

دراسة تأثير تغير مقاومة الضغط للبيتون على فعالية التطويق العرضي مسبق الإجهاد

د.م عصام ملحم¹ م. محمّد لؤي الساعاتي²

المُلخَص

يقدم هذا البحث دراسةً تحليليةً لعددٍ من العينات البيتونية الموشورية ذات الأبعاد النظامية (مربع طول ضلعه 150mm وارتفاعه 300mm) معرضة إلى ضغط مركزي والمطوقة عرضياً بتقنية الأحزمة الفولاذية مسبقة الإجهاد وذات مقاومات مكعبية متغيرة من 30 MPa وحتى 60 MPa بهدف دراسة فعالية التطويق العرضي بالأحزمة الفولاذية مسبقة الإجهاد على مختلف أنواع البيتون، من البيتون عادي المقاومة وحتى البيتون عالي المقاومة حيث يكون تأثير التطويق أقل ما يمكن بشكل عام بسبب أن البيتون عالي المقاومة يملك تمداً عرضياً قليلاً بالمقارنة بالبيتون عادي المقاومة. أظهرت الدراسة التحليلية أن تأثير التطويق مسبق الإجهاد يقل بزيادة مقاومة الضغط للبيتون، وتكون أكبر ما يمكن عندما تكون مقاومة البيتون بين (40 - 35) MPa ثم تقل فعالية التطويق حتى الوصول إلى أقل قيمة عند 60 MPa.

الكلمات المفتاحية: تطويق، مسبق إجهاد، مطاوعة، تمدد عرضي.

¹أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث- حمص- سوريا
²طالب دراسات عليا (ماجستير) في قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث- حمص- سوريا

Effect of Concrete Compressive Strength on Lateral Post-Tension Metal Strap

Dr. Eng. Esam Melhem¹ Eng. Mohammad Louai Alsaati²

Abstract

This research presents an analytical study of Prismatic concrete specimens with standard dimensions (square section of 150mm and height of 300mm) subjected to axial compression and laterally confined with Steel Strapping Tensioning Technique, the specimens have different compressive strength varying from 30 MPa to 60 MPa to study the effectiveness of active confinement on different kind of concrete from normal-strength concrete to high-strength concrete, when the confinement effectiveness is lowest, because the lateral dilation of high-strength is low comparing with normal-strength concrete. This study shows that Steel Strapping Tensioning Technique becomes less effective as the concrete compressive strength increases, and the effect of steel strapping tensioning technique is at best when the compressive strength is between 35–40 MPa

Key words: confinement, post-tension, ductility, lateral dilation.

¹ Professor, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, AL-Baath University, Homs, Syria.

² Postgraduate Student, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, AL-Baath University, Homs, Syria.

قائمة الرموز والاختصارات LIST OF ABBREVIATIONS

MPa	المقاومة المميزة للبيتون	$:f_c'$
MPa	الإجهاد المحوري للبيتون المطوق	$:f_{cc}$
MPa	الإجهاد المحوري للبيتون غير المطوق	$:f_{co}$
MPa	إجهاد التطويق العرضي	$:f_r$
mm/m	التشوه الطولي للبيتون المطوق	$:\varepsilon_{cc}$
mm/m	التشوه الطولي للبيتون غير المطوق	$:\varepsilon_{co}$
.....	النسبة الحجمية للتطويق	$:\rho_s$
MPa	معامل المرونة الطولي للفلوذا	$:E_s$
MPa	معامل المرونة الطولي للبيتون	$:E_c$
MPa	إجهاد خضوع فلوذا التطويق	$:F_{yh}$

1- مقدّمة:

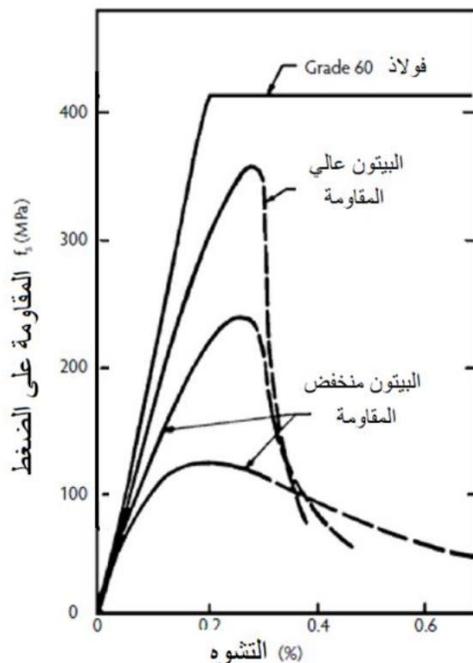
يعد البيتون عالي المقاومة مادة متطورة تقدم خصائص عالية مثل المقاومة العالية، والصلابة والديمومة الطويلة مقارنة مع البيتون عادي المقاومة. ويمكن إنتاجه باستخدام المواد الخام نفسها الموجودة في البيتون عادي المقاومة مع نسبة ماء منخفضة وبعض الإضافات الخاصة التي تضاف إلى الخلطة. في الوقت الحالي، يستخدم البيتون عالي المقاومة في أعمدة الأبنية متعددة الطوابق وفي البيتون مسبق الصنع وفي الأبنية التي تتطلب مقاومات عالية وديمومة طويلة. تكون مقاطع العناصر من البيتون عالي المقاومة أصغر وبالتالي أقل وزناً.

تؤدي زيادة مقاومة البيتون إلى نقصان في المطاوعة أو زيادة في الهشاشة. وإن البيتون ذا الانهيار القصيف لا يستطيع أن يتحمل أية زيادة في الحمولة بعد الوصول إلى المقاومة العظمى، وبعدها تنخفض المقاومة بشكل سريع بعد الوصول إلى الذروة، وهذا النوع من الانهيارات يسمى انهياراً انفجارياً، لذلك يجب أخذ الحذر عند تصميم البيتون عالي المقاومة من أجل متطلبات المطاوعة خاصة في العناصر الإنشائية التي يمكن أن تتعرض إلى قوى عرضية ناتجة عن الزلازل والانفجارات والرياح، إلخ....

إنّ نقص المطاوعة في البيتون عالي المقاومة يمكن أن يلاحظ من خلال صعود حاد في منحنى الإجهاد - التشوه حتى الذروة ويتبعه انخفاض حاد بعد الذروة كما هو موضح في الشكل (1)

يعتبر السلوك النمطي للبيتون العادي سلوكاً هشاً تحت تأثير إجهاد ضغط محوري. ويتم استخدام التطويق العرضي بشكل شائع من أجل تأخير انهيار البيتون وتحسين المطاوعة، هذه الخاصية هامة في الأبنية المعرضة لحمولات عالية مثل الزلازل، كان العمل الرائد لـ (Richart (1928 [2] والذي هدف إلى دراسة سلوك البيتون تحت الإجهاد متعدد المحاور وبيّن فعالية التطويق العرضي على سلوك البيتون،

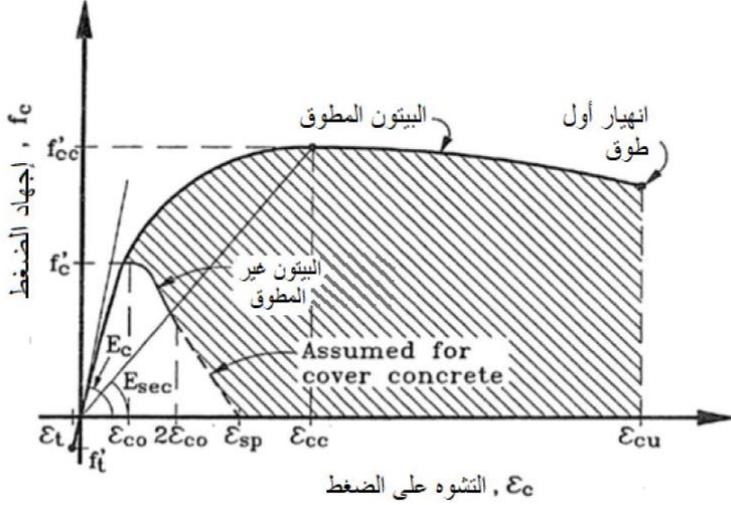
حفّز العديد من الباحثين على البحث في سلوك البيتون على التطويق العرضي، ودراسة عدة طرق لتطبيق ضغط التطويق العرضي بشكل عملي.



الشكل 1 - منحنى العلاقة بين الإجهاد - تشوه لمختلف أنواع البيتون

من جهةٍ أخرى تمت ملاحظة أن التطويق العرضي لا يؤثر فقط على المقاومة الأعظمية بل يؤثر أيضاً على زيادة المطاوعة (Ductility) ولوحظ في التجارب زيادة تشوه الانهيار الأعظمي و تخفيض ميلان منحن الإجهاد - التشوه الهابط بعد الوصول إلى القيمة العظمى للبيتون)... وكما نعلم جميعاً تُعتبر خاصية توافر المقاومة مع المطاوعة أساسية جداً في مناطق المفاصل اللدنة في العناصر المقاومة للزلازل لأنها ترتبط بشكل مباشر بالحلقة الهستيرية الناتجة للمفصل اللدن وبالتالي قدرته على تبديد الطاقة الزلزالية المدخلة.

يبين الشكل (2) رسماً مبسطاً للفرق بين منحنى الإجهاد - التشوه بين البيتون العادي غير المطوق (Unconfined concrete)، والبيتون المطوق (Confined concrete)



الشكل 2 - منحنى الإجهاد - تشوه للبيتون المطوق وغير المطوق

يوجد عملياً طريقتان للتطويق العرضي: التطويق الفعلي والتطويق السلبي.

ففي حال التطويق السلبي، فإن ضغط التطويق يزداد تدريجياً كنتيجة لتمدد البيتون عرضياً حالماً يتم تحميله محورياً. ويتم تطبيق التطويق السلبي (والذي هو شائع الاستخدام) في الأبنية البيتونية الحديثة عن طريق الفولاذ العرضي الداخلي (الأساور العرضية والحلزونية)، وفي الأبنية القديمة التي لا تتمتع بمطاوعة كافية، فإن التطويق السلبي يتم تطبيقه على شكل قمصان فولاذية أو ألياف البوليمير (FRP).

تم اكتشاف التطويق العرضي من قبل (Saki and Sheikh 1989) على شكل أساور حلزونية في الأعمدة البيتونية. وقد اقترح (Richard, Brandtzaeg and Brown) [2] العلاقة التالية بين المقاومة والضغط العرضي للبيتون المطوق، بالاعتماد

على نتائج التجارب الكثيفة وهذه العلاقة تطبق على الأعمدة المطوقة بالأساور العرضية داخل المقطع والتطويق خارج المقطع:

$$f_{cc} = f_{co} + 4.1f_r$$

حيث أن:

f_{cc} : الإجهاد الطولي للبيتون المطوق (MPa)

f_{co} : الإجهاد الطولي للبيتون غير المطوق (MPa)

f_r : إجهاد التطويق العرضي (MPa)

ركزت العديد من الدراسات على البحث في سلوك البيتون المطوق بتسليح عرضي (Sheikh et al. 1982) [4]. فقد قام الباحث (Mander 1988) [5] بإجراء دراسة على أعمدة بيتونية بمقاطع موشورية ودائرية وجدران مستطيلة مطوقة بأساور حلزونية ومعرضة إلى حمولات دورية وأحادية. ومؤخراً اهتم العديد من الباحثين في البحث في سلوك الأعمدة البيتونية المطوقة بألياف البوليمير (FRP) [6]

2- هدف البحث:

يهدف البحث بشكل رئيسي زيادة مقاومة الأعمدة ومطاوعتها بدون زيادة في المقطع أو زيادة في نوع البيتون المستخدم دراسة الأعمدة الموشورية المعرضة إلى الضغط المركزي بتدعيمها بأحزمة فولاذية عالية المقاومة ذات إجهاد خضوع ($F_y = 800 \text{ Mpa}$)

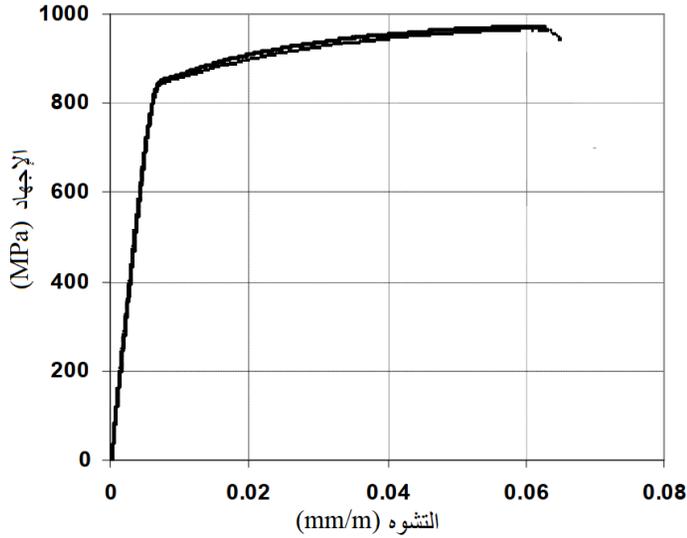
3- مواد وطرق البحث:

بالاستعانة ببرنامج ABAQUS تمّت دراسة مجموعة من العينات البيتونية وفق المتغيرات المبينة في الشكل (4) والتي تضمنت مقاومة البيتون على الضغط مع المحافظة على نسبة حجمية ثابتة للتطويق لكافة العينات. العينات المستخدمة موشورية

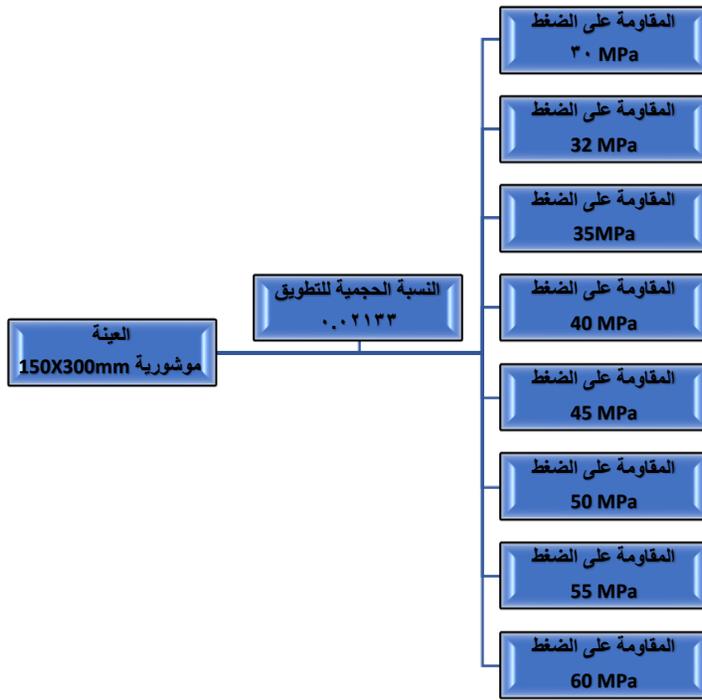
بمقطع عرضي مربع 150X150mm وارتفاع 300mm وبين الشكل (5) شكل وأبعاد العينات والأحزمة المستخدمة في التطويق وكما يبين الجدول (1) مواصفات فولاذ الأحزمة المستخدمة في التطويق.

الجدول (1) مواصفات فولاذ الأحزمة المستخدمة في التطويق.

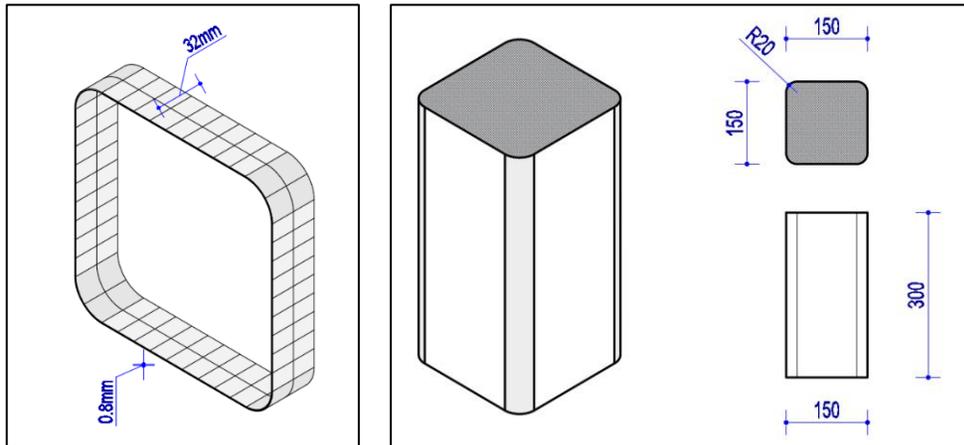
التطاول (%)	إجهاد الخضوع (MPa)	السماعة (mm)	العرض (mm)	نوع الأحزمة
0.47	803	0.8	32	الأحزمة من النوع S



الشكل 3 مخطط الإجهاد - التشوه للأحزمة الفولاذية المستخدمة في البحث



الشكل (4) المتغيرات المدروسة في البحث



الشكل (5) شكل وأبعاد العينات والأحزمة المستخدمة في التطويق

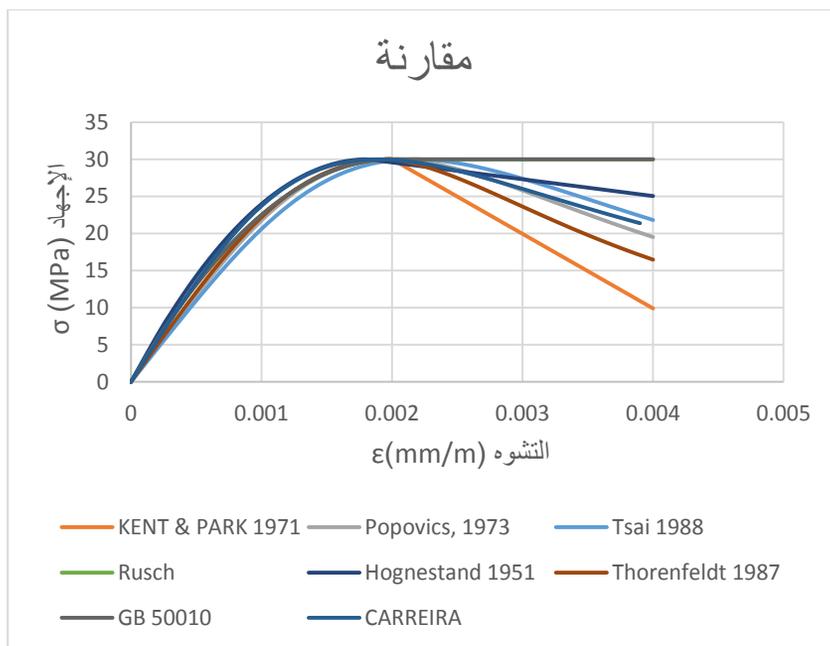
لقد تم بناء العنصر المحدود اللاخطي بالاعتماد على نموذج العنصر الصلب ذي الثماني عقد باستخدام برنامج (ABAQUS). وتم استخدام نموذج البيتون اللدن المتضرر (Concrete damage plasticity) في البرنامج في نمذجة السلوك اللاخطي للبيتون. هذا النموذج استخدم فيه مفهوم المرونة المتماثلة الخواص مع اللدونة المتماثلة الخواص على الشد والضغط. لتمثيل السلوك غير الخطي للبيتون.

يعتبر هذا النموذج واحداً من النماذج الأولية التي تتنبأ بسلوك البيتون. يصف هذا النموذج سلوك البيتون من خلال إدخال عدة متغيرات عديدة تعبر عن مقدار تضرر البيتون.

يتألف النموذج من خليط من اللدونة متعددة الصلابات غير المرتبطة مع المرونة المتضررة لوصف الضرر غير القابل للرجوع الذي يحصل خلال عملية التخریب. وإن نموذج البيتون اللدن المتضرر يتطلب أن يكون السلوك المرن للمادة متماثل الخواص وخطياً. والنموذج يجب أن يضمن الاستمرارية واللدونة للبيتون. وتم فرض ميكانيزمي انهيار أساسيين هما: التشقق نتيجة الشد، والتحطم نتيجة الضغط للبيتون، والذي يتحكم في انهيار سطح البيتون هما متغيران متعلقان بالصلابة (ϵ_t^{pl}) و (ϵ_c^{pl})

بعد إجراء العديد من المقارنات بين النماذج المقترحة (Hognestand1951, Kent & Park1971, Popovisc1973, Thorenfledt1987, Tsai1988, Rush, Pikove) ومعايرة العديد من التجارب تم الاعتماد على نموذج الباحثين [1] (Domingo J.Carreira & Kuang-Han Chu)

ويوضح الشكل (6) المقارنة بين نماذج البيتون غير المطوق لبيتون ذي مقاومة ثابتة (C30)



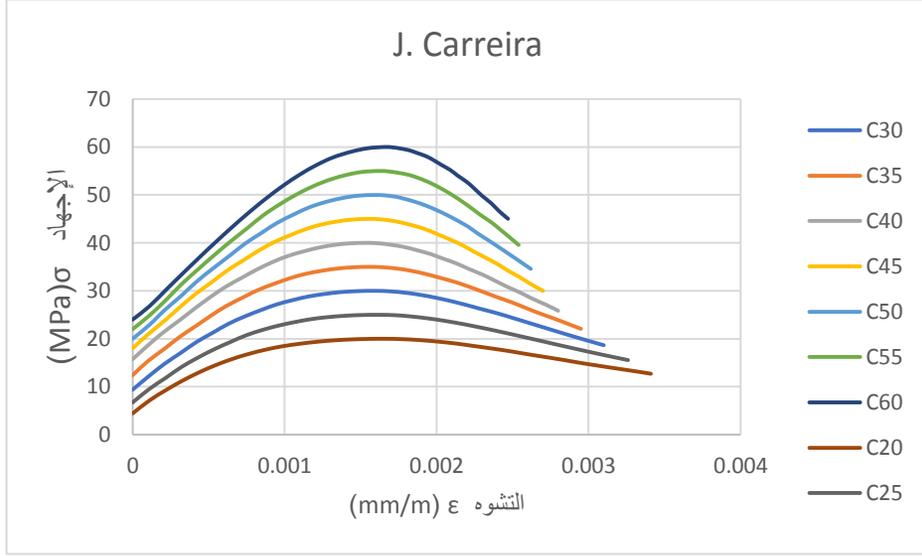
الشكل (6) منحنى الإجهاد - تشوه لبعض نماذج البيتون غير المطوق

والذي تبين بعد إجراء العديد من المقارنات على بيتون بمقاومات مختلفة MPa (20 ~ 60) وعلى عينات بأبعاد مختلفة (أسطوانية ومربعة) تم الوصول إلى نسبة خطأ تتراوح بين 0.6 ~ 8% بين نتائج التجارب والنموذج التحليلي في برنامج ABAQUS. هذا النموذج يعبر عنه بالعلاقة على الشكل التالي ويبين الشكل (7) مخطط الإجهاد - تشوه لنموذج الباحثين لمختلف أنواع البيتون

$$\frac{f_c}{f_{c'}} = \frac{\beta(\varepsilon/\varepsilon_{c'})}{\beta - 1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c'}}\right)^\beta} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{1}{1 - \left(\frac{f_{c'}}{\varepsilon_{c'} \times E_{it}}\right)} \geq 1 \quad (2)$$

β : معامل المادة والذي يعتمد على شكل منحنى الإجهاد - تشوه



الشكل (7) منحنى الإجهاد - التشوه للبيتون (نموذج الباحثين Domingo J.Carreira & [1] (Kuang-Han Chu

ثم بالاعتماد على نموذج الباحثين (Kent & Park) المعدل للبيتون المطوق والذي يعبر عنه بالعلاقات التالية

$$f_{cc} = Kf_c' \left[2 \frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^2 \right] \quad \epsilon_c \leq \epsilon_{cc} \quad (3)$$

$$f_{cc} = Kf_c' [1 - Z(\epsilon_c - K\epsilon_0)] \geq 0.2Kf_c' \quad \epsilon_c \geq \epsilon_{cc} \quad (4)$$

$$K = 1 + \frac{\rho_s F_y h}{f_c'} \quad (5)$$

$$Z = \frac{0.5}{\epsilon_{50w} + \epsilon_{50h} - K\epsilon_0} \quad (6)$$

$$\epsilon_{50w} = \frac{3 + 0.29f_c'}{145f_c' - 1000} \quad (7)$$

$$\epsilon_{50h} = \frac{3}{4} \rho_s \sqrt{\frac{b''}{s_h}} \quad (8)$$

حيث أن

f_{cc} : مقاومة الببتون المطوق على الضغط (MPa)

ϵ_c : تشوه الببتون عند الإجهاد في الذروة يساوي ($\epsilon_c = 0.002$)

K : معامل يأخذ بعين الاعتبار الزيادة في المقاومة نتيجة التطويق العرضي (معامل فعالية التطويق)

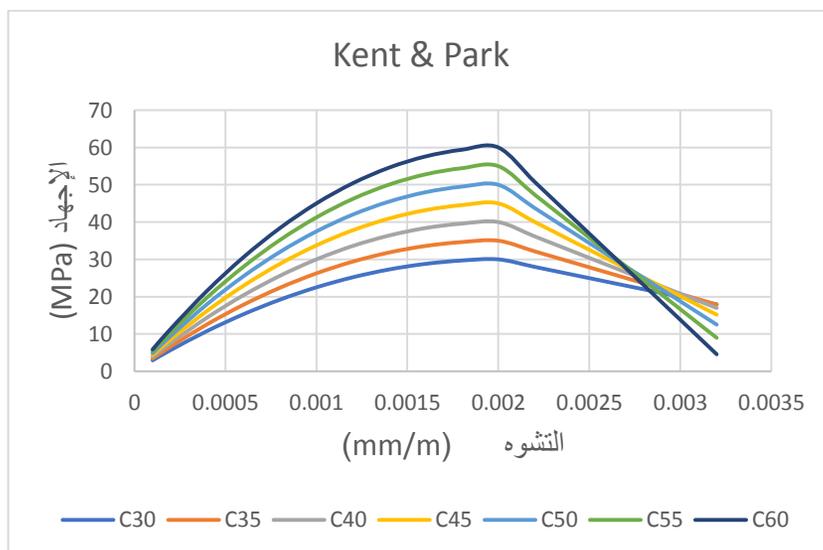
Z : معامل تحسين ميل القسم الهابط للمنحني

ρ_s : نسبة حجم فولاذ التطويق إلى حجم النواة الببتونية المطوقة

s_h : التباعد بين مراكز الأطواق العرضية (mm)

ويوضح الشكل (8) شكل منحنى الإجهاد - التشوه للببتون المطوق وغير المطوق

للباحثين (Kent & Park) [4]



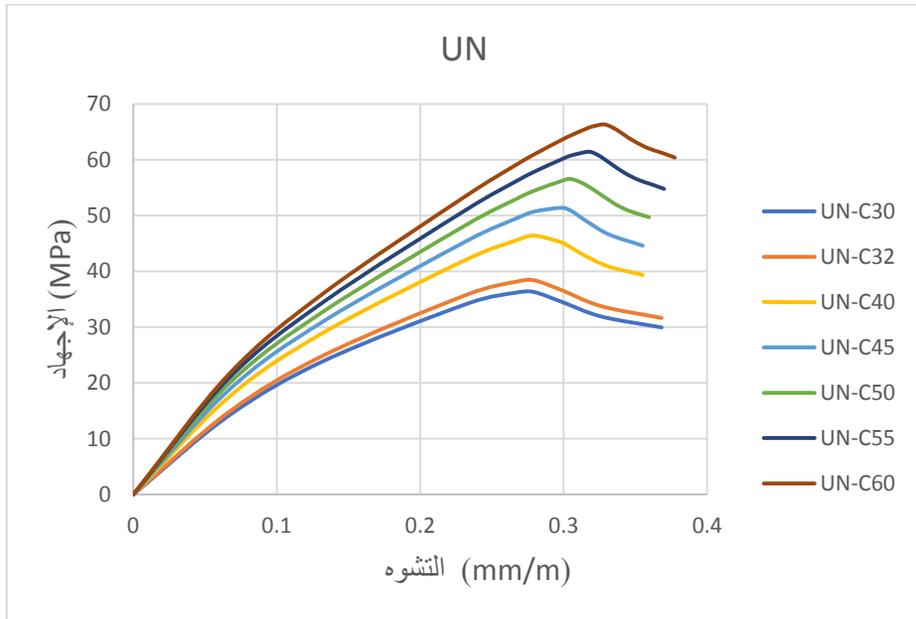
الشكل (8) منحنى الإجهاد - التشوه للببتون المطوق وغير المطوق - نموذج الباحثين (Kent

& Park) المعدل [4]

4- النتائج ومناقشتها:

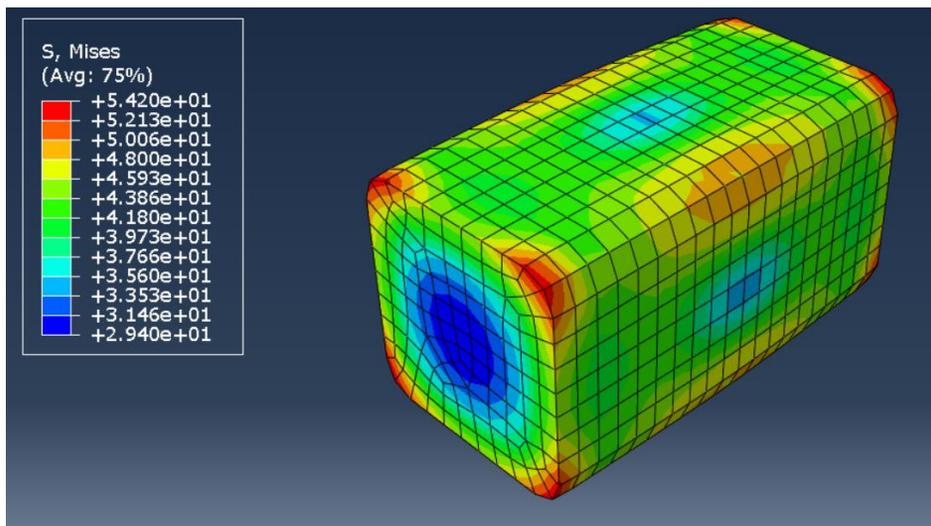
1-4 نتائج العينات غير المطوقة

في البداية، تم نمذجة العينات غير المطوقة وتعرضها إلى قوة ضغط محوري حتى الانهيار وإيجاد منحنى الإجهاد - التشوه لها، ومقارنة قيم التشوهات. ولقد لوحظ انخفاض في مطاوعة العينة بازدياد مقاومة البيتون وزيادة في ميل منحنى الإجهاد - التشوه والانخفاض السريع بعد نقطة الذروة كما هو موضح في الشكل (9) والذي يوضح منحنى الإجهاد - التشوه لمجموعة العينات غير المطوقة



الشكل (9) منحنى الإجهاد - تشوه لمجموعة العينات غير المطوقة

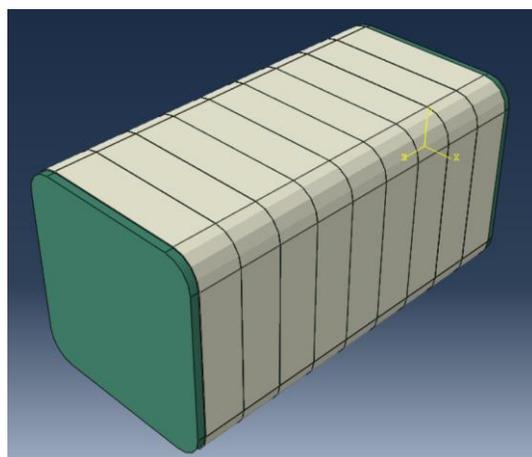
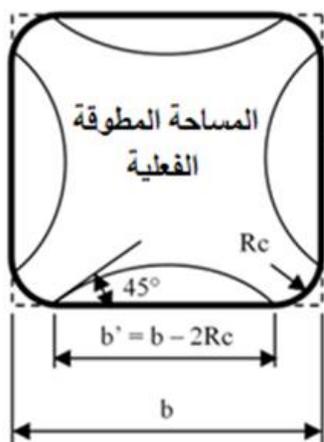
ويبين الشكل (10) توزيع الإجهادات الرئيسية في إحدى عينات المجموعة غير المطوقة



الشكل (10) الإجهادات الرئيسية لعينة من مجموعة العينات غير المطوقة

4-2 نتائج العينات المطوقة

تم أخذ العينات نفسها وتطويقها بالأحزمة الفولاذية تطويقاً كاملاً (التباعد الصافي بين الأحزمة 0 مم) وتطبيق إجهاد شد مسبق وقدره 240 MPa (30% من إجهاد خضوع فولاد الأحزمة) والتي تعادل قوة شد 6.144 KN



الشكل (11) نموذج العينة البيتونية المطوقة بالكامل

النسبة الحجمية للتطويق ρ_s

$$\rho_s = \frac{V_s}{V_c} = \frac{0.8 \times 32 \times 150 \times 4}{150 \times 150 \times 32} = 0.0213 \quad (9)$$

حساب ضغط التطويق البدائي على محيط العينة

(باعتبار نصف قطر التدوير $R_c=20\text{mm}$)

$$f_1 = \frac{2t_f \times E_f \times \varepsilon_f}{d} \quad (10)$$

$$d = \sqrt{2}b - 2R_c(\sqrt{2} - 1) \quad (11)$$

$$d = \sqrt{2} \times 150 - 2 \times 20(\sqrt{2} - 1) = 195.6 \text{ mm}$$

t_f : سماكة مادة التطويق (mm)

E_f : معامل مرونة مادة التطويق (MPa)

ε_f : التشوه النسبي لمادة التطويق (mm/m)

d : قطر العينة المطوقة (mm)

ρ_s : النسبة الحجمية للتطويق

$$f_1 = \frac{2 \times 0.8 \times 240}{195.56} = 1.96 \text{ MPa}$$

وبإدخال أثر التطويق على النماذج، تم إدخال نموذج الباحثين (Kent &

Park) المعدل للبيتون المطوق، وبين الجدول (2) نموذج البيتون المطوق لمختلف

مقاومات البيتون

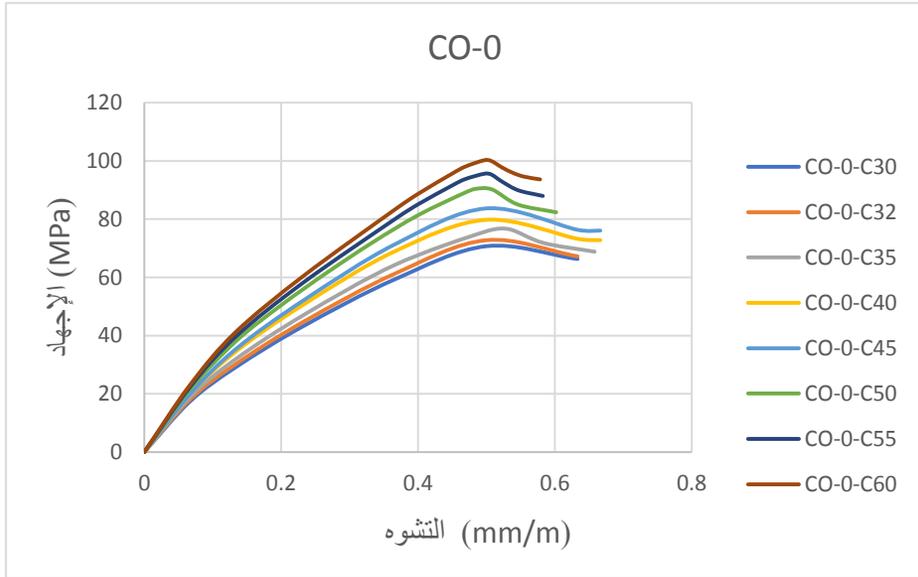
وبعد إدخال نموذج البيتون المطوق وتطويق العينات وتعريضها إلى ضغط

محوري حتى الانهيار، تم إيجاد منحنى الإجهاد - التشوه لكل عينة من العينات

المطوقة. وبين الشكل (12) منحنى الإجهاد - التشوه للعينات المطوقة

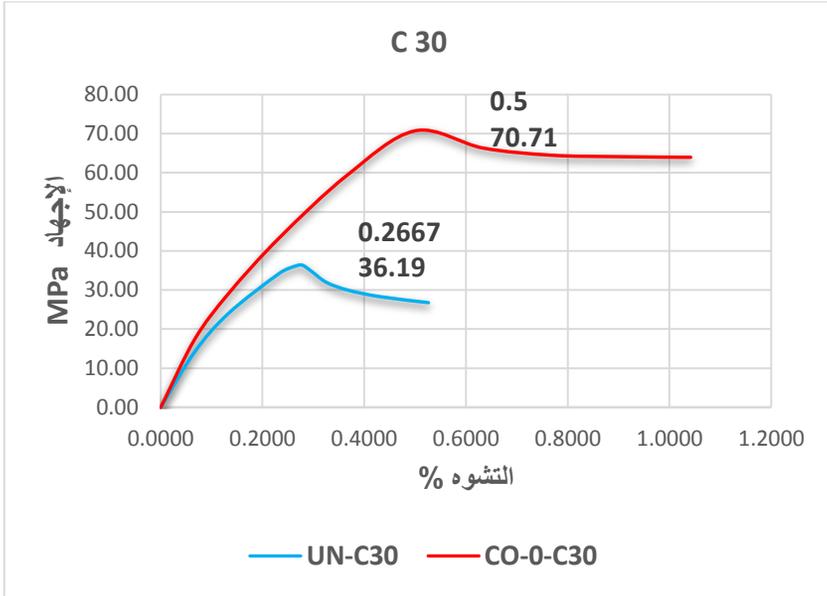
الجدول (2) نموذج (Kent & Park) المعدل للبيتون المطوق لمقاومات مختلفة للبيتون

f_c'	ρ_s	ϵ_{50h}	ϵ_{50u}	z_w	k	f_{cc}
30	0.0213	0.0346	0.0035	14.287	1.569	47.07
32	0.0213	0.0346	0.0034	14.307	1.533	49.06
35	0.0213	0.0346	0.0032	14.320	1.488	52.08
40	0.0213	0.0346	0.0030	14.356	1.427	57.08
45	0.0213	0.0346	0.0029	14.373	1.379	62.06
50	0.0213	0.0346	0.0028	14.385	1.341	67.05
55	0.0213	0.0346	0.0027	14.394	1.31	72.05
60	0.0213	0.0346	0.0026	14.400	1.284	77.04

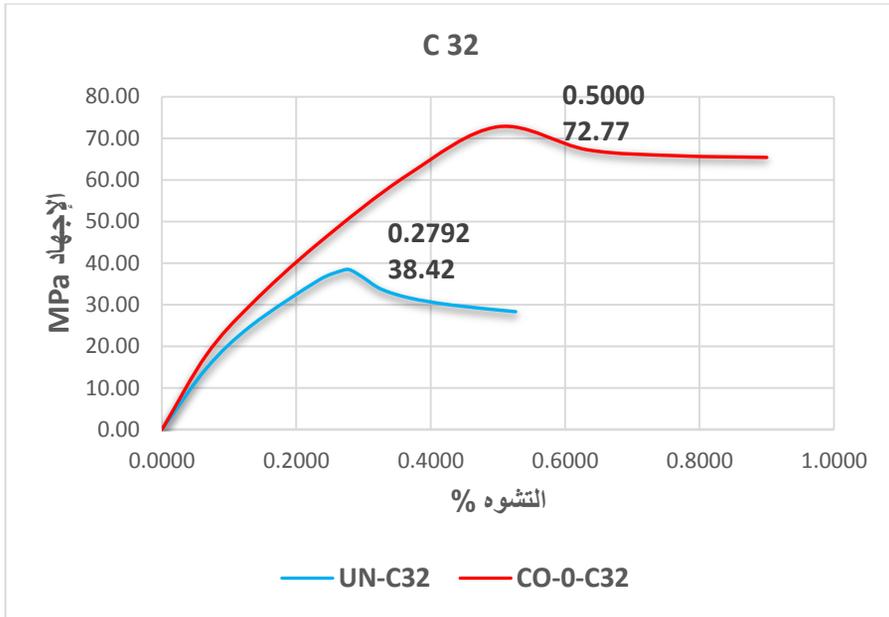


الشكل (12) منحنى الإجهاد - التشوه لمجموعة العينات المطوقة

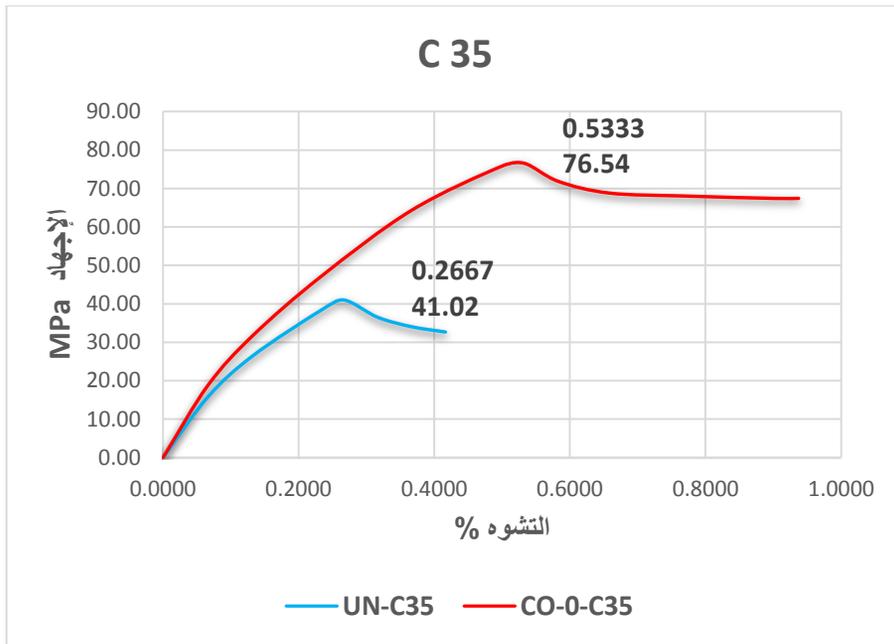
والأشكال (13-a) وحتى (13-h) تعرض مقارنة بين منحنيات الإجهاد - التشوه للعينات المطوقة وغير المطوقة لمختلف مقاومات البيتون



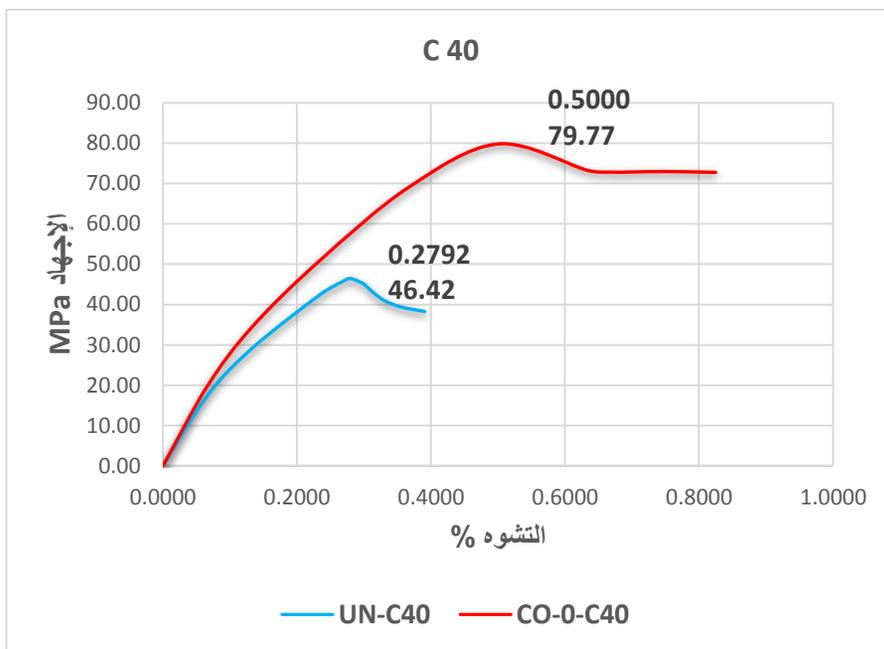
الشكل (13-a)



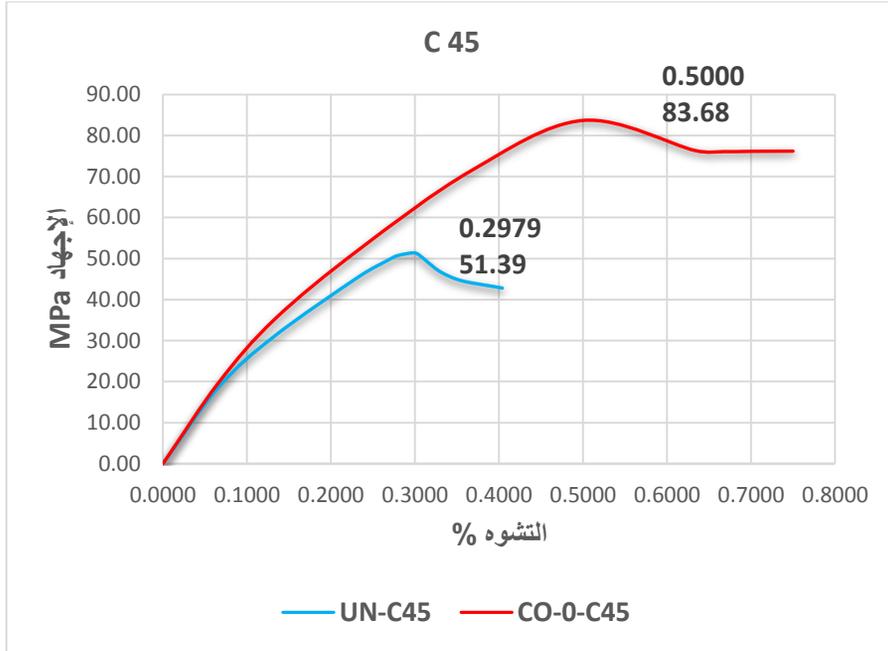
الشكل (13-b)



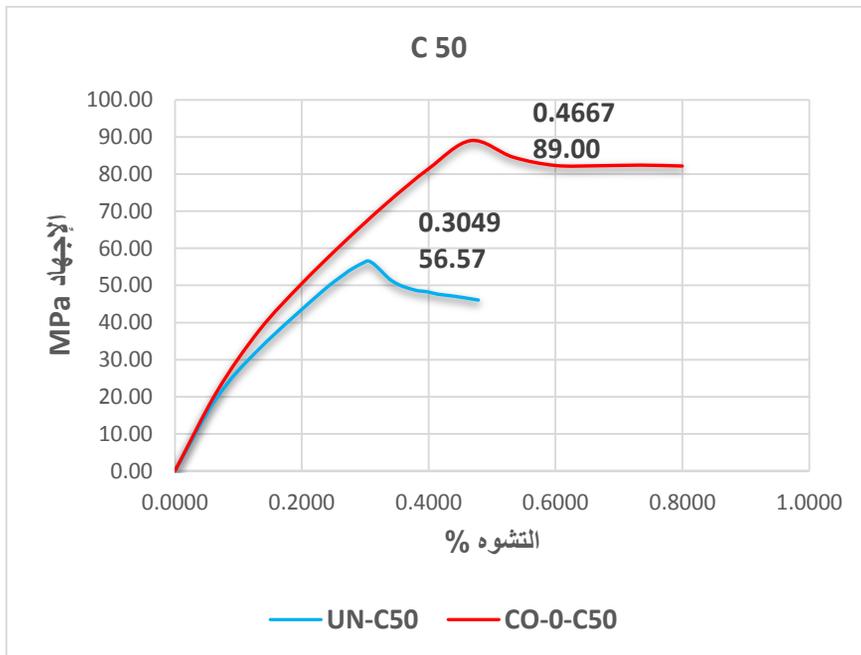
الشكل (13-c)



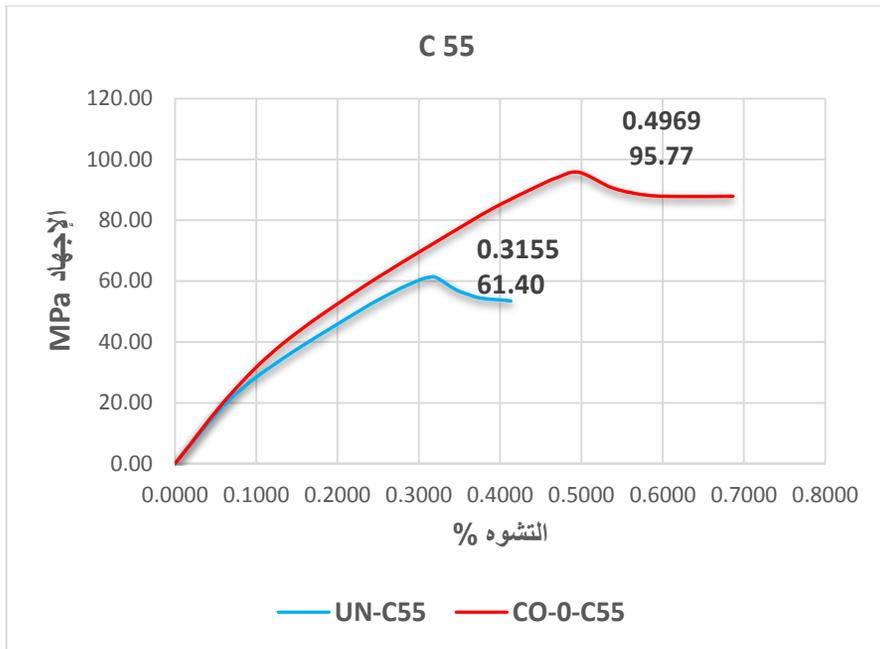
الشكل (13-d)



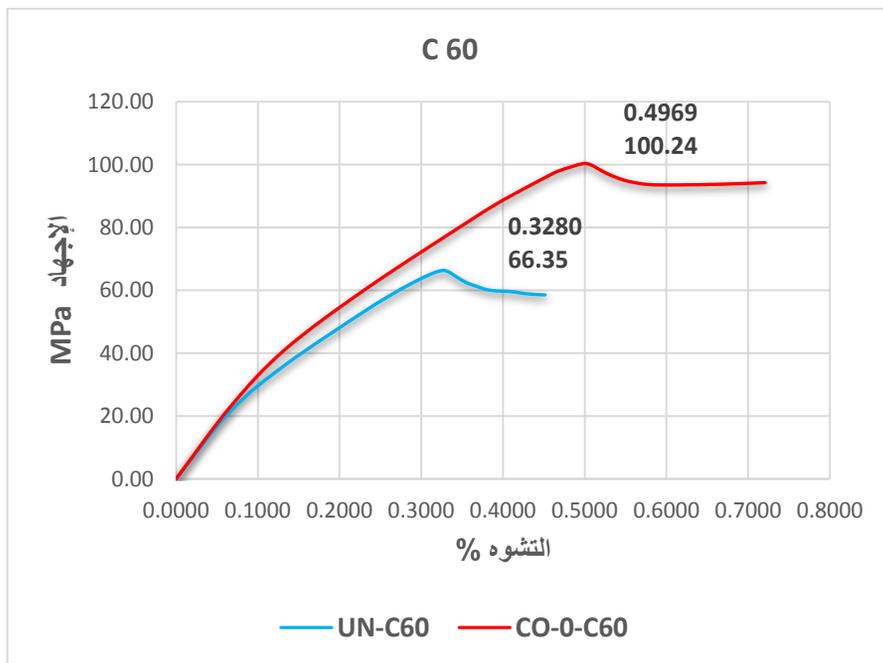
الشكل (13-e)



الشكل (13-f)



الشكل (13-g)



الشكل (13-h)

من الأشكال السابقة (13-a, h) نلاحظ ازدياد مقاومة ومطاوعة العينات بشكل كبير (وهذا واضح في ازدياد ارتفاع منحنى الإجهاد - تشوه)، ثم تنهار العينات - وهذا واضح عند انخفاض منحنى الإجهاد - تشوه للعينات - وبعدها يبدأ المنحنى بالارتفاع بسبب أن الأطواق تبدأ بتحمل الحمولات الخارجية بعد خروج البيتون عن العمل.

ويخلص الجدول (3) نتائج المقارنة بين كافة العينات المطوقة وغير المطوقة ومقدار الزيادة في المقاومة والمطاوعة لكل عينة

الجدول (3) مقدار الزيادة في المقاومة والمطاوعة للعينات المطوقة

σ MPa	ϵ (%)	P (%)
30	79.10	94.74
32	79.10	89.41
35	100.00	86.61
40	79.10	71.85
45	67.83	62.83
50	57.03	57.32
55	55.49	55.97
60	51.48	51.06

حيث أن:

ϵ : التشوه الأقصى عند الانهيار للعينات (%)

P: الإجهاد الأقصى للعينات على الضغط (mPa)

ويوضح الشكل (13) مقدار الزيادة في المقاومة والمطاوعة للعينات المطوقة تطويقاً كاملاً بتغير مقاومة البيتون

وبالمقارنة مع النموذج المقترح من قبل الباحث AWANG [7] والذي اقترح نموذجاً للبيتون المطوق بإجهاد تطويق مسبق، والنموذج موضح في العلاقة (12):

$$\frac{f_{cc}}{f_{co}} = 2.26 \left(\rho_v \frac{f_y}{f_{co}} \right)^{0.4}$$

حيث أن:

f_y : إجهاد خضوع فولاذ التطويق (mPa)

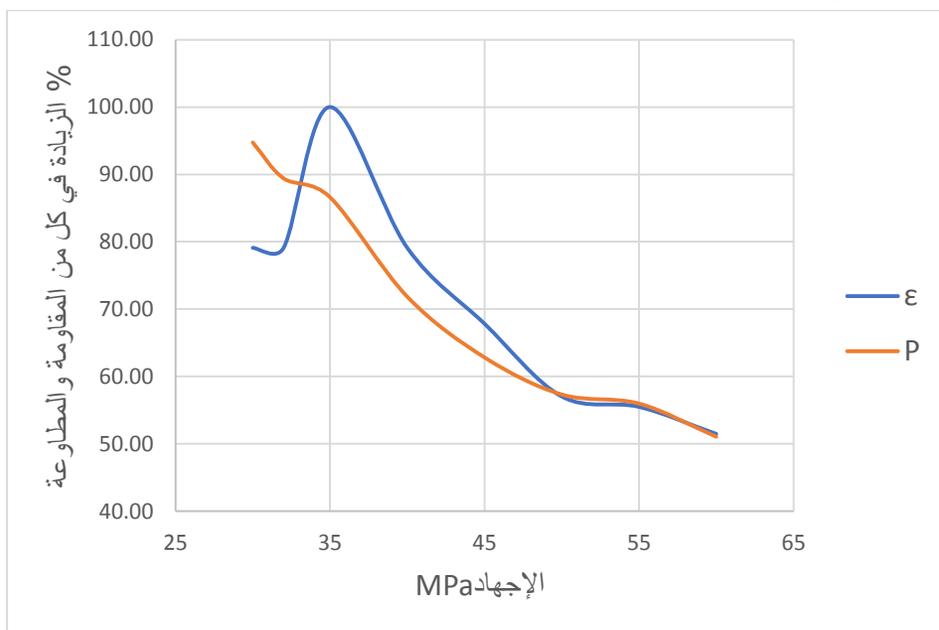
f_{co} : مقاومة البيتون غير المطوق على الضغط (mPa)

f_{cc} : مقاومة البيتون المطوق على الضغط (mPa)

ρ_v : النسبة الحجمية للتطويق

ونتائج المقارنة بين النموذج التحليلي للباحث (AWANG) ونتائج التجارب التحليلية

موضحة في الجدول (4)



الشكل (13) العلاقة بين مقاومة البيتون والزيادة في المقاومة والمطاوعة للعينات المطوقة

بالكامل

نلاحظ من الشكل (13) انخفاض في معدل زيادة المقاومة بازياد مقاومة البيتون على الضغط وزيادة في تحسن المطاوعة عندما تكون مقاومة البيتون على الضغط بحدود 35 MPa ثم انخفاض في معدل الزيادة بمقاومة البيتون على الضغط. ويعود ذلك إلى أن البيتون منخفض المقاومة لا يتحمل إجهادات التطويق العالية والتي تؤدي إلى انهيارات موضعية في العينة

الجدول (3) مقدار الزيادة في المقاومة والمطاوعة للعينات المطوقة

σ MPa	نموذج الباحث AWANG	النموذج التحليلي	نسبة الفرق بين النموذجين (%)
	P (%)		
30	94.37	94.74	0.39
32	89.4	89.41	0.01
35	82.75	86.61	4.66
40	73.24	71.85	1.9
45	65.27	62.83	3.74
50	58.45	57.32	1.93
55	52.52	55.97	6.57
60	47.3	51.06	7.95

5 الاستنتاجات والتوصيات:

5-1 الاستنتاجات:

- (1) إن تقنية الأحزمة الفولاذية مسبق الإجهاد (SSTT) تزيد من مقاومة البيتون على الضغط بشكل ملحوظ والأهم أنها تزيد من المطاوعة بشكل كبير، وبالتالي تغير من سلوك البيتون عالي المقاومة وتجعل انهياره غير قصيف
- (2) التطويق ليس له تأثير ملحوظ على الصلابة الأولية للعينات البيتونية

(3) إن تأثير التطويق مسبق الإجهاد على زيادة المطاوعة يكون أعظماً عندما تكون المقاومة للبيتون بين (35-40)MPa وتصل حتى 100% وتقل بازديدها، ويقل تأثير التطويق مسبق الإجهاد (SSTT) على زيادة المقاومة على الضغط للبيتون بشكل عام بازدياد مقاومة البيتون.

(4) إن تطبيق إجهاد شد بدائي في تطويق البيتون يعتبر طريقة جيدة من أجل زيادة تأثير التطويق إلى الحد الأقصى، ولكن الدراسات السابقة بينت أن الشد المسبق الزائد للتطويق غير فعال. إن النماذج المطوقة بشد مسبق بنسبة 30% تملك أعلى نسبة تحسن في المقاومة والمطاوعة، والعينات المطوقة بنسبة شد 20% تملك أقل نسبة تحسن في المقاومة، والعينات المطوقة بنسبة شد 40% تملك نسبة تحسن أعلى في المقاومة وأنسبة تحسن أقل في المطاوعة بالمقارنة مع العينات المطوقة بنسبة شد 20% [13]

(5) بعد مقارنة النتائج التحليلية مع نموذج الباحث (AWANG) تبين أن النتائج التحليلية مطابقة له بشكل مقبول جداً (نسبة خطأ لا تتجاوز 8%) مثل نسبة الخطأ المعتمدة في النموذج التحليلي.

2-5 التّوصيات:

- 1- إجراء تجارب مخبرية تدعم النتائج التحليلية
- 2- البحث في تأثير وضع عدة طبقات من الأحزمة الفولاذية على مقاومة البيتون على الضغط وتأثيرها على المطاوعة خاصة للبيتون عالي المقاومة
- 3- تم إجراء الدراسة التحليلية بالأخذ بعين الاعتبار تأثير التطويق الخارجي مسبق الإجهاد، ولكن يجب ملاحظة أن الأعمدة في الواقع تصمم بوجود تسليح عرضي داخلي متمثل بالأساور العرضية والتي تساهم في زيادة المقاومة. ويوجد تأثير إضافي للتطويق في مناطق تكثيف الأساور والتي يمكن أن تؤثر على دقة

النتائج التحليلية، ويجب إجراء دراسات أكثر من أجل إيجاد نموذج تحليلي أكثر دقة يأخذ تأثير التسليح الداخلي على النموذج المدروس

6 المراجع:

- [1] Domingo J. Carreira and Kuang-Han Chu, **Stress-Strain Relationship for Plain Concrete in Compression**, TECHNICAL PAPER, ACI JOURNAL, November-December 1985
- [2] Richard, F. E., Brandtzaeg, A. and Brown, R. L., "**A Study of The Failure of Concrete Under Combined Compressive Stresses**," University of Illinois, Engineering Experimental Station, Illinois, USA, 1928.
- [3] Ma Chau Khu, Abdullah Zawawi Awang, Wahid Omar, "**New theoretical model for SSTT-confined HSC columns**", University of Technology, Magazine of Concrete Research · April 2014
- [4] Kent, D.C. and Park, R. (1971), "**Flexural members with confined concrete**", J. Struct. Division, 97(7), 1969-1990
- [5] Mander, J.B., Priestley, M.J.N., and Park R., "**Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete**" ASCE Structural Journal, Vol. 114, No.8, Aug. 1988(b), pp. 1804-1826
- [6] Amir Mirmiran1 and Mohsen Shahawy, **BEHAVIOR OF CONCRETE COLUMNS CONFINED BY FIBER COMPOSITES**, Journal of Structural Engineering · May 1997
- [7] Abdullah Zawawi Bin Awang, **Stress-Strain behavior of high-strength Concrete with lateral pre-tensioning confinement**, University of Technology Malaysia, 2013
- [8] T. Imjai, U. Chaisakulkiet R. Garcia and K. Pilakoutas, **Strengthening of RC members using post-tensioned metal straps: state of the research**
- [9] Hoong-Pin Lee, Abdullah Zawawi Awang, Wahid Omar, **Experimental Investigation on SSTT Confined Concrete with**

Low Lateral Pre-tensioning Stresses, University of Technology, Malaysia 2014

[10] Hoong-Pin Lee, Abdullah Zawawi Awang, Wahid Omar, **Behavior of Steel Straps-Confined Concrete Column with Lateral Pre-tensioning Stresses under Uniaxial Cyclic Compression**, University of Technology, Malaysia, 2013

[11] Niall Holmes, Dervilla Niall, **Active confinement of weakened concrete columns**, Dublin, Ireland, 2014

[12] H. MOGHADDAM, M. SAMADI, S. MOHEBBI, **RC MEMBERS STRENGTHENING BY LATERAL POST-TENSIONING OF EXTERNAL METAL STRIPS**, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

[13] N. Holmes, D. Niall, and C. O'Shea, **"Active confinement of weakened concrete columns"** Materials and Structures, vol. 48, pp. 2759-2777, 2015