

تقييم فعالية موديل مقترح لمحاكاة سلوك جيزان بيتونية مسلحة مدعمة على القص بشرائح GFRP

وعد ابراهيم الخطيب*

(تاريخ الإيداع 11 / 8 / 2014. قُبل للنشر في 19 / 2 / 2015)

□ ملخص □

يتناول بحثنا هذا دراسة تجريبية تحليلية تهدف تقييم فعالية موديل عناصر منتهية مقترح لمحاكاة سلوك جيزان بيتونية مسلحة مدعمة بشرائح (GFRP)-Glass Fiber Reinforced Polymers البولمرات المسلحة بألياف الزجاج- من خلال دراسة طاقة التحمل القصوى لهذه الجيزان وآلية تشققها وانهيائها بالإضافة لمنحنيات حمولة-سهم وذلك باختبار تسعة جيزان بيتونية مسلحة بسيطة الاستناد أبعاد كل منها 200x30x16 cm قسمت لثلاث مجموعات الأولى معيارية تضم ثلاثة جيزان معيارية، والثانية تضم ثلاثة جيزان مدعمة بشرائح شاقولية جانبية من GFRP، والثالثة تضم ثلاثة جيزان مدعمة بشرائح جانبية من GFRP مائلة بزوايا 45° عن محور الجانز، واقتراح موديل حجمي من العناصر المنتهية لمحاكاة سلوك هذه الجيزان باستخدام برنامج ANSYS10، ومقارنة هذه النتائج التي أثبتت فعالية الموديل المقترح في محاكاة سلوك الجيزان المختبرة حيث توافقت مع النتائج التي حصلنا عليها تجريبياً.

الكلمات المفتاحية: نمذجة، طريقة العناصر المنتهية، البولمرات المسلحة بألياف الزجاج (GFRP)، التشققات، شرائح التدعيم، تحطم البيتون.

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

Evaluation The Efficiency of a Suggested Model in Emulation The Behavior of R.C. Beams Strengthened with GFRP Strips.

Waad Ibrahim Alkhatib*

(Received 11 / 8 / 2014. Accepted 19 / 2 / 2015)

□ ABSTRACT □

Our Paper is a laboratory modeling research to evaluate the efficiency of finite element model in emulation the behavior of R.C. beams with shear deficiencies (ultimate load, mechanism of cracking and failure, load-deflection behavior) strengthened with GFRP strips.

We tested nine R.C. beams 200x30x16 cm in three groups, the first consists of three R.C.beams for comparing, the second consists of three strengthened R.C. beams with two sides vertical GFRP strips, and the third also consists of three strengthened R.C. beams with two sides inclined (45°) GFRP strips.

We modeled these beams by advanced finite element program Ansys10, and we get results agreed with our laboratory study.

Key Words: Modeling, Finite element method, Glass fiber reinforced polymer, Cracks, Strengthening strips, ConcreteCrushing.

*Academic Assistant-Structure Engineering Department-Civil Engineering College-Tishreen University-Lattakia-Syria

مقدمة:

نظراً للكلف الكبيرة التي تصرف على التجارب المخبرية والوقت اللازم لانجاز هذه الدراسات، ولظهور صعوبات تواجه تجريب بعض العناصر الإنشائية مخبرياً ارتأينا أن نقدم نموذجاً من العناصر المنتهية يحاكي سلوك جيزان بيتونية مسلحة مدعمة على القص بشرائح جانبية من البولمرات المسلحة بألياف الزجاج GFRP وجعل هذا الموديل نقطة انطلاق لتطوير نماذج أخرى تحاكي سلوك عناصر إنشائية مختلفة، آخذين بعين الاعتبار المهمة الصعبة نسبياً لمحاكاة سلوك البيتون المسلح كونه مادة غير متجانسة ذات سلوك لاخطي بعد تشققه [7] بالإضافة لمحاكاة التماسك بين قضبان التسليح والبيتون، وكذلك محاكاة سلوك شرائح التدعيم GFRP وعلاقتها مع العنصر البيتوني وطريقة ارتباطها به. [4,8]

وكون برنامج العناصر المنتهية ANSYS يعتبر من أهم وأضخم البرامج البحثية العالمية المنتشرة حديثاً استخدمناه للقيام بعملية النمذجة.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى معالجة إشكالية محاكاة سلوك البيتون المسلح المدعم بشرائح GFRP وذلك من خلال مايلي:

- اختبار تسعة جيزان بيتونية مسلحة بسيطة الاستناد أبعاد كل منها 200x30x16 cm قسمت لثلاث مجموعات الأولى معيارية تضم ثلاثة جيزان للمقارنة والثانية تضم ثلاثة جيزان مدعمة بشرائح شاقولية جانبية من GFRP والثالثة تضم ثلاثة جيزان مدعمة بشرائح جانبية من GFRP مائلة بزواوية 45° عن محور الجائر، وذلك بدراسة طاقة التحمل القصوى وآلية التشقق وانهييار وسلوك (حمولة - سهم) لهذه الجيزان.
- مناقشة ومقارنة النتائج التي سنحصل عليها من الموديل مع النتائج التجريبية وبالتالي تقييم مدى فعاليته في نمذجة سلوك العناصر المختبرة.

منهجية البحث:

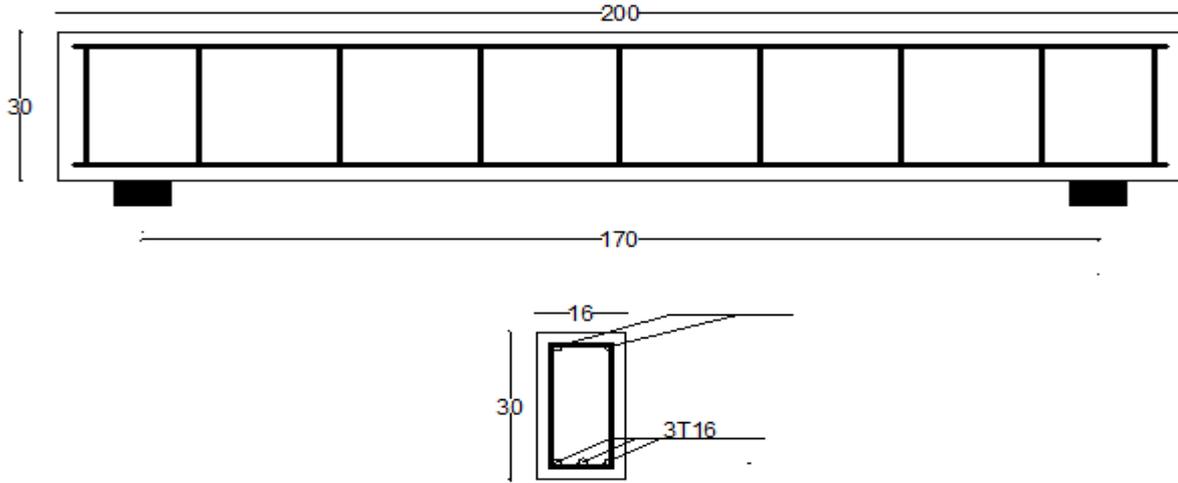
تم تقسيم العمل باتجاهين:

الاتجاه الأول: تجريبي تضمن اختبار تسعة جيزان بيتونية مسلحة بسيطة الاستناد قسمت لثلاث مجموعات الأولى معيارية تضم ثلاثة جيزان للمقارنة والثانية تضم ثلاثة جيزان مدعمة بشرائح شاقولية جانبية من GFRP والثالثة تضم ثلاثة جيزان مدعمة بشرائح جانبية من GFRP مائلة بزواوية 45° عن محور الجائر.

الاتجاه الثاني: تحليلي لنمذجة سلوك الجيزان المختبرة باستخدام برنامج ANSYS والوصول لاقتراح موديل حجمي من العناصر المنتهية يحاكي سلوك الجيزان البيتونية المسلحة المدعمة بشرائح GFRP.

العينات المختبرة:

لتحقيق لهدف البحث تم تصميم جيزان بيتونية مسلحة أبعادها (200x30x16 cm) ضعيفة في مقاومة قوى القص وذلك لضمان انهيارها عند الاختبار بتأثير إجهادات القص، حيث تم تسليحها بـ (3T16) من الفولاذ المحلزن عالي المقاومة بإجهاد خضوع (525 Mpa.) كتسليح طولي عامل و (3T10) كتسليح تعليق، أما تسليح القص فكان من (Ø6mm/25cm) من الفولاذ الأملس ذو إجهاد الخضوع (325Mpa.) كما هو مبين في الشكل (1).



الشكل (1) تفاصيل تسليح الجيزان المختبرة.

واستخدمت المواد المحلية من بحص ورمل واسمنت بورتلاندي عادي للحصول على بيتون مكتنز مقاومته المميزة (22.5Mpa).

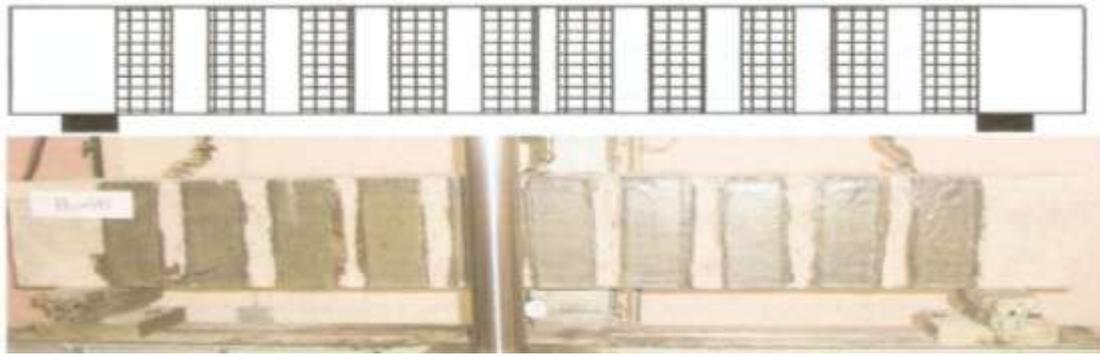
قسمت العينات المختبرة إلى ثلاث مجموعات من الجيزان:

- المجموعة الأولى (B-R) تحوي ثلاثة جيزان معيارية غير مدعمة بهدف المقارنة.
- المجموعة الثانية (B-90) تحوي ثلاثة جيزان تم تدعيمها على القص وذلك على الوجهين الجانبين بشرائح (GFRP) من ألياف زجاجية عمودية على محور العنصر عرضها 10cm وتباعدها 17cm وسماكتها لطبقة واحدة 0.48mm (جدول 1)، وذلك بعد تنظيف سطحها واتخاذ كافة الإجراءات التي تضمن لصق جيد لشرائح التدعيم [2] ويوضح الشكل (2) توزيع شرائح التدعيم لهذه المجموعة.

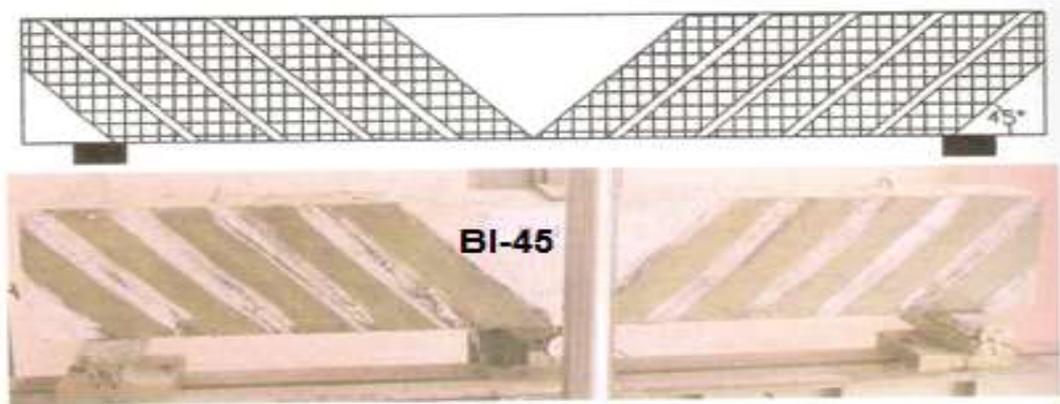
- المجموعة الثالثة (B-45) تحوي ثلاثة جيزان تم تدعيمها على القص وذلك على الوجهين الجانبين بشرائح (GFRP) من ألياف زجاجية تميل بزاوية 45° ويوضح الشكل (3) توزيع شرائح التدعيم لهذه المجموعة.

الجدول (1) خصائص الألياف الزجاجية المستخدمة. [5]

رقم المنتج	نوع الليف	اتجاه الألياف	وزن المتر المربع g/m ²	السماكة mm	معامل المرونة على الشد Gpa	الاستطالة النسبية %
EWR400	E	ألياف منتظمة بالاتجاهين	900	0.48	70	3



الشكل (2) الجيزان المدعمة بشرائح شاقولية من (GFRP).



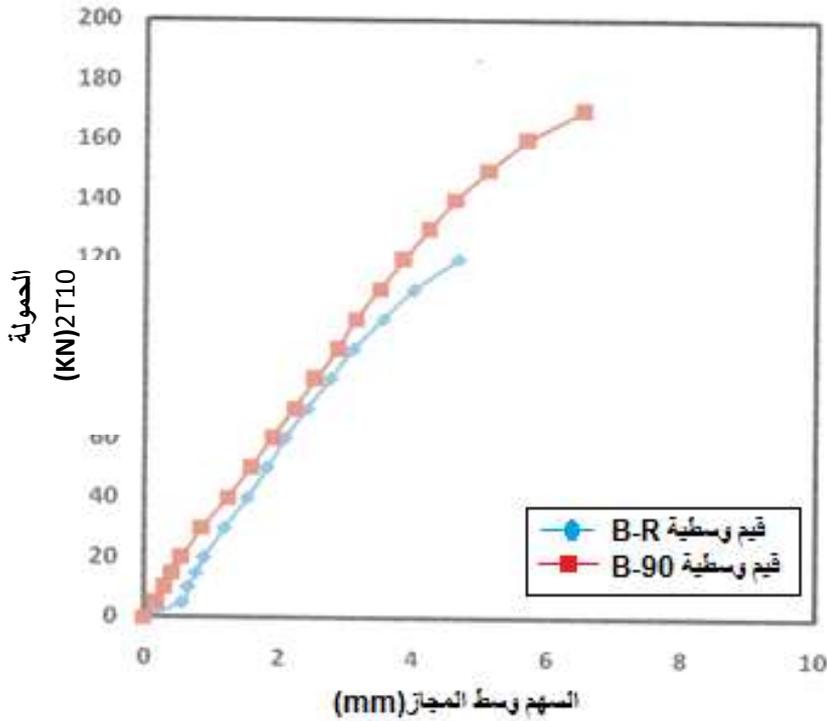
الشكل (3) الجيزان المدعمة بشرائح من (GFRP) مائلة بزاوية 45°.

اختبرت جميع العينات باعتبارها جيزان بسيطة الاستناد مجازها 170cm معرضة لقوة مركزة في وسط مجازها متزايدة تدريجياً من الصفر حتى الانهيار، حيث طبقت القوة بسرعة وسطية 20KN/min وبتزايد تدريجي 5-10KN-15-20-.....-6,1]، وحددت حمولة انهيار هذه الجيزان كما هو مبين في الجدول (2).

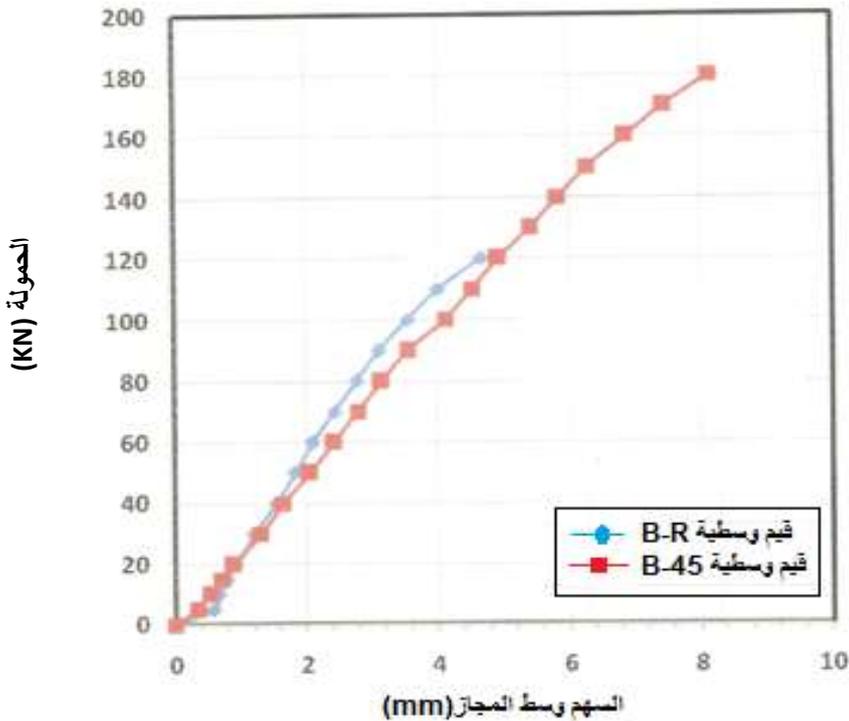
الجدول (2). المقاومة القصوى لمجموعة الجيزان المختبرة.

المجموعة	الجيزان	حمولة الانهيار بـ KN	حمولة الانهيار الوسطية بـ KN
B-R	BI- R	132	131.67
	BII- R	138	
	BIII- R	125	
B-90	BI-90	174	170.00
	BII-90	170	
	BIII-90	166	
B-45	BI-45	192	185.67
	BII-45	185	
	BIII-45	180	

كما تم قياس السهوم بواسطة مقياس مدرج دقته 0.01mm تم تثبيته في وسط مجاز الجائز المختبر (نقطة تطبيق القوة المركزة) ورسمت منحنيات (حمولة-سهوم) للقيم الوسطية للمجموعة الجيزان المختبرة كما هو مبين في الشكل (4) لمجموعة الجيزان (B-90) مع الجيزان المعيارية (B-R) والشكل (5) لمجموعة الجيزان (B-45) مع الجيزان المعيارية (B-R).

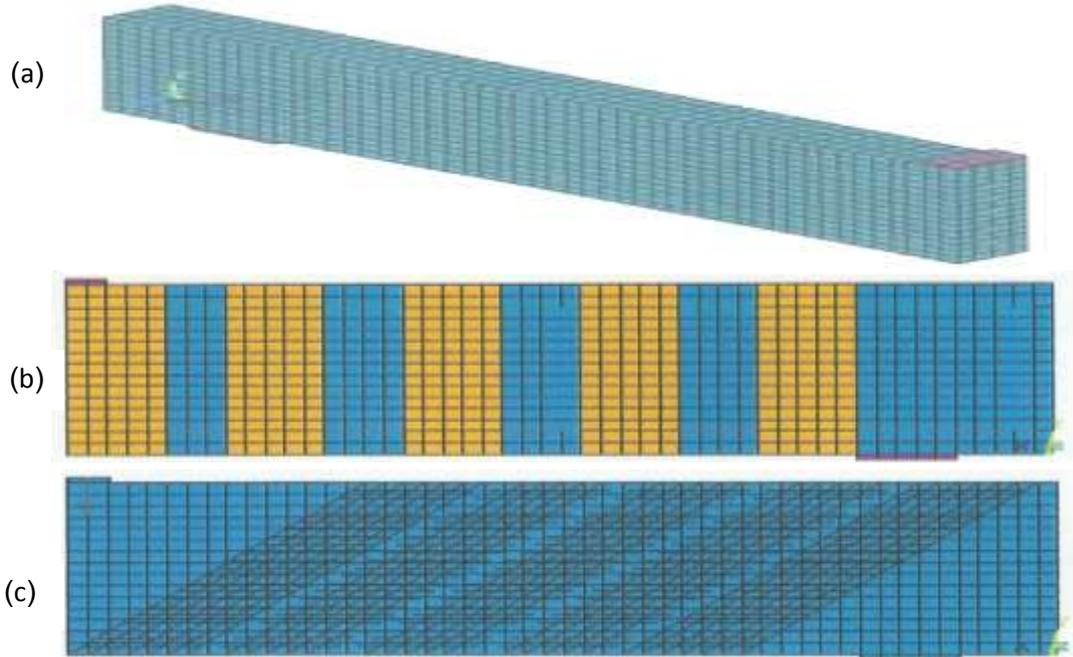


الشكل (4) منحنيات (حمولة-سهوم) لمجموعتي الجيزان (B-90) (B-R).



نمذجة الجيزان المختبرة:

نظراً لكون الجيزان متناظرة حول المحور الشاقولي طولياً وعرضياً قمنا بنمذجة ربع الجائز فقط مع تطبيق الشروط الطرفية المناسبة لمحاكاة السلوك الحقيقي للجائز [8] والشكل (6) يبين الجيزان التي تمت نمذجتها.



الشكل (6) الجيزان النمذجة: (a) الجيزان المعيارية، (b) الجيزان المدعمة (B-90)، (c) الجيزان المدعمة (B-90).

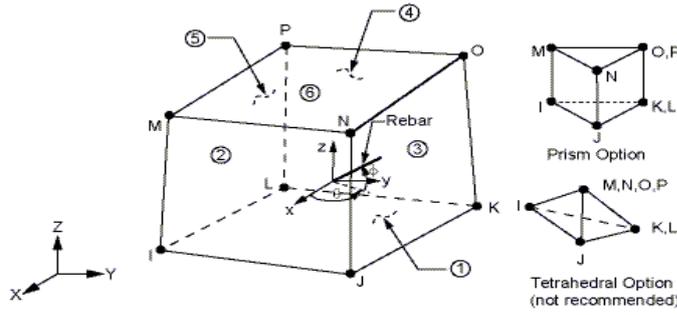
كما تم تطبيق الحملات بشكل متدرج من خلال تقسيم الحمولة لعدة حملات مرحلية (Load Steps) ويقوم البرنامج بتعديل مصفوفة صلابة الموديل بعد كل خطوة تحميل لتعكس التغييرات اللاخطية على الصلابة الإنشائية للعنصر ثم الانتقال إلى خطوة الحمولة التالية مستخدماً طريقة نيوتن رافسون التكرارية [3].

قمنا بنمذجة البيتون بترابط تام بينه وبين فولاذ التسليح وشرائح التدعيم وذلك لعدم حصول انفصال حديد التسليح أو شرائح التدعيم عن البيتون عند تجريب الجيزان مخبرياً [9].

تمت نمذجة الجيزان المختبرة باستخدام برنامج ANSYS وذلك من خلال نمذجة السلوك الخطي واللاخطي لكل من البيتون وفولاذ التسليح الطولي والعرضي، شرائح التدعيم (GFRP)، صفيحتي الاستناد والتحميل كما هو مبين في الفقرات التالية:

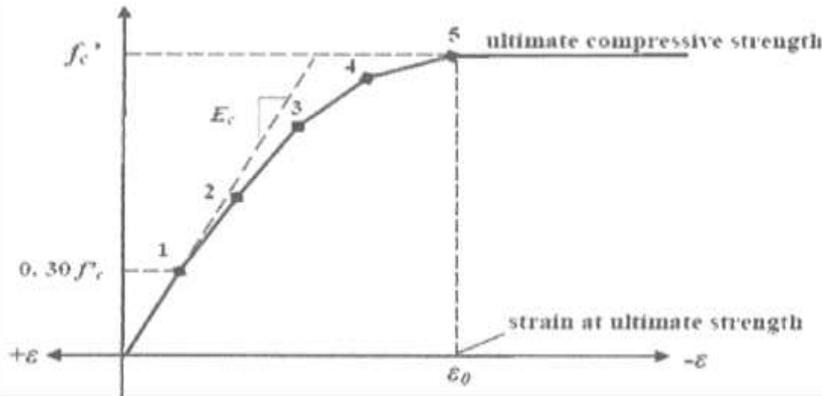
1- نمذجة سلوك البيتون:

قمنا بنمذجة البيتون باستخدام العنصر المنته (Solid65) وهو عنصر حجمي لاخطي يتألف من ثمان عقد تملك كل منها ثلاث درجات حرية هي الانتقالات باتجاه المحاور الثلاثة ويتمتع بقابلية التشقق اللزج (Smeared Crack) بالاتجاهات الثلاثة، وإمكانية التحطم (Crushing)، كما يمكن نمذجة التسليح ضمنه بالاتجاهات الثلاثة، والشكل (7) يبين هذا العنصر.



الشكل (7) العنصر المنته Solid65 كما هو معرف في برنامج النمذجة ANSYS.[3]

كما قمنا بمحاكاة سلوك البيتون وفق منحنى (إجهاد- تشوه) المبين في الشكل(8) والمعرف ضمن برنامج ANSYS10 كمادة لدنة غير مرنة ذات سلوك لاخطي (Nonlinear InelasticNon-metalPlasticity) حيث يتألف هذا المنحني من ست نقاط تبدأ من النقطة (0) ذات الإجهاد صفر والتشوه صفر، والنقطة (1) عند الإجهاد $0.3f_c$ حيث تحسب في المجال المرن من العلاقة $\varepsilon = \frac{F}{E_c}$ ε : التشوه عند الاجهاد F ، E_c : عامل المرونة الطولاني للبيتون)، والنقاط (2,3,4) تحسب من العلاقة $F = \frac{\varepsilon c + \varepsilon}{1 + (\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0})^2}$ ، $F = \frac{2f_c}{E_c}$ ، والنقطة (5) هي عند التشوه ε_0 والاجهاد f_c ، ويبين الجدول (3) النقاط المذكورة أعلاه وقيمها.



الشكل (8) سلوك البيتون وفق منحنى (إجهاد - تشوه) المبين في الشكل(5) والمعرف ضمن برنامج ANSYS.[3]

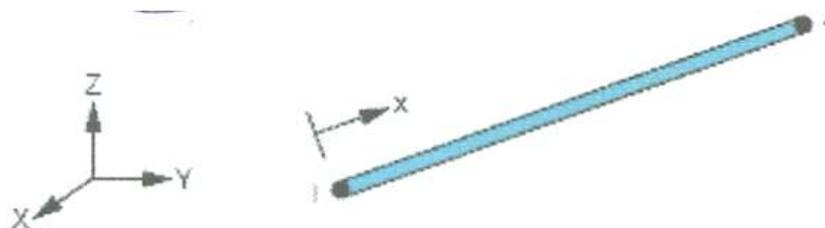
الجدول(3).نقاط منحنى (إجهاد-تشوه) البيتون المنمذج ضمن برنامج ANSYS

النقطة	الإجهاد. Mpa.	التشوه النسبي
1	6.75	0.0003
2	12.36	0.0006
3	17.96	0.001
4	21.56	0.0015
5	22.5	0.002

ومن الجدير بالذكر القول أننا قمنا بتعطيل إمكانية تحطم البيتون ضمن نمذجة العناصر المنته المعتمد منعاً لظهور مشاكل عدم تقارب الحل اللاخطي وهذا يتوافق مع العديد من الأبحاث العالمية[4].

2- نمذجة سلوك فولاذ التسليح:

تمت نمذجة فولاذ التسليح الطولي والعرضي كمادة (مرنة - تامة اللدونة) عامل مرونتها الطولي $E_s=200,000\text{Mpa}$ والعرضي $E_y=525\text{Mpa}$ و $\nu=0.3$ وإجهاد الخضوع للتسليح الطولي $f_y=325\text{Mpa}$ وذلك باستخدام العنصر الطولي Link8 من مكتبة عناصر برنامج ANSYS حيث يتألف العنصر من عقدتين (1,2) تتمتع كل عقدة بثلاث درجات حرية هي الانتقالات بالاتجاهات الثلاثة والشكل (9) يبين هذا العنصر.



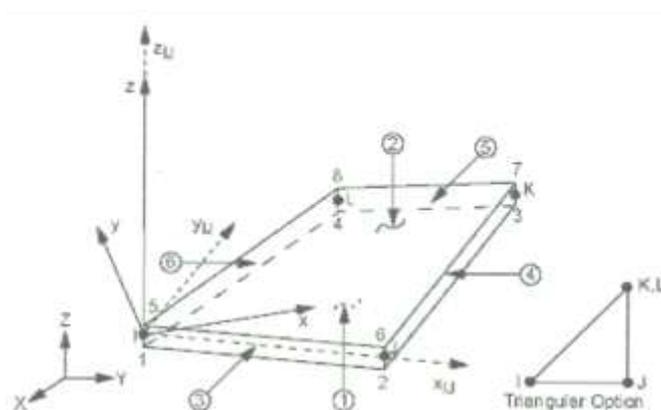
الشكل (9) العنصر المنته Link8 كما هو معرف في برنامج النمذجة ANSYS [3].

3- نمذجة شرائح التدعيم GFRP:

تمت نمذجة شرائح التدعيم كعناصر سطحية باستخدام العنصر السطحي Shell43 من مكتبة عناصر برنامج ANSYS ويتألف من أربع عقد تملك كل عقدة ست درجات حرية وهي الانتقالات والدورانات بالاتجاهات الثلاثة كما هو مبين في الشكل (10) ويبين الجدول (4) خصائص شرائح GFRP كما أدخلت ضمن معطيات برنامج النمذجة.

الجدول (4). خصائص شرائح GFRP كما أدخلت ضمن معطيات برنامج النمذجة.

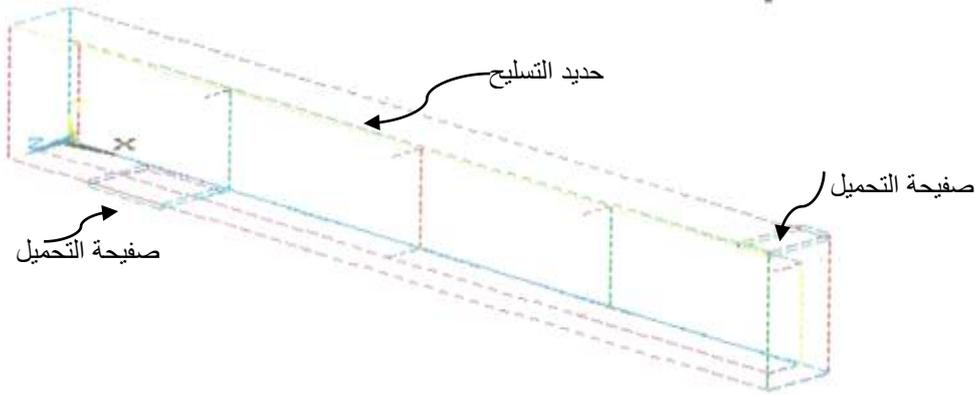
عامل المرونة Mpa	نسبة بواسون	معامل القص Mpa	سماكة الشريحة mm
$E_x=30000$	$V_{xy}=0.26$	$G_{xy}=11900$	4
$E_y=30000$	$V_{yz}=0.26$	$G_{yz}=11900$	
$E_z=10000$	$V_{xz}=0.26$	$G_{xz}=11900$	



الشكل (10) العنصر المنته Shell43 كما هو معرف في برنامج النمذجة ANSYS [3].

4- نمذجة صفائح التحميل والاستناد:

تمت نمذجة صفائح التحميل والاستناد كعناصر حجمية كما هو مبين في الشكل (11) حيث استخدمنا العنصر الحجمي Solid45 الذي يتألف من ثمان عقد تتمتع كل عقدة بثلاث درجات حرية هي الانتقالات بالاتجاهات الثلاثة [3].



الشكل (11) نمذجة ربع الجائز حيث تظهر صفائح التحميل والاستناد.

النتائج والمناقشة:

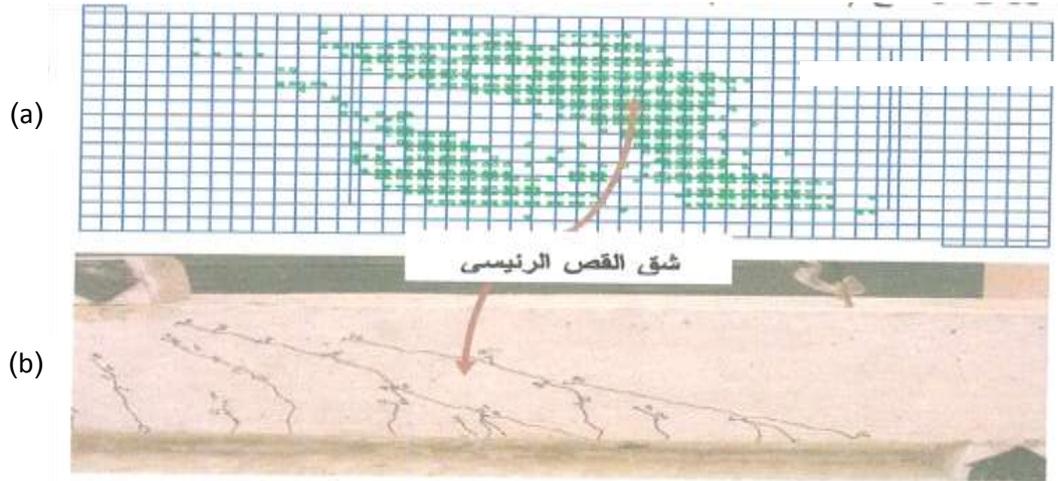
أعطى تحليل موديل العناصر المنتهية المقترح باستخدام برنامج ANSYS حمولة انهيار للجيزان المعيارية قيمتها (126.4KN) وهي أكبر بـ (4%) من حمولة الانهيار التجريبية لهذه الجيزان والبالغة (124.5KN) في حين كانت حمولة انهيار الجيزان المدعمة تحليلياً (166.84KN) وهي أصغر بـ (1.86%) من حمولة الانهيار التجريبية والبالغة (170KN)، أما حمولة الانهيار التحليلية للجيزان المدعمة بشرائح مائلة بزوايا 45° بلغت (180KN) وهي أقل من التجريبية بـ (1.16%) البالغة (185.67KN) ويمكن تفسير هذه الفروقات الطفيفة كما يلي:

- استخدام منحنى (إجهاد- تشوه) مبسط لفلواذ التسليح غير متطابق تماماً مع سلوكه الفعلي مما أعطى قيمة تحمل أقل من التجريبية.

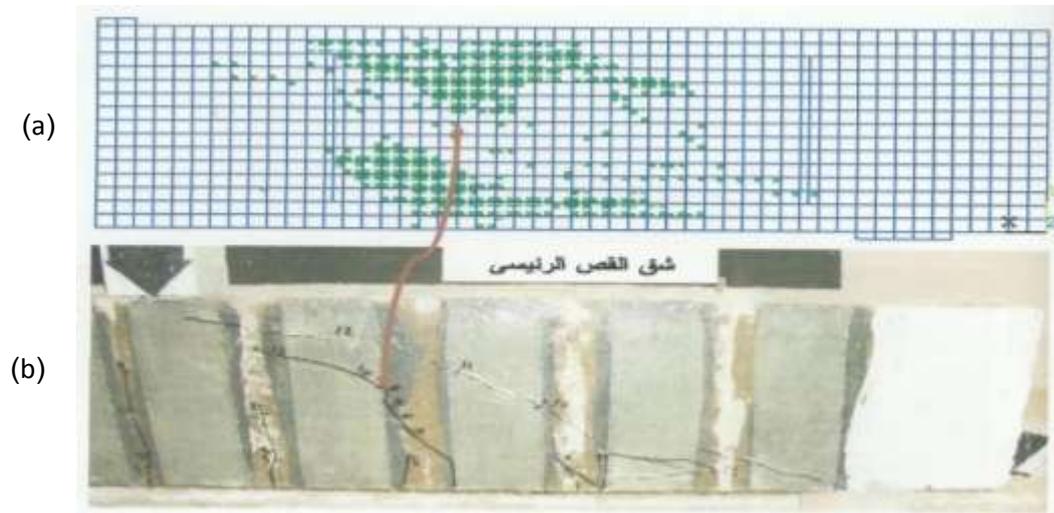
- يختلف الميكانيزم الفعلي لتشقق البيتون عن ما هو وفق برنامج التحليل حيث لا يأخذ بعين الاعتبار احتكاك سطوح الشق أو تشابك الحصىيات في الشق.

كما أن شكل التشقق عند حمولة انهيار هذه الجيزان تحليلياً توافقت مع آلية انهيارها تجريبياً بتشقق شق القص القطري تجريبياً وظهور تشققات كثيفة في منطقة هذا الشق عند تباعد الحل اللاخطي وفق النموذج المقترح في برنامج التحليل كما هو مبين في الأشكال (12-13-14).

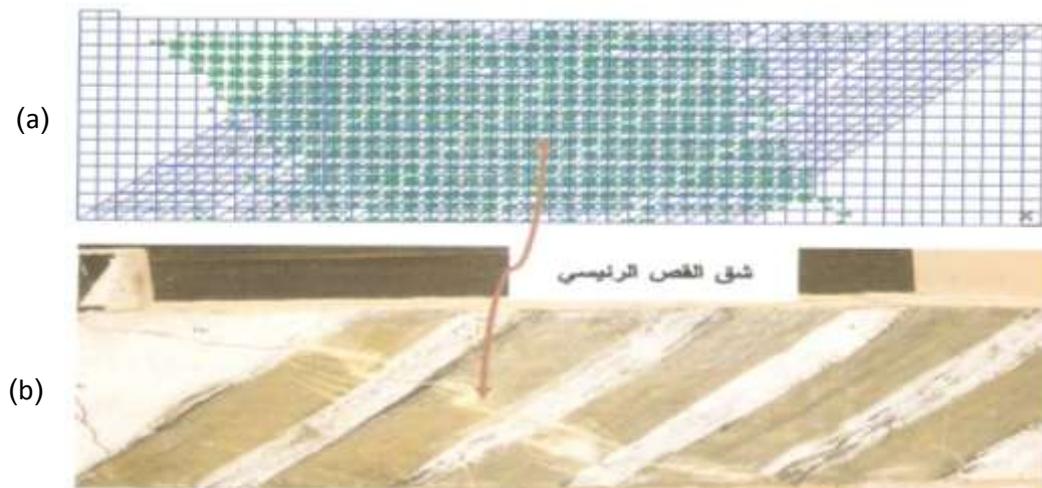
في حين أعطى النموذج المقترح قيماً لسهم وسط المجاز عند حمولة الانهيار (4.25mm) للجائز المعيارية و (5.9mm) للجائز المدعم بشرائح شاقولية و (7.4mm) للجائز المدعم بشرائح مائلة بزوايا 45°، وهي أقل من القيم التجريبية التي بلغت (4.67mm) للجيزان المعيارية و (6.53mm) للجيزان المدعمة بشرائح شاقولية و (8.15mm) للجيزان المدعمة بشرائح مائلة بزوايا 45°، ويمكن إيعاز هذه الفروقات والتي تقل نسبتها عن (9%) لأكثر من سبب منها أن عطالة الجائز التجريبية أقل من المنمذج نظراً لوجود تشققات شعرية ناجمة عن تقلص البيتون.



الشكل (12) آلية انهيار الجانز المعياري a- وفق النموذج المقترح b- تجريبياً.



الشكل (13) آلية انهيار الجانز المدعم بشرائح شاقولية: a- وفق النموذج المقترح b- تجريبياً.



الشكل (14) آلية انهيار الجانز المدعم بشرائح مائلة: a- وفق النموذج المقترح b- تجريبياً.

الاستنتاجات والتوصيات:

- استناداً إلى التجارب التي قمنا بها وإلى نتائج موديل العناصر المنتهية المقترح نستخلص مايلي:
1. أعطى الموديل المقترح وفق برنامج ANSYS قيمةً لحمولة الانهيار أقل من التجريبية بحوالي 4% للجيزان المعيارية و 2% للجيزان المدعمة.
 2. توافقت آلية انهيار الجيزان وفق الموديل المقترح مع انهيارها تجريبياً بتشكيل شق قص الانهيار بنفس الموضع تجريبياً وتحليلياً.
 3. أعطى الموديل المقترح وفق برنامج ANSYS قيمةً للسهم وسط المجاز والموافق لحمولة الانهيار أقل من النتائج التجريبية بحوالي 9% للجيزان المعيارية والمدعمة.
- وعليه نوصي باعتماد موديل العناصر المنتهية المقترح في نمذجة الجيزان البيتونية المسلحة المدعمة بشرائح جانبية من GFRP ، والعمل على توسيعه من خلال نمذجة سلوك عناصر مختلفة ومدعمة بطرق مختلفة والتأكد من صحة محاكاة النموذج للنتائج التجريبية لهذه العناصر .

المراجع :

- [1] ACI 440, American Concrete Institute, "State of the Art Report of fiber reinforced plastics (FRP) reinforcement for concrete structures", American Concrete Institute, Farmington, Michigan, 2002.
- [2] ACI 546, American Concrete Institute, "Concrete Repair Guide", American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2001.
- [3] ANSYS, "ANSYS Users Manual Revision 10", ANSYS Inc., Canonsburg, Pennsylvania, 2005.
- [4] Anthony J Wolanski B.S., "Flexural Behavior of Reinforced and Prestressed Concrete Beams Using Finite Element Analysis", Master Thesis, Marquette University, Milwaukee Wisconsin, May 2004
- [5] DamainKachlakev, Thomas miller, Solomon Yim, "Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures Strengthened with FRP Laminates", Final Report, Spr316, Oregon Department of Transportation and federal Highway Administration, May 2001.
- [6] I.Elysian, N.Abdoli, H.R.Ronaph, "Evaluation of parameters Effective in FRP Shear Strengthened of RC Beams Using FE Method", Asian Journal of Civil Engineering, vo.17, N3,2006, pages 249-257.
- [7] K.Maekawa,A.Pimanmas and H.Okamura, "Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete"Spon Press Taylor&Francis Group London and Newyork, 2003.
- [8] N.khomwan and S.J.Foster, "Finite Element Modeling of FRP Strengthened Beams and Walls" UNICIV Report No.R-432, The University of New South Wale, Sydney, Australia, 2004
- [9] ZheQu, Xin Zhang Lu, Lie ping Ye,JianFei Chen, John Michael Rotter, "Numerical Modeling of FRP Shear Strengthened RC Beams Using Compression Field Theory', Proc. Third international Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2006), Floreda, USA, pp:391-394.