Determination of Stress Shear on Interface of Reinforced Concrete Jacketed Beam

Dr. Bassam HWAIJA[*]
Dr. Qusai NADDAF [**]
Mirna SBHI[***]

(Received 24 / 11 / 2019. Accepted 16 / 2 / 2020)

□ ABSTRACT □

Strengthening and retrofitting of existing beams have been widely discussed topics for the last decade. A great number of existing beams need rehabilitation or strengthening because of improper design or construction, change of the design loads, damage caused by environmental or human factors, seismic events, etc. A popular technique for increasing the capacity of reinforced concrete beams involves the casting of a new layer, reinforced or not, on the tensile or the compressive side of the beam. Shear stress is introduced at the interface between the old and the new concrete, and it affects the behavior of the composite element. In this paper, an analytical procedure is conducted on reinforced concrete jacketed beams using ANSYS software, to determination the effect of vertical shear stress, percentage of reinforcement that cross the interface and the growth of cracks on the interfacial shear stress. This study presents that the interfacial shear stress equal to vertical shear stress at the same section at the supports. In the middle of span, the interfacial shear stress decreases after 25% of the applied load and then absents. The interfacial shear stress increases with increasing the percentage of reinforcement that cross the interface. This stress decreases with the growth of cracks until absents when cracks up to interface.

Keywords: Beams, strengthening, shear stress.

[*] **Professor, Department Of Structural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.**
[**] **Assistant Professor, Department Of Structural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.**
[***] **Master Degree Student, Department Of Structural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.**

تحديد الإجهادات القاصة على السطوح البينية لجائز بيتوني مسلح مدعم بقميص بيتوني جزئي

د. بسام حويجة*

د. قصي نداف**

ميرنا صبحي***

(تاريخ الإيداع 24 / 11 / 2019. قُبِل للنشر في 16/ 2 / 2020)

□ ملخّص □

إن عمليات التقوية والتدعيم للجوائز القائمة من أكثر المواضيع التي تمت مناقشتها بشكل واسع في العقد الأخير، حيث يوجد الكثير من الجوائز بحاجة إلى التقوية أو إعادة التأهيل بسبب التصميم أو التنفيذ الخاطئ، أو بسبب تغير الحمولات التصميمية أو أي ضرر يمكن أن ينتج من العوامل البيئية أو البشرية أو بسبب الأفعال الزلزالية وغيرها. من أكثر الطرق استخداماً لزيادة قدرة تحمل الجوائز البيتونية المسلحة هي بإضافة طبقة بيتونية سواء كانت مسلحة أو غير مسلحة في الجانب المشدود أو المضغوط للجائز البيتوني. تنتج إجهادات قاصة عند السطح البيني بين البيتون القديم والبيتون الجديد تؤثر على سلوك المقطع المركب. تم في هذا البحث إجراء دراسة تحليلية باستخدام برنامج ANSYS على جوائز بيتونية مسلحة مدعمة بقمصان بيتونية لتحديد تأثير كل من الإجهادات القاصة الشاقولية ونسبة التسليح العرضي الذي يعبر السطح البيني وتطور التشققات على الإجهادات القاصة البينية.

أظهرت هذه الدراسة أن الإجهادات القاصة البينية تساوي الإجهادات القاصة الشاقولية عند نفس المقطع وذلك عند المساند، أما في وسط المجاز تنخفض الإجهادات القاصة البينية بعد الوصول ل 25% من الحمولة المطبقة حتى تنعدم. بزيادة نسبة التسليح الذي يجتاز السطح البيني تزداد الإجهادات القاصة البينية، ومع تطور التشققات تقل الإجهادات القاصة البينية حتى تنعدم عندما تصل التشققات للسطح البيني.

الكلمات المفتاحية : جوائز– تقوية– الإجهادات القاصة

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

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

*** **طالب دراسات عليا (ماجستير) – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

مقدمة:

إن طريقة التدعيم بالقمصان البيتونية المسلحة هي من الطرق التقليدية في التدعيم ولكنها ما زالت من أفضل الحلول، وذلك لفعاليتها ومقاومتها للصدأ والحريق وغيرها من العوامل المحيطة، ولكن الإجهادات القاصة المتشكلة عند السطوح البينية لهذه العناصر مازالت قضية معقدة بسبب كثرة العوامل المؤثرة فيها، فكان لابد من دراستها وتحديدها بدقة لتأمين العمل المشترك بين الجائز والقميص للحصول على أفضل النتائج من عملية التدعيم.

تعتبر آلية انتقال الإجهادات القاصة بين طبقتين من البيتون مسألة معقدة جداً حيث تتضمن مجموعة من التفاعلات والتي تعتمد على عدة بارامترات تؤثر على عملية النقل، مثل كمية التسليح الذي يعبر السطح البيني، وإجهاد الضغط للبيتون الأضعف وخشونة السطوح البينية بالإضافة إلى وجود التشققات (Casal, 1960).

نفذت العديد من الدراسات التجريبية والتحليلية لدراسة الإجهادات القاصة بين سطحين متصلين والعوامل المؤثرة فيها، حيث أصبحت حقلاً هاماً للبحث.

قام الباحثون (Sajed et al, 2010) بدراسة تحليلية لجوائز بيتونية تم إصلاحها باستخدام طبقة بيتونية في منطقة الشد، وذلك لمعرفة تأثير عامل مرونة وسماكة الطبقة البيتونية المضافة على توزع وسلوك الإجهادات في هذه الجوائز، من خلال محاكاة هذه الجوائز باستخدام برنامج العناصر المنتهية ANSYS، ووجدوا أنه بزيادة عامل المرونة للبيتون المضاف بالنسبة لعامل مرونة البيتون الأصلي ($E_{repair} \ / \ E_{substrate}$) سوف تزيد من الإجهادات المتركزة في البيتون المضاف وعند السطوح البينية وبالتالي تزداد إمكانية تشقق وانفصال البيتون المضاف، وبزيادة سماكة طبقة البيتون المضاف في منطقة الشد، سوف تزداد الإجهادات الرئيسية بالبيتون المضاف ولكن ستنقص الإجهادات عند السطوح البينية.

قام الباحثان (Vassilis and Georgia, 2015) بدراسة تأثير عدة بارامترات على سلوك السطح البيني بين كتلتي بيتون، وذلك بإعداد نموذج ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج العناصر المنتهية ATENA، وتوصلوا إلى أنه بزيادة عدد القضبان التي تجتاز السطح البيني تزداد مقاومة القص عنده، و بزيادة خشونة السطح البيني تقل قيم الانزلاق عند القص الأعظمي. قام الباحث (Tsioulou,2011) بدراسة تحليلية لجائز بيتوني مسلح مدعم بقميص بيتوني باستخدام برنامج العناصر المنتهية ATENA، وذلك للتنبؤ بتوزع الإجهادات القاصة عند السطح البيني بين بيتون الجائز الأصلي والبيتون المضاف، حيث وجد أن توزع الإجهادات القاصة عند السطح البيني لجائز بيتوني مسلح مدعم بقميص بيتوني وذو استناد بسيط محمل بحمولة مركزة وسط المجاز يكون غالباً بشكل قطع مكافئ قيمه العظمى عند المساند والصغرى عند منتصف المجاز.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى:

- دراسة تأثير إجهاد القص الشاقولي على الإجهادات القاصة المتولدة عند السطح البيني على كامل طول الجائز.
- دراسة تأثير نسبة التسليح العابر ضمن السطح البيني على الإجهادات القاصة المتولدة عنده.
- دراسة تأثير الشقوق التي تتشكل في البيتون على الإجهادات القاصة عند السطح البيني.

وتكمن أهمية البحث بالنقاط التالية:

- دراسة تأثير عدة بارامترات على الإجهادات القاصة عند السطوح البينية وبالتالي إمكانية السيطرة على هذه الإجهادات وهذا يقود إلى تأمين العمل المشترك بين بيتون الجائز وبيتون القميص للحصول على أفضل النتائج لعملية التقوية.
- اعتماد المنهج التحليلي للحصول على نتائج أكثر دقة.

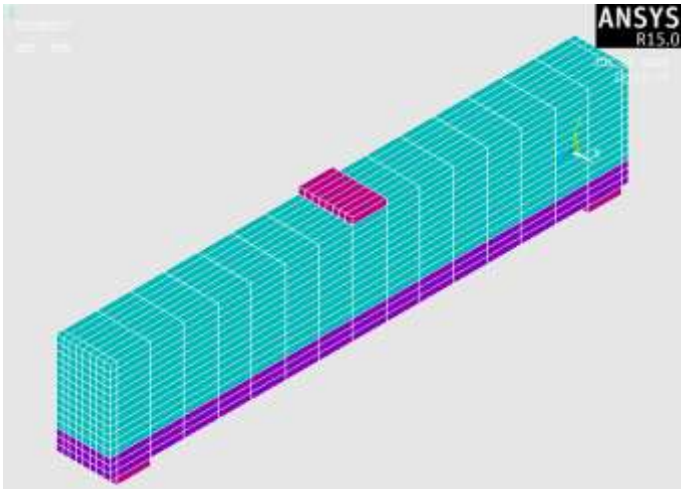
طرائق البحث ومواده:

يعتمد هذا البحث المنهج التحليلي، حيث سيتم إنشاء نموذج عددي للجوائز البيتونية المسلحة المدعمة بقمصان بيتونية باستخدام برنامج العناصر المنتهية ANSYS، بعد التحقق من صحة النموذج من خلال معايرته بدراسات تجريبية. ستحلل هذه الجوائز تحليل ستاتيكي لا خطي وسيتم تحديد توزع وشدة الإجهادات القاصة البينية ودراسة تأثير كل من الإجهادات القاصة الشاقولية ونسبة التسليح العرضي الذي يعبر السطح البيني وتطور التشققات على هذه الإجهادات البينية.

1- الدراسة التحليلية (numerical study):

1-1- إعداد النموذج العددي (finite element model):

تم استخدام برنامج العناصر المنتهية ANSYS في محاكاة الجائز البيتوني المسلح المدعم بقميص بيتوني في منطقة الشد، الموضح بالشكل (1).

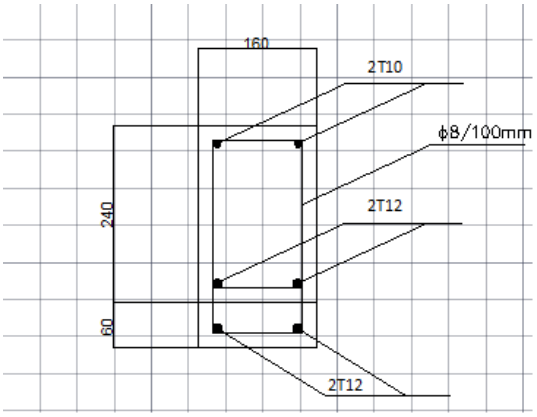


الشكل (1): نموذج الجائز البيتوني المسلح المدعم بقميص بيتوني باستخدام ANSYS

حيث كان للجائز مقطع عرضي بأبعاد (b*h = 160 * 240)mm ومجاز بطول L = 1540mm ، مسلح بتسليح طولي 2T12 وتسليح تعليق 2T10 وتسليح عرضي φ8/100mm، مدعم بقميص بيتوني بسماكة 60mm مسلح بتسليح طولي 2T12 تتغير فيه أشاير القص التي تربط الجائز بالقميص وفق الجدول (1)، يوضح الشكل (2) المقطع العرضي للجوائز البيتونية المسلحة المدعمة بقمصان بيتونية مع أبعاد المقطع العرضي وتفصيلات التسليح.

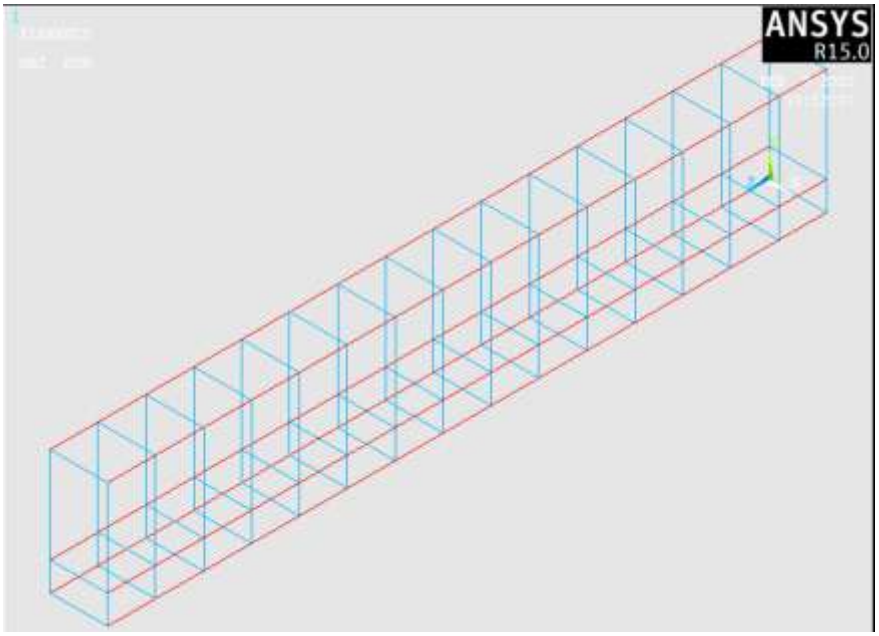
الجدول (1) : أشاير القميص البيتوني

الأشاير المستخدمة	اسم الجائز	الأشاير المستخدمة	اسم الجائز
Φ8/100mm	B1-1	Φ6/100mm	B0-1
Φ8/200mm	B1-3	Φ6/200mm	B0-3



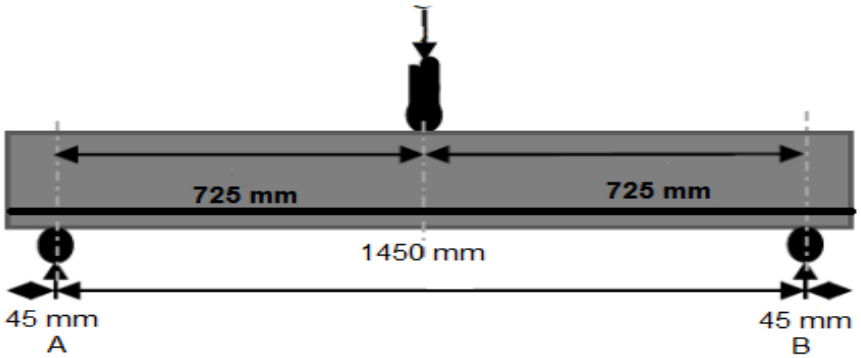
الشكل (2): أبعاد المقطع العرضي للجوائز المدروسة والتسليح المستخدم بها

تم تركيب أشاير القص بحيث تكون جميع هذه الأشاير ملحومة على أساور الجائز، كما هو موضح بالشكل (3) الذي يبين توضع أشاير القص في النموذج العددي على برنامج ANSYS.



الشكل (3): توضع أشاير القص ضمن النموذج العددي

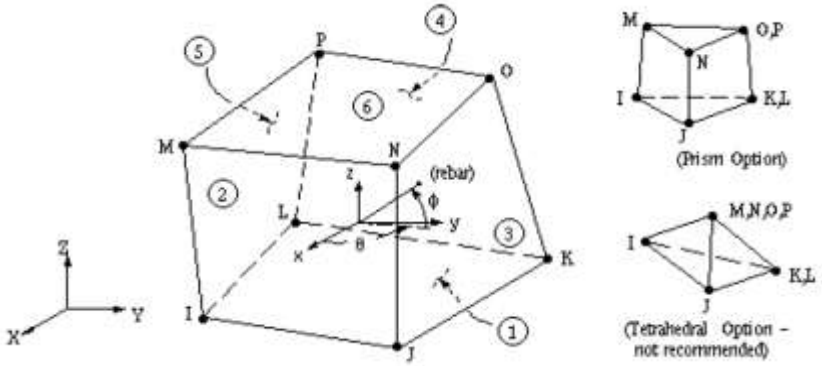
جميع الجوائز المدروسة ذات استناد بسيط ومحملة بحمولة مركزة وسط المجاز كما في الشكل (4).



الشكل (4) : الجائز البيتوني المسلح المدعم بقميص بيتوني المدروس

1-2- نمذجة البيتون (concrete modeling):

يستخدم Solid 65 الشكل (5) للنمذجة ثلاثية الأبعاد مع أو بدون قضبان فولاذ، يمتلك هذا العنصر قابلية التشقق على الشد والتحطم بالضغط، وهو معرف ب 8 عقد كل واحدة لها 3 درجات حرية انتقال x,y,z (ANSYS Manual , 2004).

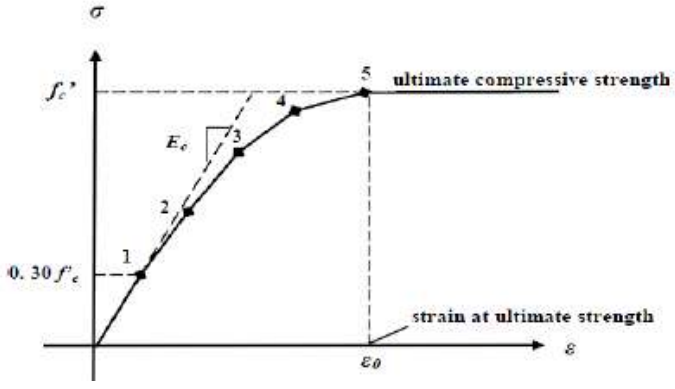


الشكل (5) : Solid 65 (ANSYS Manual , 2004)

يوجد العديد من النماذج الرياضية لتمثيل مخطط الإجهاد – التشوه للبيتون، ولكن أغلب الباحثين استخدموا النموذج الرياضي Hognestad في دراستهم لتقريب سلوك الإجهاد – التشوه للبيتون باستخدام المعادلتين (1) و (2) (Hind et al , 2016) وهو ما تم استخدامه في هذه الدراسة ، الشكل (6).

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

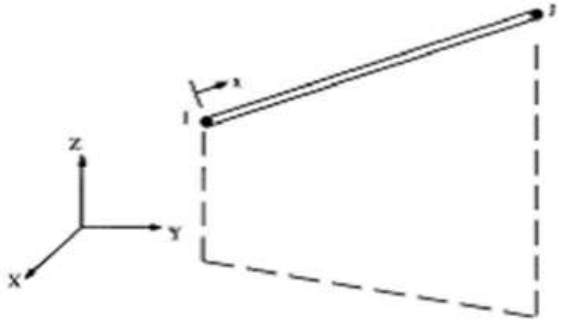
$$\varepsilon_0 = \frac{2f_c'}{E_c} \qquad (2)$$



الشكل (6): منحني إجهاد – تشوه للبيتون المعتمد في ANSYS (Hind et al , 2016)

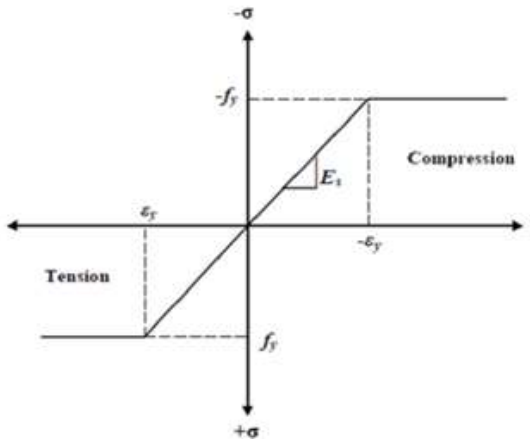
1-3- نمذجة فولاذ التسليح (steel reinforcing modeling):

استخدم Link 180 الشكل (7) لنمذجة فولاذ التسليح ، وهذا العنصر هو عنصر أحادي المحور يعمل على الشد والضغط ، له ثلاث درجات حرية عند كل عقدة، وهي الانتقالات باتجاه x,y,z ، ويمتلك القدرة على تحمل التشوهات الكبيرة، واللدونة والزحف والسهوم الكبيرة (ANSYS Manual , 2004).



الشكل (7) : Link 180 (ANSYS Manual , 2004)

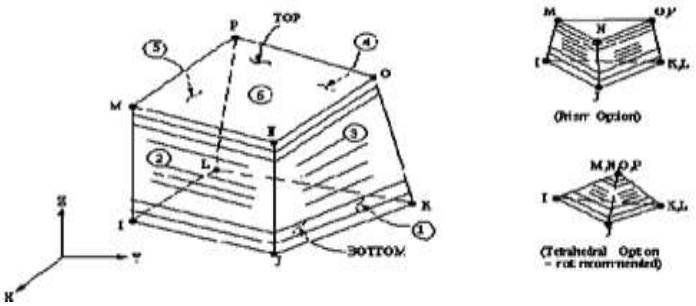
تم اعتبار علاقة إجهاد – تشوه للفولاذ كعلاقة ثنائية الخطية في حالتي الشد والضغط كما هو موضح بالشكل (8).



الشكل (8): علاقة إجهاد تشوه للفولاذ في ANSYS (Hind et al , 2016)

1-4- نمذجة صفائح التحميل (steel plate modeling):

تمت نمذجة صفائح التحميل والاستناد باستخدام العنصر Solid 185 كحجم متجانس صلب , ANSYS Manual) (2004، كما بالشكل (9).



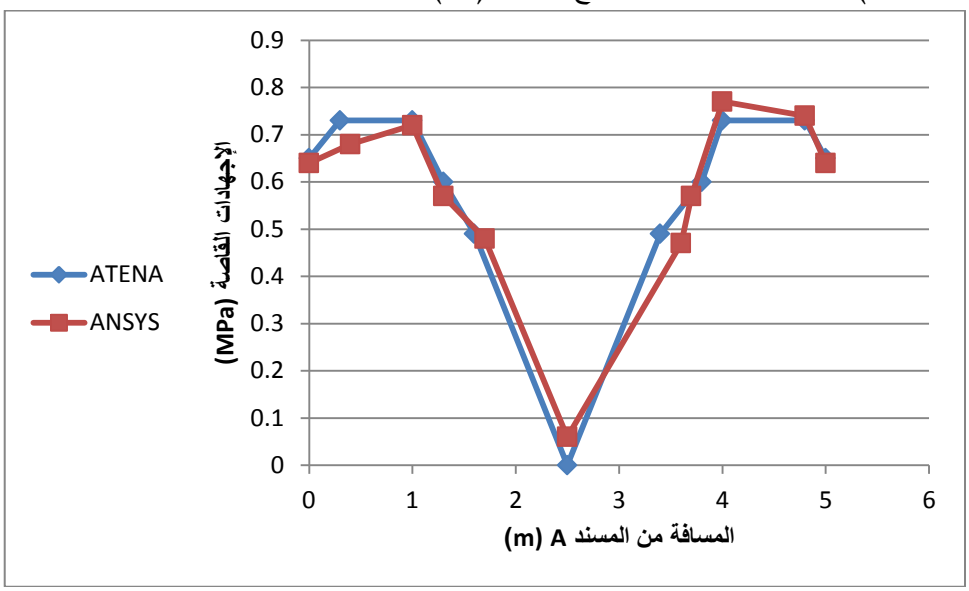
الشكل (9) : (ANSYS Manual , 2004)

1-5- سلوك الاتصال (contact behavior):

تم اعتبار الترابط تام عند السطح البيني بين بيتون الجائز وبيتون القميص، من خلال تقابل عقد الجائز مع عقد القميص لتحقيق الاستمرارية ودمج العقد مع بعضها merge items.

1-6- التحقق من النمذجة (model verification):

بسبب غياب الدراسات التجريبية في مجال تحديد الإجهادات القاصة عند السطوح البينية للجوائز المدعمة، قمنا باعتماد الجائز البيتوني المسلح"AB" والمدعم بقميص بيتوني من الدراسة التحليلية التي أجراها الباحث (Tsioulou,2011) باستخدام برنامج العناصر المنتهية ATENA، وتمت مقارنة الإجهادات القاصة البينية التي توصل إليها الباحث مع الإجهادات القاصة البينية التي تم التوصل إليها باستخدام ANSYS وأعطت نتائج جيدة حيث كانت قيمة الإجهادات القاصة عند السطح البيني التي تم التوصل إليها 0.64MPa وهي أقل من القيمة التي توصل إليها الباحث (Tsioulou,2011) ب 8.5%، كما هو موضح بالشكل (10).

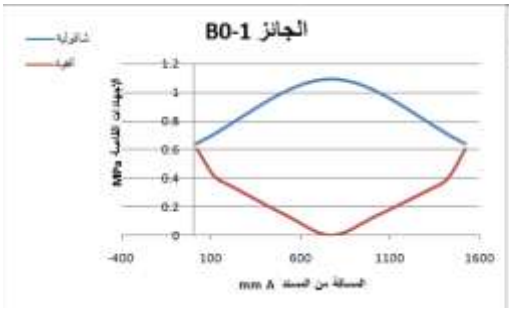


الشكل (10) : مقارنة توزع الإجهادات القاصة عند السطح البيني على طول مجاز الجائز

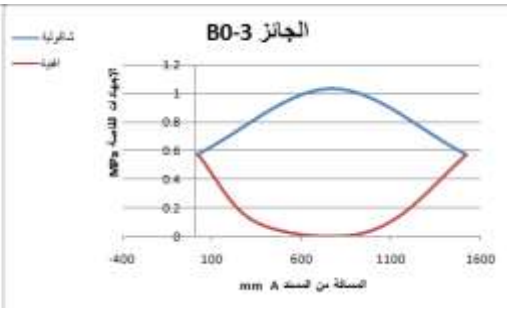
النتائج والمناقشة:

1- تأثير الإجهادات القاصة الشاقولية على الإجهادات القاصة البينية:

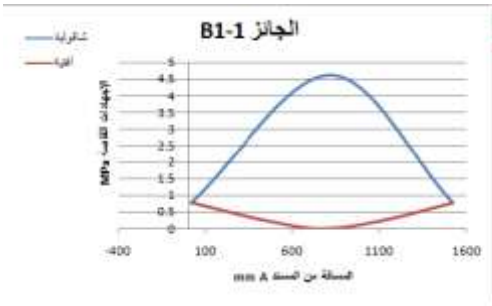
تمت مقارنة الإجهادات القاصة البينية والإجهادات القاصة الشاقولية على كامل مجاز الجائز كما في الأشكال (11) و (12) و (13) و (14).



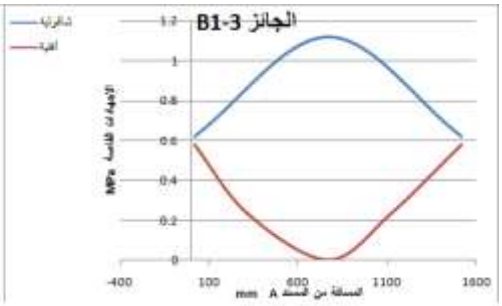
الشكل (11): توزع الإجهادات القاصة الأفقية والشاقولية على طول الجائز B0-1



الشكل (12): توزع الإجهادات القاصة الأفقية والشاقولية على طول الجائز B0-3

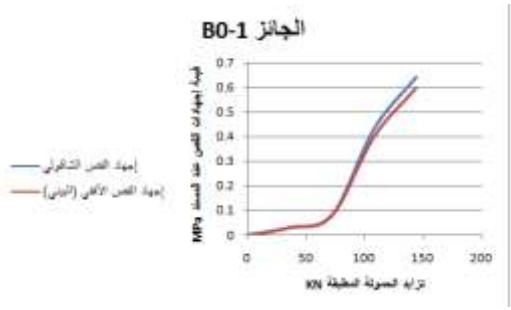


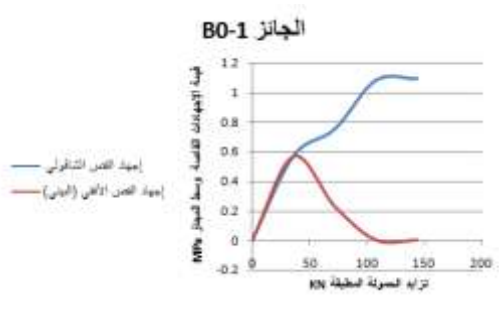
الشكل (13): توزع الإجهادات القاصة الأفقية والشاقولية على طول الجائز B1-1



الشكل (14): توزع الإجهادات القاصة الأفقية والشاقولية على طول الجائز B1-3

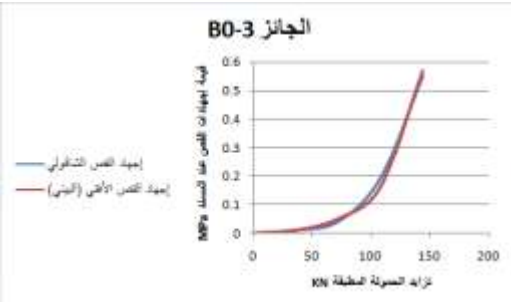
لوحظ من الأشكال أن الإجهادات القاصة الشاقولية لم تتساوى مع الإجهادات القاصة الأفقية (البينية) أي لم تحقق قانون ازدواجية القص، لذلك تم تحديد تغير الإجهادات القاصة الشاقولية والأفقية مع تزايد الحمولة وحتى انهيار الجوائز B1-3 , B1-1 , B0-3 , B0-1عند كل من المسند ووسط المجاز، كما هو موضح بالأشكال (15) ، (16)، (17) ، (18).

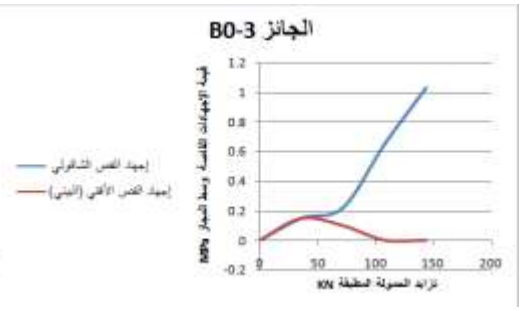




الشكل (15): تغير الإجهادات القاصة الأفقية والشاقولية مع تزايد الحمولة للجائز B0-1

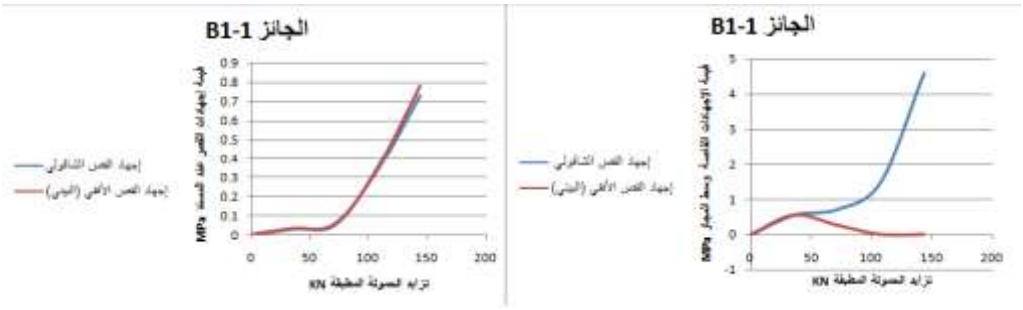
a- عند المسند b- وسط المجاز





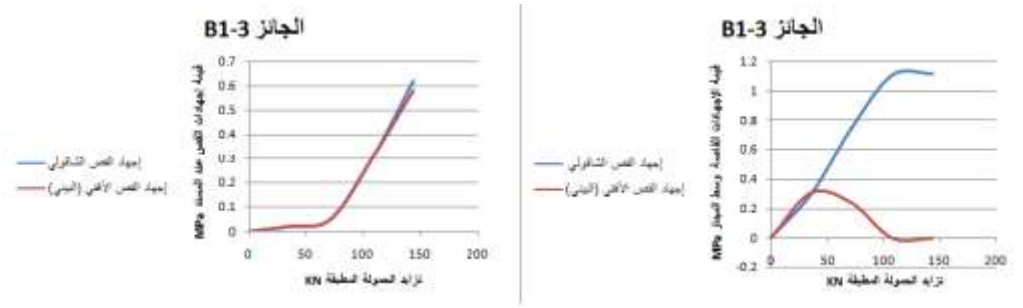
الشكل (16): تغير الإجهادات القاصة الأفقية والشاقولية مع تزايد الحمولة للجائز B0-3

a- عند المسند b- وسط المجاز



الشكل (17): تغير الإجهادات القاصة الأفقية والشاقولية مع تزايد الحمولة للجائز B1-1

a- عند المسند b- وسط المجاز



الشكل (18): تغير الإجهادات القاصة الأفقية والشاقولية مع تزايد الحمولة للجائز B1-3

a- عند المسند b- وسط المجاز

وبالتالي نجد من الأشكال (18) , (17) , (16) , (15) أن:

- الإجهادات القاصة الشاقولية تتطابق مع الإجهادات القاصة الأفقية (البينة) عند المسند وذلك من لحظة بدء التحميل وحتى انهيار الجوائز.
- وسط المجاز تتطابق الإجهادات القاصة الشاقولية مع الإجهادات القاصة الأفقية حتى 25% من الحمولة المطبقة، وبعدها تبدأ الإجهادات القاصة الأفقية بالانخفاض حتى تنعدم وذلك مع تزايد الإجهادات القاصة الشاقولية بتزايد الحمولة المطبقة حتى انهيار الجوائز.

2 – تأثير نسبة التسليح العرضي الذي يعبر السطح البيني على الإجهادات القاصة البينية:

تم تغيير نسبة التسليح العرضي الذي يعبر السطح البيني للجوائز المدروسة، لدراسة تأثيره على الإجهادات القاصة التي تتشكل عند هذا السطح البيني، يوضح الجدول (2) نسبة التسليح العرضي المستخدم و الإجهادات القاصة البينية الأعظمية الموافقة لتغير نسبة التسليح.

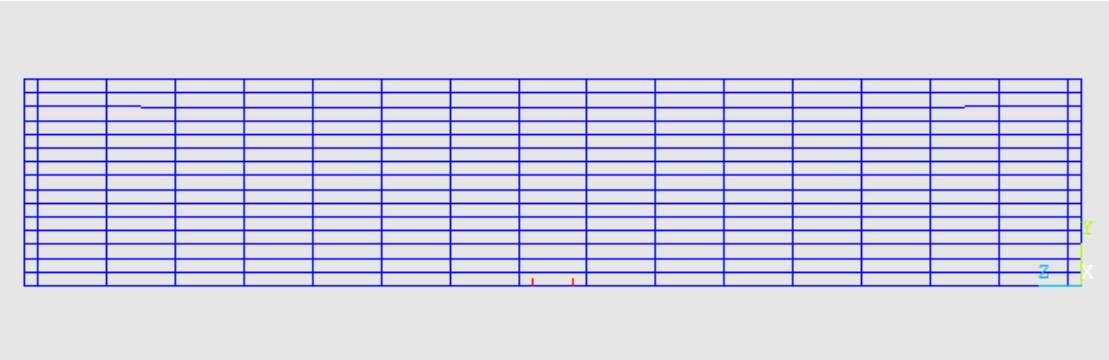
الجدول (2): قيم إجهادات القص البينية الأعظمية الموافقة لتغير نسبة التسليح العرضي

اسم الجائز	التسليح العرضي المستخدم	نسبة التسليح العرضي	إجهاد القص البيني الأعظمي MPa
B0-1	Φ6/10cm	0.0035	0.6
B0-3	Φ6/20cm	0.0018	0.57
B1-1	Φ8/10cm	0.0063	0.78
B1-3	Φ8/20cm	0.0031	0.58

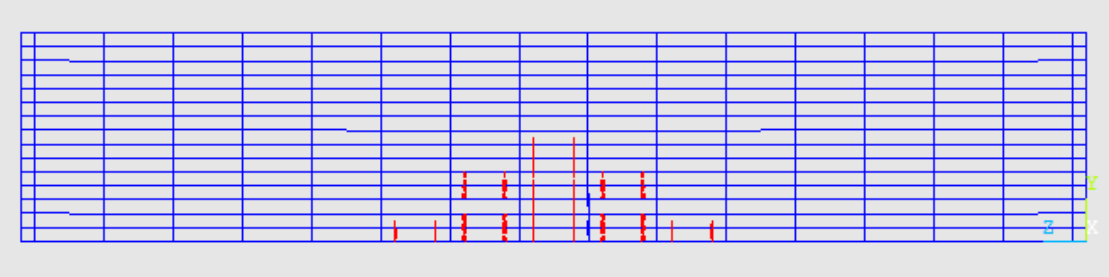
وبالتالي بزيادة نسبة التسليح العرضي الذي يعبر السطح البيني تزداد الإجهادات القاصة المتولدة عنده.

3- تأثير التشققات التي تحدث في البيتون على الإجهادات القاصة البينية:

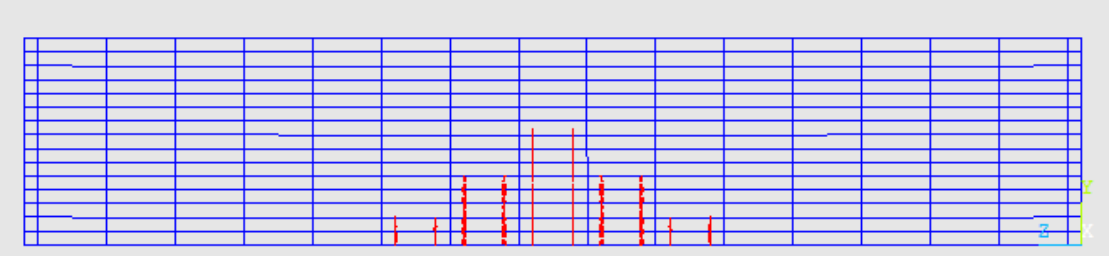
تمت دراسة تأثير التشققات التي تحدث في البيتون على الإجهادات القاصة المتشكلة عند السطوح البينية من خلال مراقبة تطور التشققات وتأثير ذلك على الإجهادات القاصة البينية عند كل جائز، حيث كان لجميع الجوائز المدروسة نفس الاستجابة من حيث تطور التشققات وتأثيرها على الإجهادات القاصة المتولدة عند السطوح البينية، فبدأ التشقق في جميع الجوائز عند %(18-19) من الحمولة المطبقة لكنه لم يؤثر في هذه المرحلة على شدة وتوزع الإجهادات القاصة البينية، أما بمرحلة التحميل بعد 25% من الحمولة المطبقة بدأت التشققات بالوصول للسطح البيني وهذا يتوافق مع انعدام الإجهادات القاصة عند السطح البيني بعد هذه النسبة، كما هو مبين بالأشكال (19) و (20) و (21) التي توضح تطور التشقق في الجائز B0-1.



الشكل (19): بداية التشقق بالجائز B0-1



الشكل (20): التشققات عند 25% من الحمولة المطبقة للجائز B0-1



الشكل (21): التشققات بعد 25% من الحمولة المطبقة للجائز B0-1

الاستنتاجات والتوصيات:

تم إجراء الدراسة التحليلية باستخدام برنامج ANSYS لتحديد تأثير الإجهادات القاصة الشاقولية ونسبة التسليح العرضي الذي يعبر السطح البيني وتطور التشققات التي تحصل في البيتون على الإجهادات القاصة البينية وتم التوصل للنتائج التالية:

- بزيادة نسبة التسليح العرضي المستخدم لربط القميص البيتوني مع الجائز، والذي يجتاز السطح البيني تزداد الإجهادات القاصة المتشكلة عند هذه السطوح.
- في وسط المجاز تكون الإجهادات القاصة المتشكلة عند السطح البيني بين الجائز والقميص مساوية للإجهادات القاصة الشاقولية عند نفس المقطع حتى 25% من الحمولة المطبقة، ولكن بعدها تنخفض الإجهادات القاصة الأفقية حتى تنعدم، وذلك مع ازدياد الإجهادات القاصة الشاقولية بزيادة الحمولة المطبقة حتى الانهيار.
- عند المساند تكون الإجهادات القاصة المتشكلة عند السطح البيني مساوية للإجهادات القاصة الشاقولية عند نفس المقطع وذلك من لحظة بداية التحميل حتى انهيار الجائز.
- مع زيادة التشققات تقل الإجهادات القاصة عند السطح البيني، حتى تنعدم عند وصولها للسطح البيني.

References:

1. "ANSYS Manual ", Version 9.0, U.S.A. 2004.
2. Casal, Bruno Baleia. "Connection Between Layers With Different Ages." Universidade Tecnica de Lisboa, Portugal (1960).
3. Hind, M. Kh, M. Ozakcab, and T. Ekmekyaparc. "A Review on Non linear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Beams Retrofitted with Fiber Reinforced Polymers." Journal of Advanced Research in Applied Mechanics 22.1 (2016): 13-48.
4. Sajed, Siavash, et al."Numerical investigation of the behavior of repaired reinforced concrete beams under monotonic loading." 2nd international conference on durability of concrete structures, HokkaÏdo University, Sapporo, Japan (2010).
5. Tsioulou, O. T., and Stephanos E. Dritsos. " A theoretical model to predict interface slip due to bending." Materials and structures 44.4 (2011).
6. Vassilis K. Papanikolaou and Georgia E. Thermou. "Concrete – to – concrete interfaces under cyclic loading – Finite element analysis towards experimental verification." Conference: COMPDYN – Computational Method in structural Dynamics and Earthquake Endineering, At Crete Island, Greece (2015).