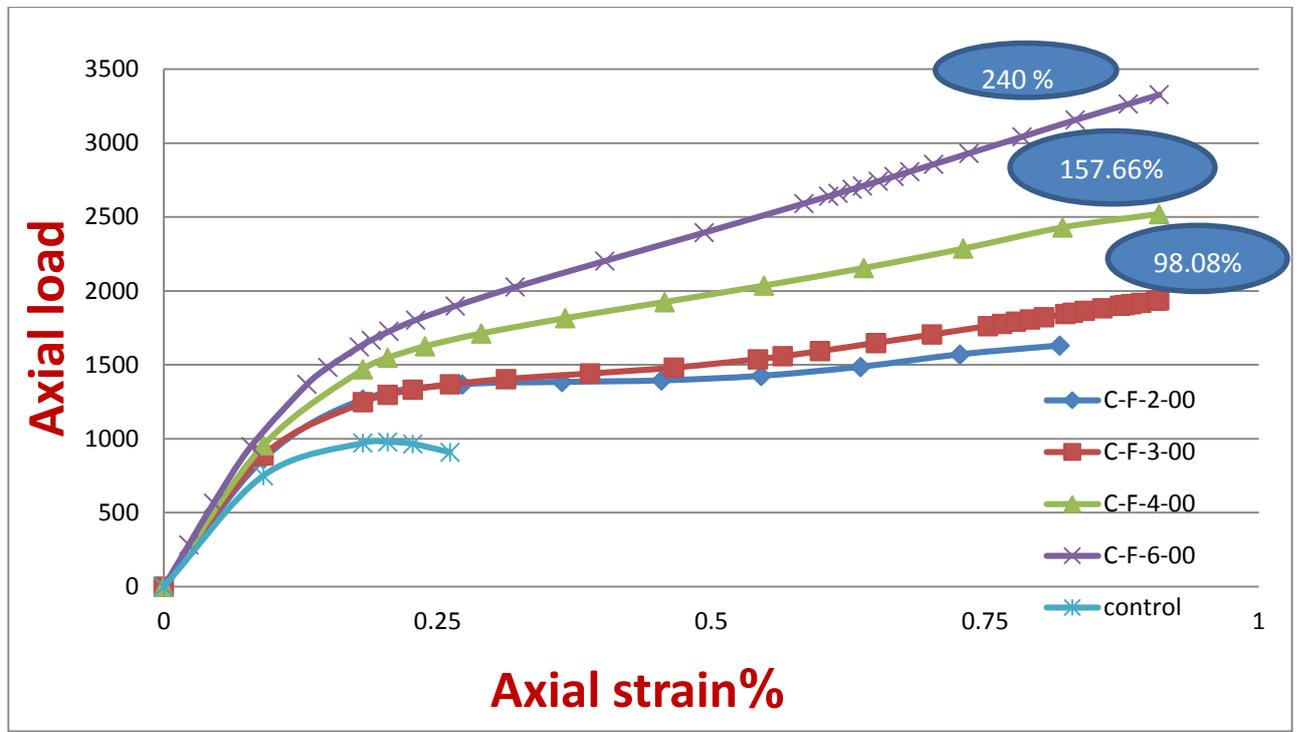


الشكل (3-4) : تغيير عدد طبقات الـ FRP للشريحة الواحدة في العينة الجزئية الكربونية

وبالعودة إلى الشكل (3-4) نلاحظ أنه عند تغيير عدد طبقات العينة الجزئية الكربونية C-S-2-00 من طبقتين إلى ثلاث وأربع وست طبقات زيادة في قدرة التحمل بمقدار 40% , 82.13% , 124.9% على التوالي مقارنة مع العمود المرجعي مع مطاوعة ضعيفة

#### 2-2-1-4- العينة الكربونية الكلية :

تم دراسة أثر تغيير عدد طبقات الـ FRP للشريحة الواحدة في العينة الكلية C-F-2-00 حيث تم أخذ طبقتين من الـ FRP في الدراسة المعتمدة وتم تغييرها إلى ثلاث وأربع وست طبقات C-F-3-00 , C-F-4-00 , C-F-6-00 ودراسة أثرها على المطاوعة وقدرة التحمل كما هو موضح في الشكل (4-4) حيث يمثل المحور الأفقي التشوه المحوري (Axial strain) والمحور الشاقولي الحمولة المحورية (Load Axial) :

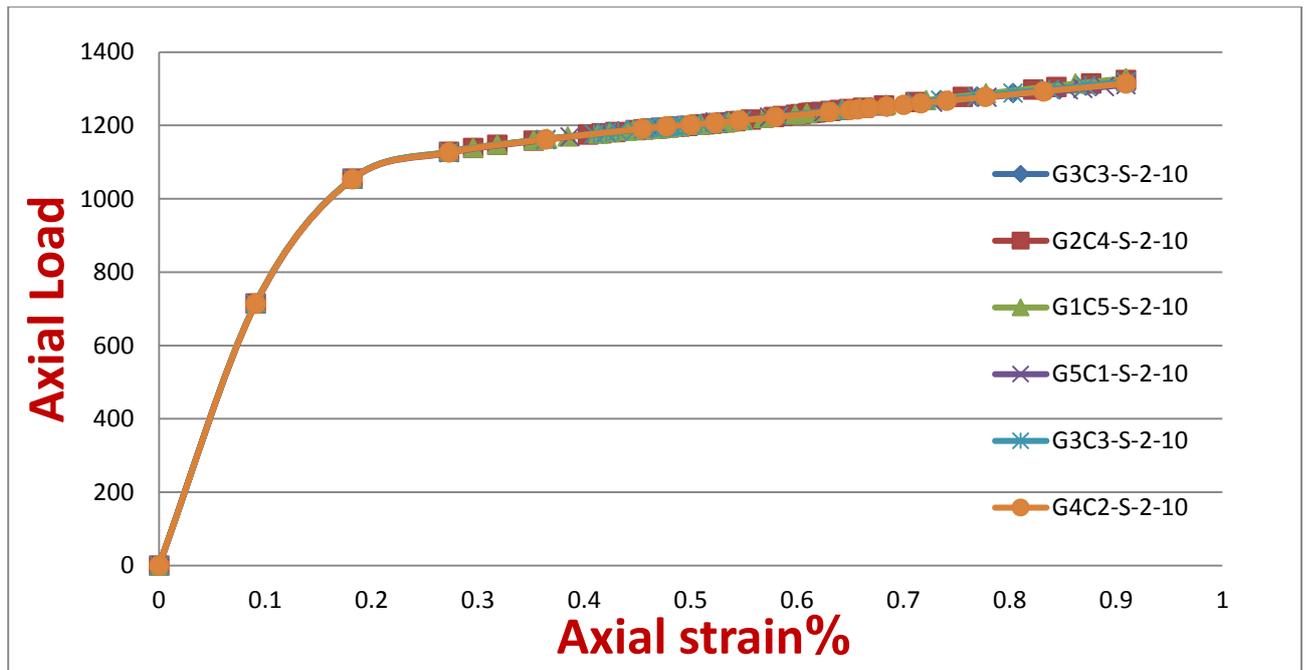


الشكل (4-4): تغيير عدد طبقات الـ FRP للشريحة الواحدة في العينة الكربونية الجزئية

من الشكل (4-4) نلاحظ أنه عند تغيير عدد طبقات العينة الكلية الكربونية C-F-2-00 من طبقتين إلى ثلاث وأربع وست طبقات أعطت هذه العينات مطاوعة جيدة و زيادة في قدرة التحمل بمقدار 98.09% , 157.66% , 240% على التوالي مقارنة مع العمود المرجعي

### 3-1-4- استخدام شرائح الـ CFRP و GFRP معاً :

تم أخذ خليط من شرائح الـ CFRP و GFRP معاً كما هو موضح بالشكل (4-5) حيث يمثل المحور الأفقي التشوه المحوري (Axial strain) والمحور الشاقولي الحمولة المحورية (Axial Load):



الشكل (4-5): استخدام شرائح الـ CFRP و GFRP معاً

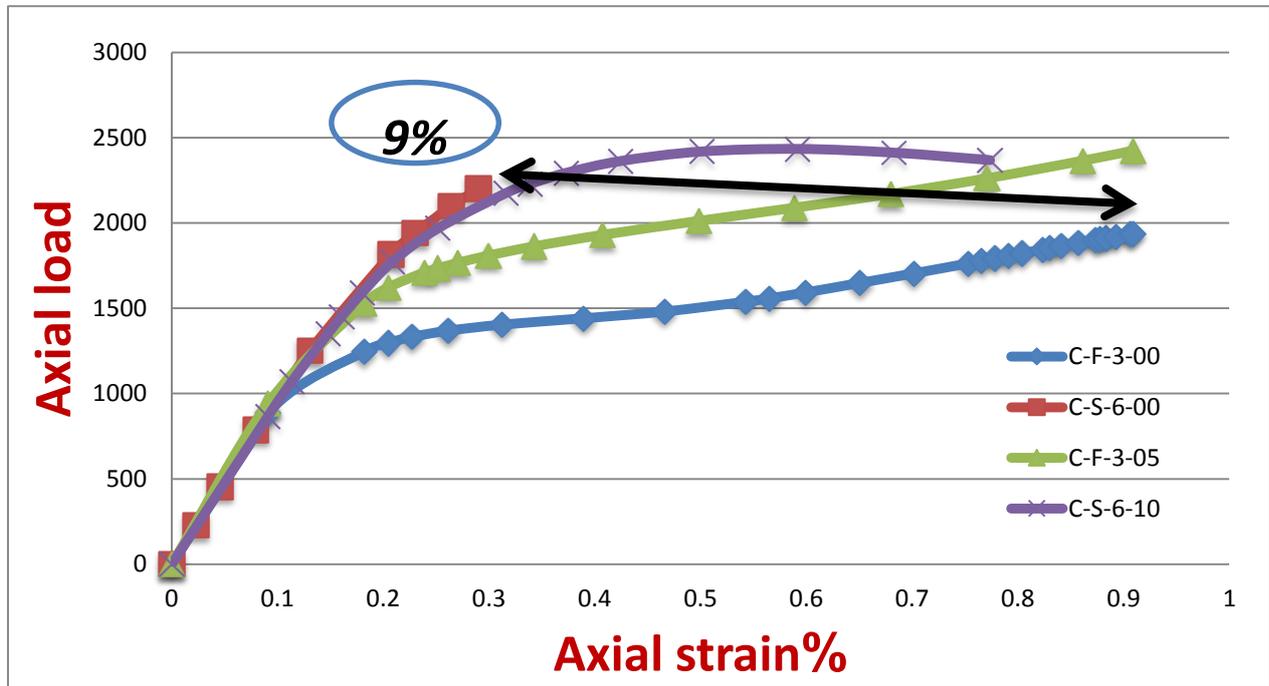
من الشكل (5-4) نلاحظ أنه لم يلحظ الفرق في قدرة التحمل عند استخدام شرائح الـ CFRP و GFRP معاً لذلك يمكن اعتماد شرائح الـ CFRP ذات المواصفات الأفضل في عملية التغليف

#### 4-1-4- دراسة أثر تثبيت كمية الـ FRP والأكرليك مع تغير نسبة التغطية :

##### 4-1-4-1- دراسة مقارنة بين العينات التالية C-S-6-10 , C-S-6-00 ومكافئاتها من العينات

##### C-F-300 , C-F-3-05

عند مقارنة عينة عمود C-F-3-00 مع مكافئتها بكمية الـ FRP لعينة مغلقة بشكل جزئي C-S-6-00 لوحظ تمايز واضح بالتصرف كما هو موضح في الشكل (6-4) حيث يمثل المحور الأفقي التشوه المحوري ( Axial strain) والمحور الشاقولي الحمولة المحورية ( Axial Load) :



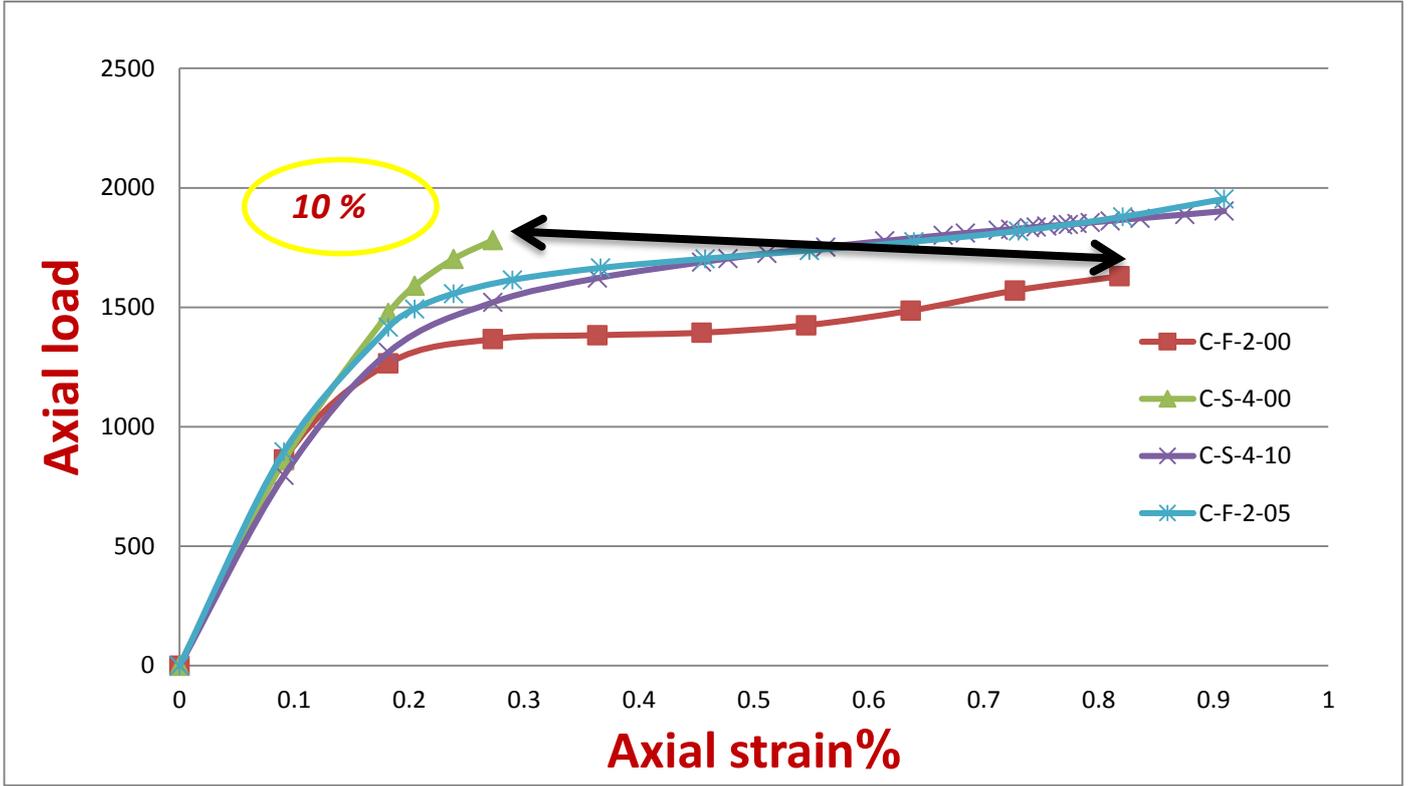
الشكل (6-4): دراسة مقارنة بين العينات التالية C-S-6-10 , C-S-6-00 ومكافئاتها من العينات C-F-3-05 , C-F-3-00

ومن الشكل (6-4) نلاحظ مايلي :

- أعطت العينة المغلفة بشكل جزئي C-S-6-00 ومغطاة بست طبقات من الـ CFRP زيادة في قدرة التحمل بمقدار 9% مقارنة مع العينة C-F-3-00 مع مطاوعة ضعيفة
- من أجل تحسين المطاوعة وقدرة التحمل للعينة الكربونية الجزئية C-S-6-00 تم إضافة صفيحة الأكرليك ذات السماكة 10mm مما أدى للحصول على تصرف مطاوع جيد جداً مع زيادة في قدرة التحمل بمقدار 9.6%
- إن العينة C-S-6-10 تكافئ العينة C-F-3-05 من حيث المقاومة والمطاوعة الجيدة وبالتالي لا فرق في تغليف العمود بشكل كلي كامل أو أخذ عدد مضاعف من طبقات الـ FRP مع التغليف الجزئي عند تثبيت كمية الـ FRP وكمية الأكرليك ويترك ذلك لتكنولوجيا التنفيذ

2-4-1-4- دراسة مقارنة بين العينات التالية C-S-4-10, C-S-4-00 ومكافئاتها من العينات  
C-F-2-00, C-F-2-05

عند مقارنة عينة عمود مغلفة بشكل كامل C-F-2-00 ومقارنتها مع مكافئتها بكمية الـ FRP لعينة مغلفة بشكل جزئي نلاحظ تمايز واضح بالتصرف كما هو موضح في الشكل (7-4) حيث يمثل المحور الأفقي التشوه المحوري (Axial strain) والمحور الشاقولي الحمولة المحورية (Axial Load) :



الشكل (7-4) : دراسة مقارنة بين العينات التالية C-S-4-10, C-S-4-00 ومكافئاتها من العينات C-F-2-00, C-F-2-05

ومن الشكل (7-4) نلاحظ مايلي :

- أعطت العينة C-S-4-00 المغلفة بشكل جزئي ومغطاة بأربع طبقات من الـ CFRP زيادة في قدرة التحمل بمقدار 10% مقارنة مع العينة C-F-2-00 مع مطاوعة ضعيفة جدا"
- من أجل تحسين المطاوعة وقدرة التحمل للعينة الجزئية الكربونية C-S-4-00 نضيف صفيحة الأكرليك ذات السماكة 10mm ونحصل على تصرف مطاوع جدا" مع زيادة في قدرة التحمل بمقدار 6.4 %
- إن العينة C-S-4-10 تكافئ العينة C-F-2-05 من حيث المقاومة والمطاوعة الجيدة وبالتالي لا فرق في تغليف العمود بشكل كلي كامل أو أخذ عدد مضاعف من طبقات الـ FRP مع التغليف الجزئي عند تثبيت كمية الـ FRP وكمية الأكرليك ويترك ذلك لتكنولوجيا التنفيذ

## الفصل الخامس

### النتائج والتوصيات لأعمال مستقبلية

### **Results and Recommendations for future works**

## الفصل الخامس

### النتائج والتوصيات لأعمال مستقبلية

#### *Results and Recommendations for future works*

##### **1-5- النتائج :**

مما تقدم يمكن أن نستخلص النتائج التالية المتعلقة بهذا البحث :

##### **1- تغيير سماكة صفيحة الأكرليك :**

**A- حالة عينة كلية 100 % :**

تغيير سماكة صفيحة الأكرليك للعينة الكلية الكربونية من C-F-2-10 إلى C-F-2-12 و C-F-2-20 أعطت مطاوعة جيدة مع زيادة في قدرة التحمل بمقدار 135% و 206% على التوالي مقارنة مع العمود المرجعي

**B- حالة عينة جزئية 50% :**

تغيير سماكة صفيحة الأكرليك للعينة الجزئية الكربونية من C-S-2-10 إلى C-S-2-12 و C-S-2-20 أعطت مطاوعة جيدة بينما لم يلحظ الفرق الكبير في قدرة التحمل فكانت الزيادة في قدرة التحمل بمقدار 26%, 35% مقارنة مع العمود المرجعي لذلك يمكن اعتماد السماكة 10mm للعينات الجزئية الكربونية

##### **2- تغيير عدد طبقات الشريحة الواحدة من الـ FRP :**

**A- حالة عينة كلية 100 % :**

تغيير عدد طبقات العينة الكلية الكربونية C-F-2-00 من طبقتين إلى ثلاث وأربع وست طبقات أدى إلى مطاوعة جيدة وزيادة في قدرة التحمل بمقدار 98.08% , 157.66%, 240% على التوالي مقارنة مع العمود المرجعي

**B- حالة عينة جزئية 50% :**

تغيير عدد طبقات العينة الجزئية الكربونية C-S-2-00 من طبقتين إلى ثلاث وأربع وست طبقات أدى إلى زيادة في قدرة التحمل بمقدار 40% , 82.13% , 124.9% على التوالي مقارنة مع العمود المرجعي مع مطاوعة ضعيفة

##### **3- استخدام خليط من شرائح CFRP و GFRP معاً**

لم يلحظ الفرق في قدرة التحمل عند استخدام شرائح الـ CFRP و GFRP معاً لذلك يمكن اعتماد شرائح الـ CFRP ذات المواصفات الأفضل في عملية التغليف

#### 4- توحيد كمية الـ FRP بدون الأكرليك :

تعطي عملية التغليف بالكمية نفسها من شرائح الـ FRP ذات التغطية الكاملة 100% مطاوعة أفضل من التغليف الجزئي 50% علماً أن التغليف الجزئي بنفس كمية الـ FRP أعطى زيادة طفيفة في قدرة التحمل مقارنة مع التغليف الكلي حيث أعطت كل من العينتين C-F-3-00, C-F-2-00 زيادة في قدرة التحمل بمقدار 10%, 9% على التوالي مقارنة مع مكافئتها في كمية الـ FRP من العينات C-S-6-00 و C-S-4-00

#### 5- توحيد كمية الـ FRP مع الأكرليك :

العينات الكلية تكافئ العينات الجزئية من حيث المطاوعة وقدرة التحمل وبالتالي لا فرق في تغليف العمود بشكل كلي كامل أو أخذ عدد مضاعف من طبقات الـ FRP مع التغليف الجزئي عند تثبيت كمية الـ FRP وكمية الأكرليك ويترك ذلك لتكنولوجيا التنفيذ

#### 5-2- التوصيات لأعمال مستقبلية :

### *Recommendations for future works*

تم الاعتماد في هذه البحث دراسة تقوية الأعمدة الخرسانية المربعة بأبعاد 200×200×1500 mm باستخدام طريقة الـ Sandwich ودراسة أثرها على المطاوعة وقدرة التحمل عن طريق وضع طبقتين من الـ FRP مع صفيحة من الأكرليك ومن الممكن في أبحاث قادمة

❖ دراسة تقوية الأعمدة الخرسانية الدائرية أو المستطيلة

## المراجع المستخدمة References

- [ 1 ] - ABAQUS, Version 6.12, (2012) , “ ABAQUS/Standard User's Manual “ ABAQUS Inc., USA.
- [ 2 ] -Almalik ,M.,(2015), "دراسة تأثير تقوية الأعمدة البيتونية بالألياف الزجاجية" Proceed of Damascus university .
- [ 3 ] -BS EN 1992-1-1 (2004) " Eurocode 2 : Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings " European committee for standardization CEN.
- [ 4 ] - Dave, U., Raval, R.,(2013)," Behavior of GFRP wrapped RC Columns of different shapes " Nirma University International Conference on Engineering , ( (2012) -240-249)
- [5]- images%20about%20types%20of%20concrete%20columns%20in%20real%20life&tbm=isch =<https://www.google.com/search?q=images%20about%20types%20of%20concrete%20columns%20in%20real%20life&tbm=isch>
- [6]- Ibrahim M. Metwally. (2014). “Nonlinear Analysis of Concrete Deep Beam Reinforced with GFRP Bars Using Finite Element Method”.Malaysian Journal of Civil Engineering.26(2):224-250 (2014).
- [7]- Jaya, K., Mathai, J., (2012) , "Strengthening of RC Column using GFRP and CFRP" , Proceed of Anna University, Chennai , India
- [8 ]- Kmiecik ,P., Kaminski ,M., (2011). "Modeling of Reinforced Concrete Structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration" Archives of Civil and Mechanical Engineering, XI(3), 624-63.
- [9]- Mahmoud , K ., Fouad , E., Ramadan , M., Abd –Elalim , A.,(2004)," Behavior of axially loaded square RC columns confined with sandwich FRP wraps" Proceeder of Arab Swiss Engineering Com (ASEC), Egypt, Housing & Building Research Center (H.B.R.C) , Cairo, Egypt.
- [10]- McDaniel, G., Knight, C.,(2014)" Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites".
- [11]- Reza Esfahani ,M ., RezaKianoush .,M .,(2005) "Axial compressive strength of reinforce concrete columns wrapped with fiber reinforced polymers (FRP)" proceed of Ferdowsi Universityof Mashhad , Ryerson University Toronto.

## *Abstract*

Columns are important structural elements of buildings and may in some cases need to be reinforced for many reasons. Recently, FRP-reinforced polymers have been used to reinforce various elements, including columns, because of their many advantages over traditional reinforcement methods.

In this study, a comparative study was between the reinforcement of square concrete columns using the GFRP and CFRP materials under the influence of axle loads by sandwich method (there is acrylic lamina ) or regular method (there is not acrylic lamina) by using numerical analysis performed by Finite Element Method (FEM ) and non linear Materially analysis that takes into consideration the nonlinearity of the material

Also this research aims to study changing the thickness of the acrylic plate in Sandwich samples additional to the change number of layers of FRP per slice also using mixture of CFRP and GFRP strips together, and finally install the amount of FRP with and without acrylic plate with changing percentage of wrapping

*Damascus University*  
*Faculty of civil Engineering*  
*Dep. Construction Engineering*



***Strengthening of square RC columns using GERP and CFRP  
wraps under axial loads and comparing between them***

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

By  
Eng.Reaam Halawa

Supervisor  
Prof. Dr. Riad Alissa

Co-supervisor  
Dr. amjad Helwani