

Evaluation The Effect Of Polymer Bars On The Deflection And Cracks In The Flexural Members

Dr. Ghandi Ali Jahjah*
Dr. Kusai Ali Naddaf**

(Received 5 / 8 / 2019. Accepted 3 / 9 / 2019)

□ ABSTRACT □

Concrete beams with fiber-reinforced polymer bars are exposed to large deflection and cracks compared to steel-reinforced concrete beams.

This study presents an analytical comparison using the ANSYS program for concrete beams reinforced with GFRP bars certified with the experimental study of previous researchers [1], concrete beams reinforced with CFRP bars, and concrete beams reinforced with steel bars to evaluate the effect of bars type on deflection and cracks in concrete.

This study concluded that use of (FRP) increases ultimate load of beams, since (CFRP) gives the bigger ultimate load and lower deflection, and steel bars gives lower ultimate load and biggest deflection.

Keywords: Deflection –polymer – cracks.

* Professor, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Assistant professor, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

تقييم فاعلية استخدام قضبان FRP في الحد من السهم والتشققات في العناصر المعرضة للانحناء

د. غاندي علي ججاج*

د. قصي علي نداف**

(تاريخ الإيداع 5 / 8 / 2019. قَبِلَ للنشر في 3 / 9 / 2019)

□ ملخص □

تؤثر السهوم والتشققات بشكل كبير على قدرة تحمل العناصر المعرضة للانحناء وإمكانية استثمارها، ويعتبر الحد من السهوم والتحكم بتوزيع وأبعاد التشققات من المسائل الهامة، ويعد استخدام قضبان FRP بدلاً من القضبان الفولاذية إحدى طرق الحد من تأثير العوامل الخارجية المتمثلة بالشقوق على تسليح العناصر المعرضة للانحناء. يتناول البحث دراسة مقارنة تحليلية باستخدام برنامج ANSYS لجوائز بيتونية مسلحة بقضبان GFRP موثقة مع الدراسة التجريبية لباحثين سابقين [1]، وجوائز أخرى مسلحة بقضبان CFRP لمعرفة أثر نوع القضبان على كل من قيم السهم والتشققات الحاصلة في العناصر البيتونية مقارنة مع حالة التسليح بالفولاذ وتحديد الأفضل بينها للحد من السهوم والتشققات الحاصلة.

وخلصت الدراسة إلى أن استخدام القضبان البوليميرية يساهم في زيادة حمولة الانهيار حيث تكون نسبة الزيادة أكبر لحالة القضبان الكربونية ثم الزجاجية (حالة استخدام طبقة تسليح واحدة) بينما تكون حمولة الانهيار في حالة القضبان الفولاذية أقل، كما أن السهم الحاصل في العناصر المسلحة بتسليح قضبان بوليميرية كربونية يكون أقل منه في حالة القضبان الزجاجية، أما في حالة القضبان الفولاذية فيكون السهم أكبر مقابل نفس الحمولة لحالة القضبان الكربونية والزجاجية.

الكلمات المفتاحية: السهم - بوليميرات مدعمة بألياف - تشققات.

* أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

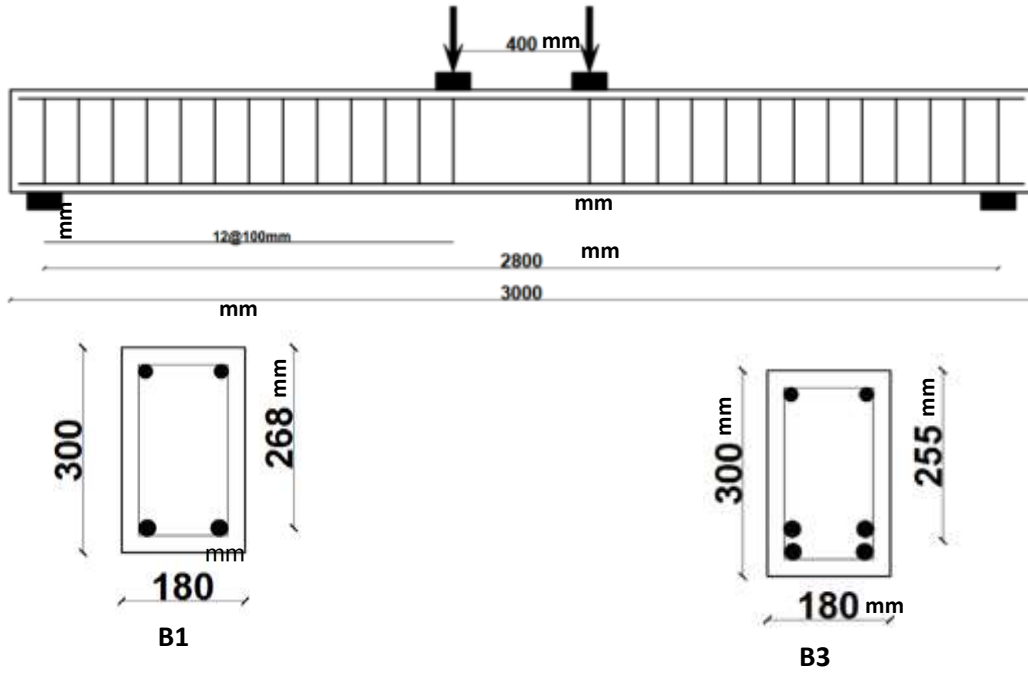
** مدرس - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة:

إن مشكلة الصدأ في فولاذ التسليح ساهمت في توجيه العديد من الباحثين للبحث عن حل بإيجاد تسليح بديل للفولاذ، وتعد القضبان البوليميرية بمقاومتها العالية للشد ومقاومتها للصدأ، بديلاً جيداً للفولاذ، لكن الاشتراطات التي تم تطويرها لتصميم العناصر الإنشائية المسلحة بالفولاذ لا تنطبق على العناصر المسلحة بقضبان FRP، لأن هذه القضبان تختلف عن الفولاذ بخصائص عدة منها الشكل الهندسي والمطاوعة ومعامل المرونة والارتباط مع الببتون. لذلك عمدت عدة دراسات لتطوير علاقات التصميم لهذه المواد منها علاقات عرض الشقوق والسهم [1][2][3][4][5].

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تقييم تأثير استخدام قضبان CFRP و GFRP على قيم السهم الحاصلة والشقوق الناتجة عن التحميل في العناصر المعرضة للانحناء والمقارنة بينها ومع حالة تسليح هذه العناصر بفولاذ عادي. اعتمدت الطريقة التحليلية لإجراء هذا البحث حيث تمت نمذجة جوائز الدراسة المرجعية [1] باستخدام برنامج ANSYS15 وتوثيق النماذج مع الجوائز التجريبية للدراسة المذكورة والمبينة تفاصيلها في الشكل (1)، ومن ثم تعميم النماذج لتشمل قضبان تسليح الفولاذ وقضبان الكربون كما هو مبين في الجدول (1).



الشكل (1). تفاصيل تسليح الجيزان المدروسة

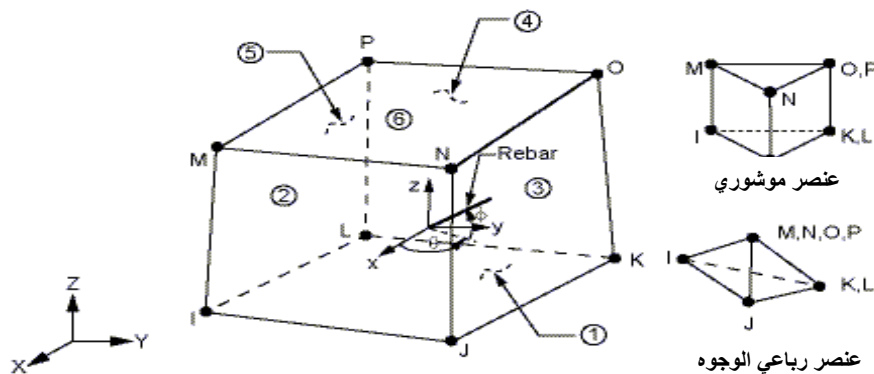
الجدول (1). تفاصيل تسليح الجيزان المدروسة

الجائز	الابعاد (cm)	التسليح السفلي	التسليح العلوي	تسليح القص
B1S	18*30	2T12mm steel	2T10mm	T8/10cm
B1C	18*30	2T12.7mm Carbon	2T10mm	T8/10cm
B1G	18*30	2T12.7mm Glass	2T10mm	T8/10cm
B3S	18*30	4T12mm steel	2T10mm	T8/10cm
B3C	18*30	4T12.7mm Carbon	2T10mm	T8/10cm
B3G	18*30	4T12.7mm Glass	2T10mm	T8/10cm

حيث تمت نمذجة الجيزان البيتونية المسلحة باستخدام برنامج (ANSYS15) [6]، واعتمدت النمذجة المتقدمة (Advanced Modeling) لمحاكاة ظروف تجريب هذه الجيزان في المخبر حيث قمنا بنمذجة البيتون وفولاذ التسليح وقضبان ألياف الكربون والزجاج وصفائح الاستناد وصفائح التحميل كما يلي:
نمذجة البيتون المسلح:

تمت نمذجة البيتون في برنامج ANSYS15 باستخدام العنصر (Solid65) وهو عنصر حجمي لاخطي يتألف من ثمان عقد تملك كل منها ثلاث درجات حرية هي الانتقالات باتجاه المحاور الثلاثة، ويتمتع بقابلية التشقق والسحق، ونمذجة التسليح ضمنه بالاتجاهات الثلاثة والشكل (2) يبين خصائص هذا العنصر الذي يعتمد على الفرضيات التالية:

1. يسمح بتشقق العنصر بالاتجاهات الثلاثة عند كل نقطة تكاملية.
2. تستخدم طريقة الشق اللزج (Smearred crack) لنمذجة الشقوق المتشكلة.
3. يعتبر البيتون مادة متجانسة (Isotropic) قبل التشقق



الشكل (2). العنصر الحجمي SOLID65

ويخلص الجدول (2) خصائص بيتون الانشاء كما تم إدخالها في برنامج التحليل (ANSYS).

الجدول (2). خصائص الببتون المدخلة في برنامج التحليل (ANSYS).

معامل شق القصر المفتوح	V	f_r (Mpa.)	f'_c (Mpa.)	E_c (Mpa.)
0.28	0.2	3.5	35	35000

علاقة (إجهاد - تشوه) للببتون (ضغط أحادي):

يجب إدخال علاقة (إجهاد- تشوه) للببتون في برنامج التحليل (ANSYS) من أجل نمذجة سلوك العنصر الببتوني وتم اعتماد العلاقات التالية في بحثنا هذا استناداً للعديد من الدراسات [7][8]:

$$F = \frac{E_c \times \varepsilon}{1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^2}$$

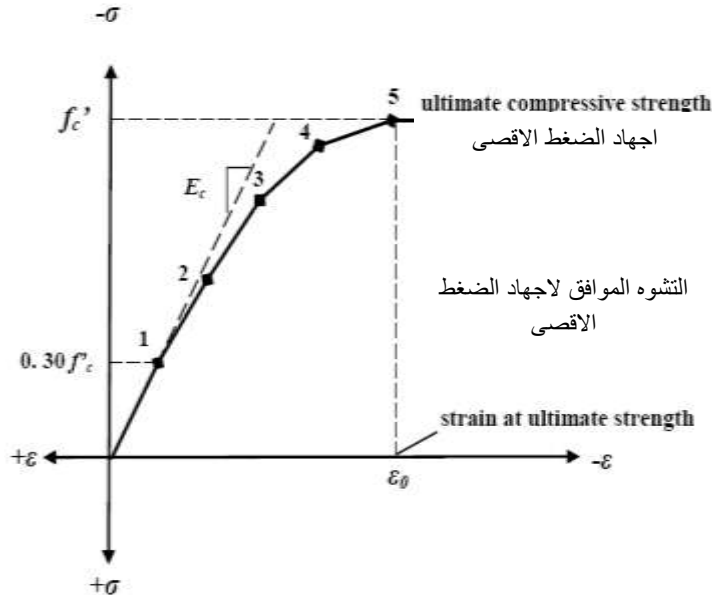
$$E_c = \frac{F}{\varepsilon}, \quad \varepsilon_0 = \frac{2f'_c}{E_c}$$

حيث: F - الإجهاد المقابل للتشوه ε .

ε - التشوه عند الإجهاد F .

ε_0 - التشوه المقابل لـ f'_c .

ويبين الشكل (3) منحنى (الإجهاد - تشوه) المستخدم لمحاكاة سلوك الببتون حيث يتألف من ست نقاط ويبدأ من النقطة (0) ذات الإجهاد صفر والتشوه صفر، النقطة (1) عند الإجهاد $0.3f'_c$ ، وباقي النقاط التي تحسب من العلاقات أعلاه، ويبين الجدول (3) قيم الاحكام والتشوه النسبي المفقود لهذه النقاط.



الشكل (3). المنحنى المبسط (إجهاد - تشوه) للببتون.

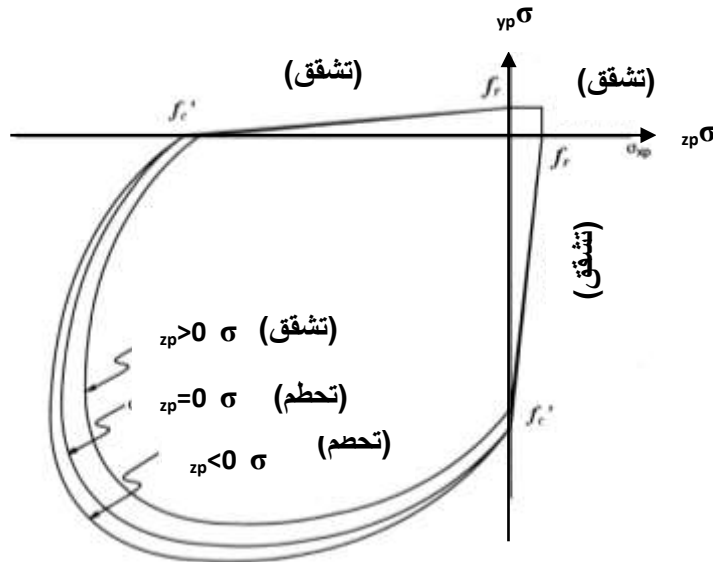
الجدول (3). نقاط منحني (إجهاد - تشوه) للبيتون المدخلة ضمن برنامج (ANSYS).

النقطة	الإجهاد (Mpa.)	التشوه النسبي
1	10.5	0.0003
2	19.27	0.0006
3	28	0.001
4	33.6	0.0015
5	35	0.002

معايير انهيار البيتون:

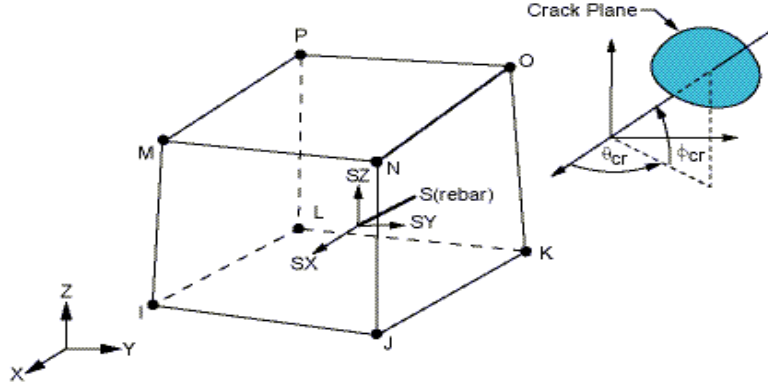
من المعروف أن انهيار البيتون يحدث نتيجة تجاوز الإجهادات الضاغطة المؤثرة قيمة المقاومة المميزة للبيتون أو تجاوز الإجهادات الشادة مقاومة البيتون على الشد، لذلك سنحتاج إلى إدخال مقاومة البيتون على الضغط والشد لتحديد سطح انهياره.

يوضح الشكل (4) سطوح الانهيار للبيتون حيث تظهر ثلاثة سطوح انهيار كمسقط في المستوي $(\sigma_{xp} - \sigma_{yp})$ ، وشكل الانهيار هو تابع لإشارة الإجهاد الرئيسي باتجاه Z أي σ_{zp} ، على سبيل المثال إذا كان σ_{xp}, σ_{yp} سالبان (ضغط) وكان σ_{zp} موجباً بقيمة قليلة (شد) فإن التشقق سيكون باتجاه متعامد مع σ_{zp} ولكن إذا كان $\sigma_{zp} = 0$ أو سالب قليلاً فإن البيتون سيتعرض للسحق (crushing)



الشكل (4). سطوح انهيار البيتون وفق ANSYS

يتشقق العنصر البيتوني عندما يتوضع إجهاد الشد الرئيسي في أي اتجاه خارج سطح الانهيار، وبعد التشقق فإن عامل مرونة العنصر البيتوني يصبح معدوماً في الاتجاه الموازي لاتجاه إجهاد الشد الرئيسي، والشكل (5) يبين مستوى التشقق واتجاهه في العنصر البيتوني (Solid 65) [6].



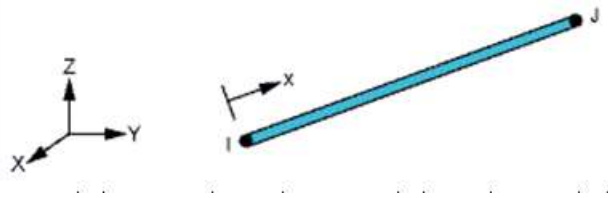
الشكل (5). مستوى الشق واتجاهه في العنصر (Solid 65).

يحدث التحطم (Crushing) في العنصر البيتوني (Solid 65) عندما تكون كل الاجهادات الرئيسية ضاغطة (سالبة) وتتوضع خارج سطح الانهيار، وبالتالي يعطى عامل مرونة العنصر البيتوني قيمة الصفر في كافة الاتجاهات، ويلغى تأثير العنصر المنته.

لاحظنا خلال هذه الدراسة أنه إذا تم تفعيل إمكانية تحطم البيتون ضمن البرنامج، تظهر مشاكل عدم تقارب الحل اللاخطي، ويبدأ البيتون الواقع مباشرة تحت الحمولات بالتحطم ومن ثم يبدأ البيتون المجاور بالتحطم بالخطوات اللاحقة للحمولة وبالتالي تتخفف القساوة المحلية وتظهر انتقالات كبيرة ويتباعد الحل (مشكلة عدم تقارب)، وبالتالي تم إلغاء إمكانية تحطم البيتون في نموذج العناصر المنتهية، وهذا يتوافق مع العديد من الدراسات والأبحاث العالمية.

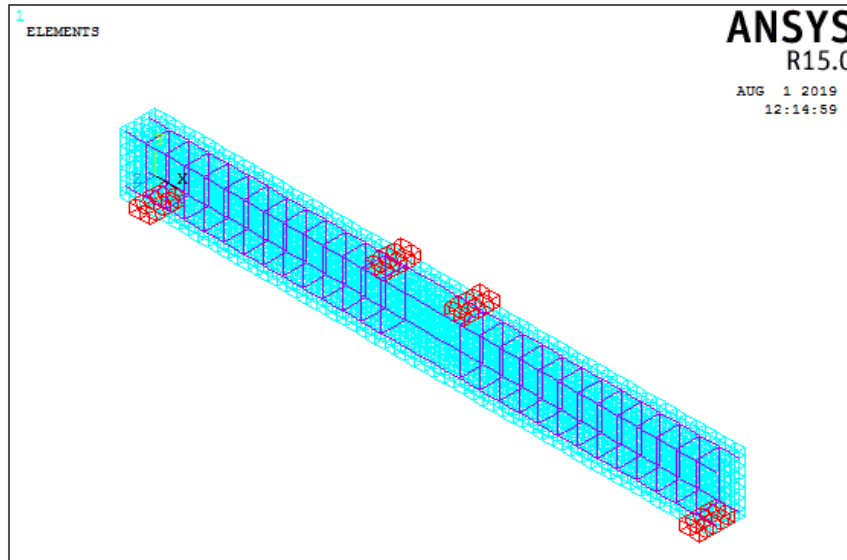
نمذجة فولاذ التسليح:

تمت نمذجة فولاذ التسليح كعنصر خطي (Link180) يشترك مع البيتون بنفس العقد وبالتالي فإن ارتباطه معه تام يتألف هذا العنصر من عقدتين (i,j) تتمتع كل عقدة بثلاث درجات حرية هي الانتقالات بالاتجاهات الثلاثة (Ux, Uy, Uz) [6]، ويبين الشكل (6) هذا العنصر.

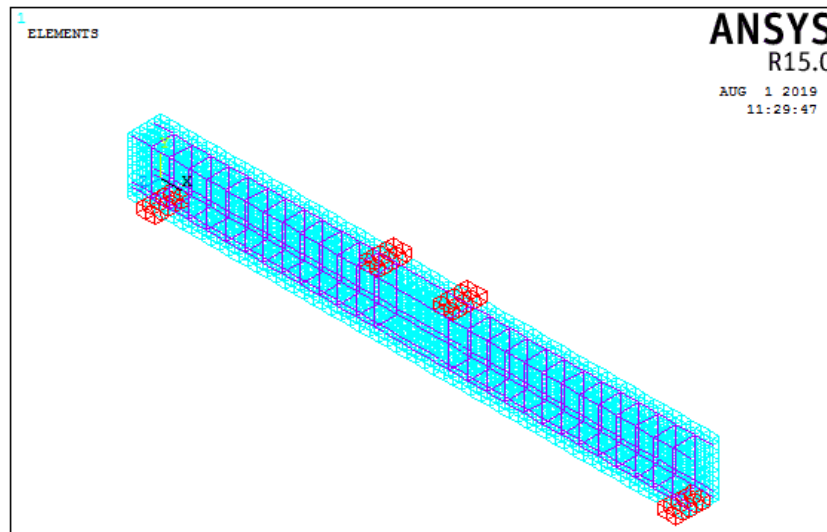


الشكل (6) Link180

خواص فولاذ التسليح الطولي والعرضي هي: عامل مرونة فولاذ التسليح ، نسبة بواسون ، إجهاد خضوع فولاذ التسليح الطولي 400Mpa ، إجهاد خضوع التسليح العرضي 360Mpa، والشكل (7) والشكل (8) يبينان نمذجة الجوائز (B1,B3) وضمنها قضبان التسليح.



الشكل(7). تفاصيل نمذجة الجانز B1



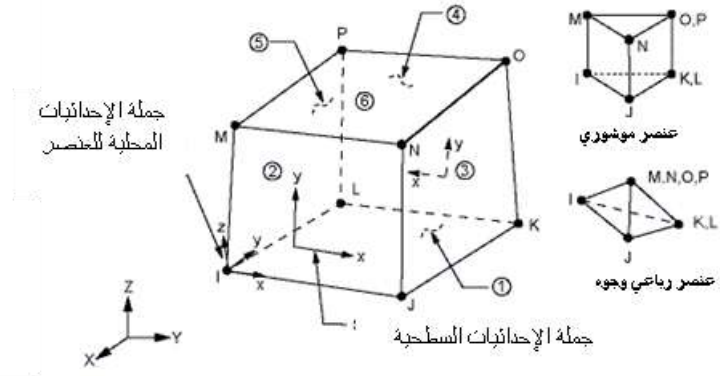
الشكل(8). تفاصيل نمذجة الجانز B3

نمذجة صفائح التحميل والاستناد:

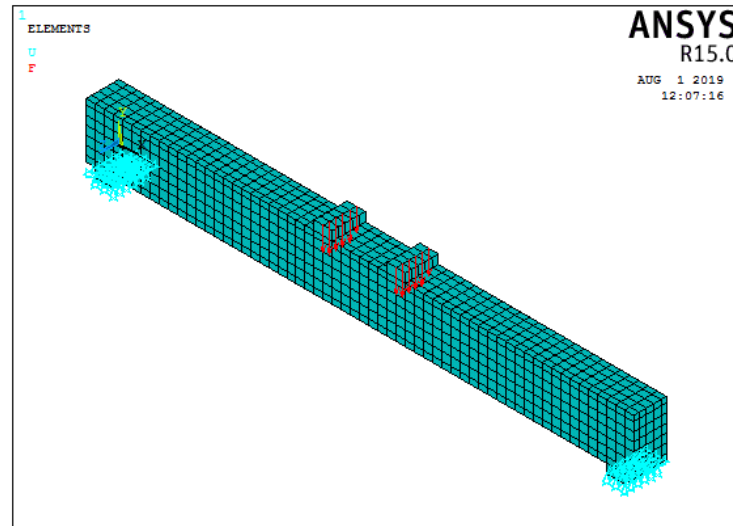
تمت نمذجة صفائح التحميل والاستناد كعناصر حجمية باستخدام العنصر الحجمي هو (solid45) الذي يتألف من ثمان عقد تتمتع كل واحدة منها بثلاث درجات حرية هي الانتقالات بالاتجاهات الثلاثة (Ux,Uy,Uz) [6]، كما في الشكل (9).

يتمتع هذا العنصر بخاصية التلدن والزحف والتشوهات الكبيرة والانتقالات الكبيرة .

اعتبرنا معامل مرونة فولاذ الصفيحة $E_s = 200000MPa$ ونسبة بواسون $\nu = 0.3$.
يبين الشكل (10) صفائح الاستناد والتحميل والشروط الطرفية للجيزان المختبرة.



الشكل(9).العنصر الحجمي SOLID45



الشكل(10).تقسيم الجانز لعناصر منتهية مع شروط الاستناد والتحميل.

التحليل اللاخطي للنموذج (Nonlinear Analyses):

تم تطبيق الحملات في النموذج اللاخطي بشكلٍ متدرج، حيث قسمت الحملات إلى عدة حملات مرحلية تسمى خطوات الحملات (load steps)، ويقوم البرنامج بتعديل مصفوفة صلابة النموذج بعد كل خطوة تحميل لتعكس التغيرات اللاخطية على الصلابة الإنشائية للعنصر ثم الانتقال إلى خطوة الحملات التالية، مستخدماً طريقة نيوتن رافسون (Newton Raphson) التكرارية لتعديل صلابة النموذج تبعاً للتغيرات اللاخطية الحاصلة. يستخدم نيوتن رافسون المنهج التكراري التوازني للوصول إلى تقارب الحل عند نهاية كل خطوة تحميل ضمن حدود التحميل.

يقوم هذا المنهج على حساب شعاع قوى التوازن، وهو الفرق بين القوى الداخلية العائدة للاجهادات في العنصر والحمولات المطبقة، ثم التحقق من معيار تقارب الحل فإذا لم يتحقق هذا المعيار يعاد حساب قوى التوازن، وتعديل مصفوفة الصلابة، وينتقل إلى التكرار التالي وهكذا يستمر التكرار حتى تحقيق معيار التقارب المحدد مسبقاً. وفي هذا البحث فإن معيار التقارب القوة والانتقال وحدود تقارب التحمل اعتمدت حسب افتراضات برنامج ANSYS، واعتبر الجائز منهاراً عند ابتعاد الحل عن التقارب رغم إعطاء خطوة حمولة صغيرة جداً.

النتائج والمناقشة:

بعد توثيق النموذج من خلال مقارنة نتائج الحساب باستخدام ANSYS مع النتائج التجريبية لعينات مسلحة بقضبان زجاجية، قمنا بتغيير نوع القضبان من قضبان بوليميرية بألياف زجاجية كما في الدراسة التجريبية المذكورة إلى قضبان بوليميرية بألياف كربونية مرة وقضبان فولاذية مرة أخرى، واعدنا التحليل ثم أجرينا المقارنة بين النتائج التحليلية لأنواع القضبان الثلاثة من حيث حمولة الانهيار والسهم وتوزع الشقوق.

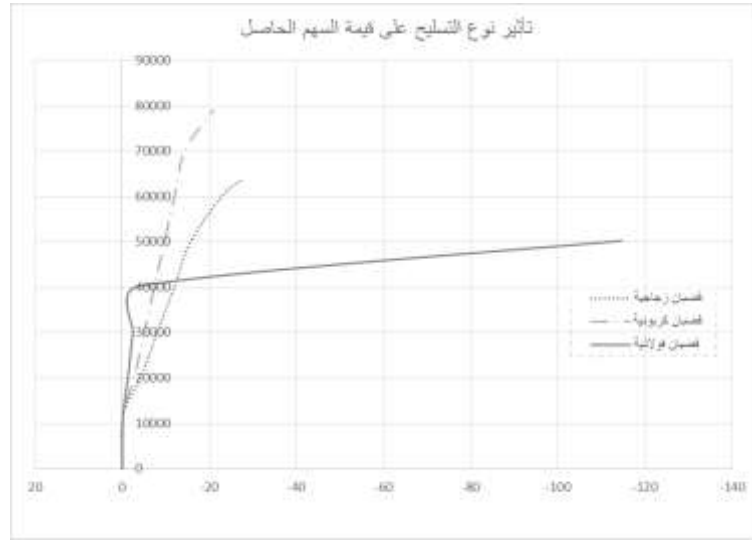
1- السهم وحمولة الانهيار:

لقد تبين زيادة قيمة حمولة الانهيار في حالة استخدام قضبان بوليميرية بألياف زجاجية وكربونية بشكل كبير مقارنة مع حالة القضبان الفولاذية

الجدول (4). قيم السهم الحاصلة في العناصر المدروسة عند الانهيار.

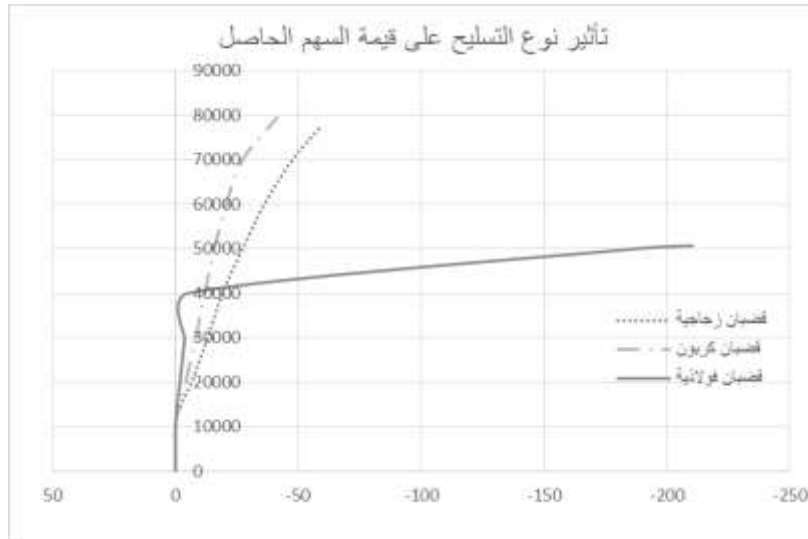
الجائز	حمولة الانهيار ANSYS	حمولة الانهيار التجريبية	السهم الاعظمي ANSYS	السهم الأعظمي التجريبية
	N	N	mm	mm
B1S	50801	-	210.5	-
B1C	79608	-	41.49	-
B1G	77332	99166.67	59.75	71.5
B3S	75989.4	-	114.6	-
B3C	78927	-	21.15	-
B3G	79455	117916.17	36.55	61.5

وكانت نسبة الزيادة في الحمولة حسابياً عند الانهيار %56.7 و %52.2 لحالة القضبان الكربونية والزجاجية على التوالي، في حالة صف واحد من التسليح، بينما وصل مقدار السهم عند حمولة الانهيار إلى 41.49mm و 59.75mm و 6.13mm للقضبان الكربونية والزجاجية والفولاذية على التوالي، عند استخدام قضبي تسليح في صف واحد كما هو وارد في الجدول (4) مع مراعاة أن حمولة الانهيار للفولاذ أقل بكثير من حالة الكربون والزجاج. يوضح الشكل (11) تغير السهم الحاصل تبعاً لنوع القضبان ويظهر واضحاً الزيادة في السهم في حالة القضبان الفولاذية مقارنة بالقضبان الكربونية والزجاجية في حالة استخدام صفين من التسليح.



الشكل (11) تغير السهم الحاصل تبعاً لنوع القضبان حالة استخدام صفيين من التسليح.

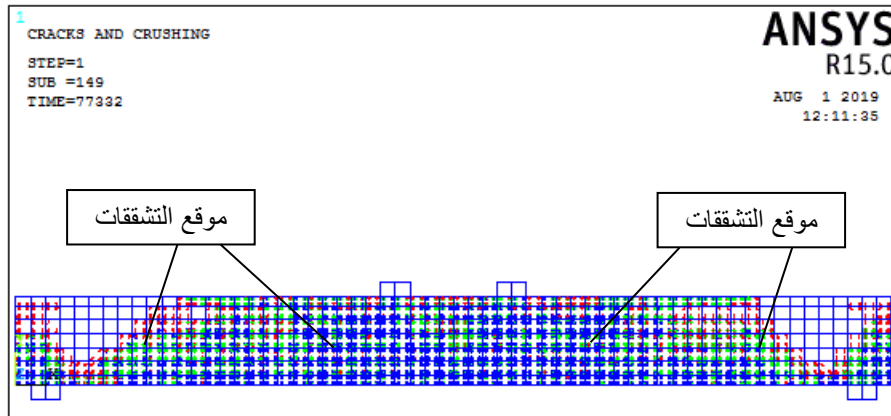
كذلك في حالة استخدام صف واحد من التسليح يلاحظ بقاء الزيادة في السهم لحالة القضبان الفولاذية مقارنة مع القضبان الزجاجية و الكربونية.



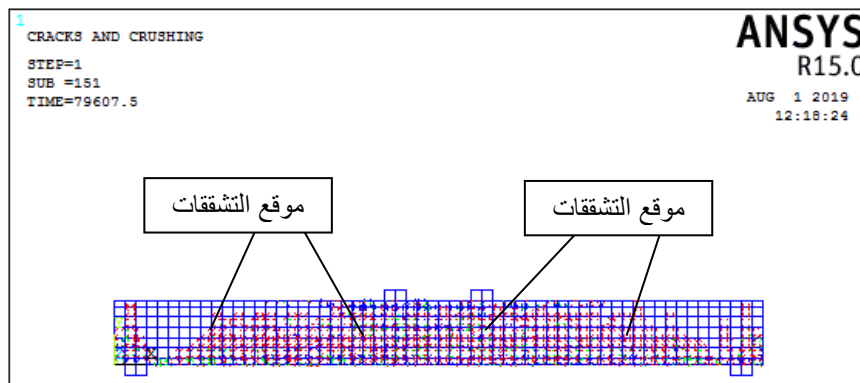
الشكل (12) تغير السهم الحاصل تبعاً لنوع القضبان حالة استخدام صف واحد من التسليح.

2 - التشققات:

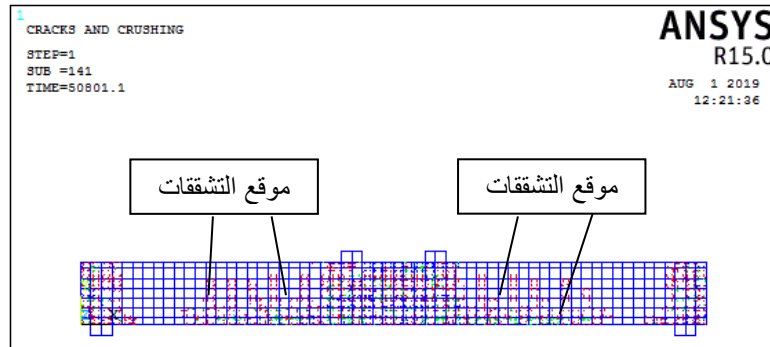
يظهر من خلال تحليل العناصر المعرضة للانحناء الواردة مواصفاتها في الجدول (1) أن التشققات تنتزع على كامل الجانز ويكون توزعها كبير في حالة القضبان الكربونية تليها حالة القضبان الزجاجية، وتكون أقل انتشاراً في حالة القضبان الفولاذية وذلك لحالة استخدام طبقة واحدة من التسليح كما في الشكل (13-a,b,c) ، ولحالة استخدام طبقتين من التسليح وفق الشكل (14-a,b,c).



B1G تشققات الجائز - a

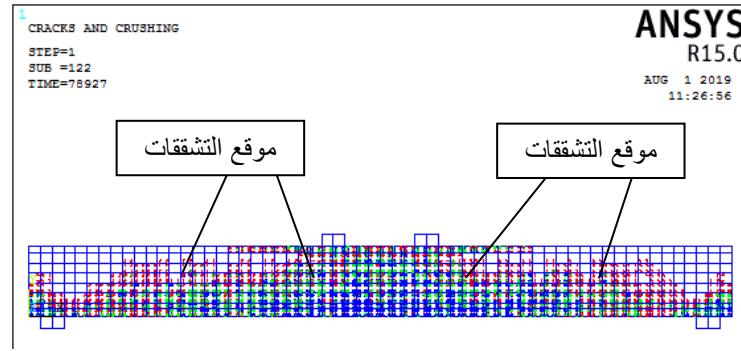


B1C تشققات الجائز - b

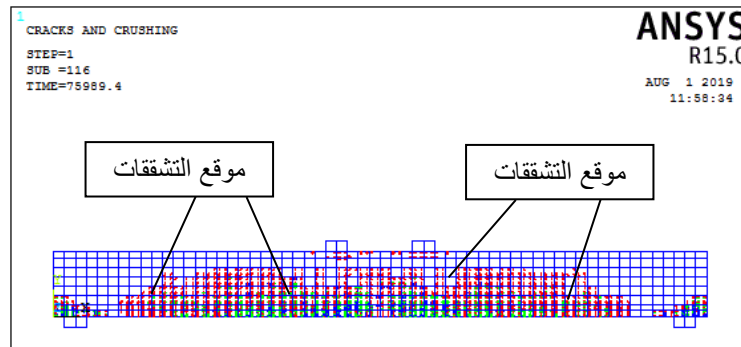


B1S تشققات الجائز - c

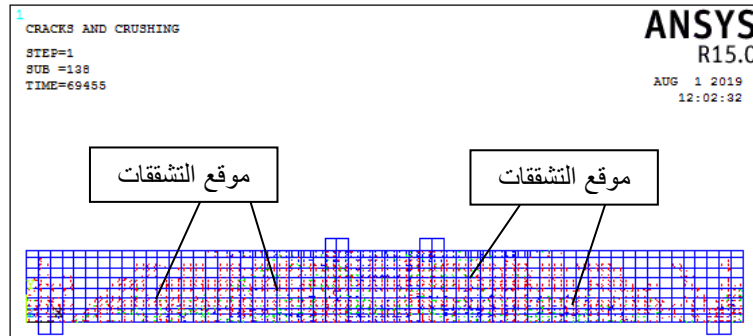
الشكل (13-a,b,c) حالة استخدام طبقة واحدة من التسليح.



B3C - تشققات الجائز a



B3S - تشققات الجائز b



B3G - تشققات الجائز c

الشكل (14-a,b,c) حالة استخدام طبقتين من التسليح.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

من خلال الدراسة أعلاه يمكن استخلاص النتائج التالية:

- 1- إن استخدام القضبان البوليميرية يساهم في زيادة حمولة الانهيار حيث تكون نسبة الزيادة أكبر لحالة القضبان الكربونية ثم الزجاجية (حالة استخدام طبقة تسليح واحدة) بينما تكون حمولة الانهيار في حالة القضبان الفولاذية أقل.
- 2- إن السهم الحاصل في العناصر المسلحة بتسليح قضبان بوليميرية كربونية يكون أقل منه في حالة القضبان الزجاجية، أما في حالة القضبان الفولاذية فيكون السهم أكبر مقابل نفس الحمولة لحالة القضبان الكربونية والزجاجية.

3- ظهور التشققات وتوزعها يكون أكبر في حالة القضبان الكربونية والزجاجية بينما يكون توزعها أقل في حالة القضبان الفولاذية.

التوصيات:

- 1 - ضرورة دراسة تأثير الأحمال الديناميكية على تحمل العناصر المعرضة للانحناء والسهم الحاصلة فيها والمسلحة بقضبان بوليميرية كربونية وزجاجية.
- 2 - دراسة تأثير درجات الحرارة العالية على استخدام التسليح بقضبان بوليميرية.

المراجع:

- 1- HOUSSAM TOUTANJI, YONG DENG, "Deflection and crack-width prediction of concrete beams reinforced with glass FRP rods", Construction and Building Materials 17, 2003, pp. 69-74.
- 2- ACI 440. 1R-01, "Guide for Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars", ACI, Farmington. Michigan, 2001.
- 3- TOUTANJI H, SAAFI M. "Flexural behavior of beams reinforced with glass fiber reinforced polymer (FRP) bars", ASCE Struct J, 2000, 97(5): 712-9.
- 4- MASMOUDI R, THERIAULT M, BENMOKRANE B. "Flexural behavior of concrete beams reinforced with deformed fiber reinforced plastic reinforced rods", ACI Struct J, 1998, 95(5): 665-76.
- 5- ALMUSALLAM TH. "Analytical prediction of flexural behavior of concrete beams reinforced by FRP bars", J Compos Mater, 1997, 31(7): 640-57.
- 6- ANSYS, "ANSYS Users Manual Revision 10", ANSYS, Inc., Canonsburg, Pennsylvania, 2013.
- 7- DESAYI, P. KRISHNAN, S., "Equation for the Stress-Strain Curve of Concrete", Journal of the American Concrete Institute, 61, pp.345-350, March 1964.
- 8- GERE, J.M. TIMOSHENKO, S. P. "Mechanics Of Materials", PWS Publishing Company, Boston, Massachusetts, 1997.