دراسة سلوك روابط القص في المنشآت المختلطة باستخدام طريقة العناصر المحدودة

لجين المحمد *

(الإيداع: 14 تشرين الأول 2021، القبول: 11 كانون الثاني 2022)

الملخص:

تتألف الجوائز المركبة من بلاطة بيتونية مع مقطع فولاذي وتستخدم بشكل واسع لتشكيل العناصر الإنشائية في الجسور والأبنية العالية. ويقوم الفعل المركب على الترابط بين البلاطة البيتونية والمقطع الفولاذي من خلال استخدام روابط القص، وتستخدم روابط القص لتأمين الربط التام وتحسين الاتصال ومقاومة قوى القص الأفقية. حيث يتم تصميم العنصر المركب بحيث يتحقق وصول العنصر المركب إلى مقاومته الحدية قبل انهيار روابط القص نتيجة ضعف في الصلابة.

في هذه الدراسة تم إجراء تحليل ستاتيكي لاخطي لنموذج اختبار push–out باستخدام العناصر المحدودة لأربعة أشكال من روابط القص المستخدمة في الجوائز المركبة، ودراسة مطاوعة روابط القص وفقاً للكود الأوروبي EURO Code 4 ، وسلوك (الحمولة – الانزلاق) للعينات المدروسة مع اختلاف أشكال الروابط ضمن البلاطة البيتونية، و تقييم الرابط الأفضل بالاعتماد على سلوكه الذي يحافظ على العمل المشترك بين البيتون والفولاذ تحت تأثير الحمل الساكن، وتم التوصل إلى أن الروابط بشكل I والمجراة من الروابط المطاوعة وتظهر قدرة تحمل عالية بالمقارنة مع الروابط الصفيحة والوتد والتي تعتبر من الروابط غير المطاوعة .

كلمات مفتاحية : الجوائز البيتونية المختلطة ، روابط القص ، التحليل اللاخطي .

مدرس – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية –جامعة حماه

Study of the Behavior of Shear Connectors in Composite Structures Using FEM

المراجع

لا توجد مصادر في المستند الحالي.

*

(Received: 14 October 2021 , Accepted: 14 January 2022)

Abstract:

Composite structures consisting of concrete slab and rolled up steel sections are widely used structural members in bridges and high rise buildings. The composite action is established by connecting the concrete slab and the steel section by using shear connectors.

Shear Connectors are used to enhance proper connection and resist horizontal shear forces. A Composite member has to be designed in such a way that before composite structural element reaches ultimate capacity, shear connectors should not fail due to lack of ductility.

In this study, Finite Element Analysis had been carried out for four types of shear connectors for ductility criteria. Push-out test Specimen and Composite beam modeling with four different types of shear connectors was done by ANSYS and were analyzed. The Analytical results are presented and focused on the study of ductility behavior and load slip behavior of different types of connectors in composite beams according to EURO Code 4. The best connector for a particular composite beam has been evaluated based on its performance under static load keeping the loading. It was concluded that the I-type and channel-type are ductile connectors with larger shear ultimate capacity comparing with plate and stud types that were not ductile connectors.

Key words: Composite Beams, Shear Connectors, finite element method.

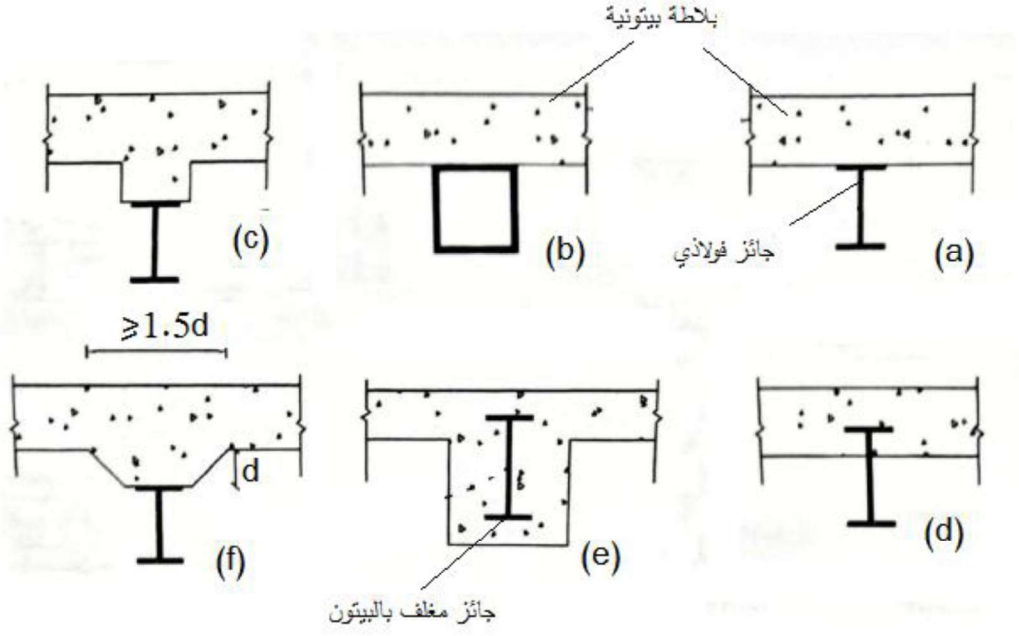
*Department of Structural Engineering– Faculty of Civil Engineering –Hama University

1–مقدمة:

يطلق تعبير العنصر الإنشائي المركب على العنصر الإنشائي المؤلف من جسمين مصنوعين من مادة واحدة أو مادتين مختلفتين يعملان معاً لمقاومة الحمولات الخارجية، حيث يعتمد مفهوم الإنشاء المركب على استخدام المواد حسب خواصها الإنشائية ومميزات استخدامها في البناء، وأكثر الأنواع استخداماً هي المنشآت المركبة من الفولاذ والبيتون.

ويمكن تعريف المنشآت المركبة بأنها المنشآت التي يتم فيها العمل المشترك بين الجزء البيتوني والجزء الفولاذي الحامل عن طريق عناصر تعمل على القص، وتؤمن الترابط التام بين الفولاذ والبيتون، حيث يتكون الجائز المركب بشكل T من بلاطة بيتونية وجائز فولاذي، ويتكون العمود المركب من مقطع فولاذي مغلف بالبيتون أو مقطع فولاذي مملوء بالبيتون، وتتكون البلاطة المركبة من بلاطة بيتونية وصفائح فولاذية، وتستخدم المنشآت المركبة بشكل واسع في الجسور والأبنية العالية. ويوضح الشكل (1) بعض أنواع المقاطع المركبة.

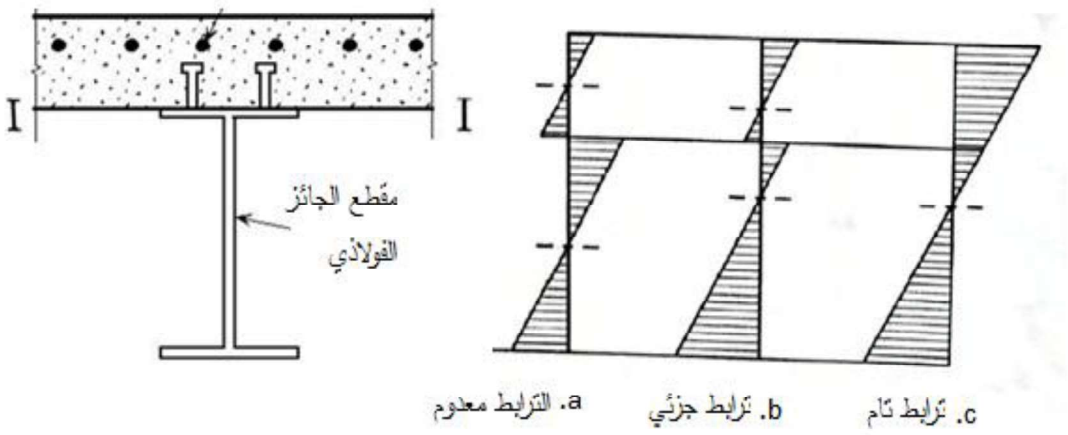
وتزداد فعالية السلوك المركب بالاعتماد على الإجراءات المتخذة لتحقيق الاستمرارية بين الاجهاد والتشوه على كامل المقطع العرضي، أي عند استخدام العناصر المركبة يكون من الضروري تأمين الترابط بين أجزاء المقطع الذي يؤدي إلى ميزات عديدة أهمها : التوفير في وزن الفولاذ المستخدم في المنشآت الذي قد يصل إلى 30% بالمقارنة مع المنشآت التي لا يتوفر فيها الارتباط التام بين أجزاء المقطع الواحد لعناصرها، إنقاص ارتفاع الجوائز الفولاذية المطلوبة لتحمل حمولة معينة، زيادة قدرة تحمل المنشأة ، كما أن المنشأ المركب أخف وزناً من المنشأ البيتوني وأكثر مقاومة للحرائق من المنشأ الفولاذي بالإضافة إلى التنفيذ السريع والتوفير في تكاليف التدعيم ، وباختصار يمكن القول أن الميزة الرئيسية للإنشاء المركب من الفولاذ والبيتون تكمن في أن الاستخدام الأمثل للمواد حسب خواصها الإنشائية، أي البيتون للضغط والفولاذ للشد، يتوافق مع أسلوب الإنشاء الفعال والسريع والاقتصادي. [1]



الشكل رقم (1): بعض أشكال المقاطع المركبة

في المنشآت المركبة نسعى لأن يعمل المقطع المركب كمقطع واحد، وفي هذه الحالة نحصل على مخطط التشوه المبين في الشكل (2–c) حيث يكون التشوه معدوماً عند محور واحد وهو المحور المار بمركز ثقل المقطع المركب، وهنا يتشارك الجائز الفولاذي مع البلاطة البيتونية في تحمل الحمولات المطبقة، وللوصول إلى حالة الترابط الكامل لابد من تأمين ربط كاف على سطح الاتصال I–I لمنع الحركة النسبية بين السطح السفلي للبلاطة البيتونية والسطح العلوي للجائز الفولاذي. تسمى هذه الحركة بالانزلاق (Slip)، والقوى التي تسبب الانزلاق هي قوى القص على المستوي I–I، ويجب على عناصر الترابط أن تقاوم قوى القص هذه، لذلك تسمى عناصر الربط بروابط القص Shear Connectors أي في حالة نظام يعمل بشكل مركب فإنه لا ينشأ أي انزلاق بين البلاطة البيتونية والجائز الفولاذي.[1]

إن الوصول إلى حالة الترابط الكامل المبينة في الشكل (2–c) يتطلب تأمين روابط قص ذات مقاومة وصلابة كبيرين، وبما أن الروابط المستخدمة تكون ذات مرونة معينة فإن ذلك يؤدي إلى اختلاف الاجهادات على السطح المشترك وتنشأ حالة الترابط الجزئي المبينة في الشكل (2–b).



الشكل رقم(2): مخططات التشوه لمقطع مركب

اذاً رابط القص هو جسم معدني يضاف في المنشآت المركبة لتأمين ربط العنصر الفولاذي بالعنصر البيتوني، حيث يتم لحم رابط القص بالعنصر الفولاذي عند أحد طرفيه، ثم يصبح جسمه مغلفاً بالبيتون بعد صبه.

ويجب أن تكون وصلات القص قوية بشكل كاف لتمنع أي انزلاق يمكن أن يحدث بين جزأي العنصر، لذلك يجب أن تصنع روابط القص من الفولاذ ذي المقاومة والتمدد الجيدين بحيث يضمن تماماً عدم انكسارها قبل وصول العنصر الإنشائي إلى حد مقاومته القصوى. [1]

وروابط القص بأنواعها المختلفة، وبالاعتماد على الهدف من استخدامها، يمكن أن تقسم إلى صلبة ومرنة.

فإذا كان انهيار الرابط يحدث بالقص الأمامي الجانبي ويوجد تجمع للإجهادات في البيتون المحيط بالرابط عندها يسمى الرابط بالرابط الصلب، وهذا النوع من الروابط يؤدي إلى انهيار منطقة البيتون أو الانهيار بتشقق اللحام.

وإذا كان انهيار الرابط بقص الرابط عند جذر أو نقطة الاتصال دون الوصول إلى التشوه اللدن، عندها يسمى بالرابط المرن. والروابط المرنة تكون أكثر مطاوعة.

والروابط التي تملك قدرة تشوه كافية لتحقيق إعادة توزيع لا مرنة للقص المفترض في التصميم يمكن تسميتها بالروابط المطاوعة، أي روابط القص تسمى بالروابط المطاوعة إذا كان الانزلاق عند النهاية 6mm حسب الكود البريطاني (EURO Code 4). [2]

2- الدراسة المرجعية و الهدف من البحث:

Linzhong Deng et al. [2001] قام بتحليل سلوك الجوائز الفولاذية مسبقة الإجهاد مع أوتاد فولاذية بمقاومة عالية ومتصلة بشكل مركب مع البلاطة البيتونية.[3]

Andrea Dall'Asta et al. [2002] درس مقاومة الانعطاف القصوى ومقاومة القص القصوى لجوائز مركبة بسيطة الاستناد تحت تأثير الانعطاف المترافق مع القص باستخدام العناصر المحدودة.[4]

Gattesco et al. [1997] أجرى تجارب على الروابط الوتدية لتحليل القيم المختلفة لسعة الانزلاق ومن أجل تاريخ الانزلاق المعطى للروابط. [5]

P.S. Patil et al. [2013] جرب رابط وتدي بأبعاد كبيرة من أجل الفعل المشترك في الجوائز الفولاذية للجسور بهدف دراسة تأثير زيادة المقاومة وانخفاض إمكانية حدوث الضرر في الرابط.[6]

Pashan, et al. [2006] درس تأثير رابط القص الوتدي على سلوك التركيب للجوائز المركبة من خلال إجراء ثلاثين اختبار Push-Out.

وبينت هذه الدراسات أن كفاءة رابط القص تختلف حسب شكله، وأبعاده، والمقاومة المميزة للبيتون المغلف له، كما تبين طرق إنشاء العناصر المركبة مدى مرونة الإنشاءات المركبة وقابليتها للتغير حسب الظروف والمعطيات للوصول إلى أفضل الحلول وأكثرها اقتصادية.

يكمن هدف البحث في نمذجة لاختبار Push-Out بغية وضع الاختيار الأفضل لرابط القص تحت تصرف المهندسين والباحثين لاستخدامها في التصميم، لذلك القصد من البحث دراسة مطاوعة وسلوك (الحمولة – الانزلاق) لأنواع مختلفة من روابط القص المستخدمة في الجوائز المركبة من خلال إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي لنموذج اختبار Push –out باستخدام برنامج ANSYS الذي يعتمد تقنية العناصر المحدودة.

3- التحليل باستخدام العناصر المحدودة:

في العقود الأخيرة، استخدمت طريقة العناصر المحدودة لدراسة وتحليل سلوك العناصر الإنشائية المعرضة لأنواع مختلفة من التحميل، وقد أدت إلى ثورة في حقل النمذجة، كما تم إدخال هذه الطريقة في مجال التحكيم الإنشائي حيث يكون من المطلوب الحكم على قدرة تحمل العناصر الموضوعة قيد الدراسة.

كانت المحاولات المبكرة لإنجاز مسائل التحليل الإنشائي مستهلكة للوقت، وغير قابلة للتنفيذ باستخدام البرمجيات والحواسيب الموجودة في تلك الفترة، لكن مع تقدم العلوم وتطور قدرات الحواسيب والبرمجيات، ازداد استخدام طريقة العناصر المحدودة [8].

يكمن النجاح في عملية النمذجة التحليلية في الاختيار الصحيح لنوع العناصر، والنمذجة الصحيحة للمواد، وأيضاً في اختيار طريقة التحليل الصحيحة [9].

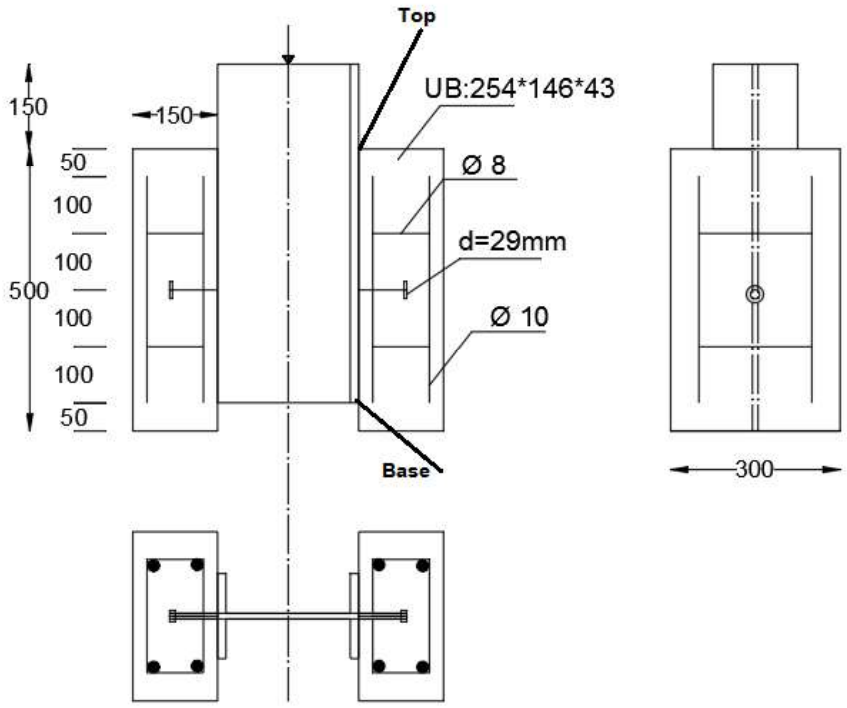
يؤدي التحليل باستخدام طريقة العناصر المحدودة إلى توفير الكثير من الوقت والكلفة المادية، بالإضافة إلى الحصول على تحليل لسلوك العناصر الإنشائية على مستوى عالٍ من الدقة.

في هذه الدراسة، تم استخدام برنامج ANSYS12 لنمذجة اختبار Push–out وإجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي للنماذج المقترحة، ومن خلاله يتم دراسة مطاوعة وسلوك (الحمولة – الانزلاق) لأنواع مختلفة من روابط القص المستخدمة في الجوائز المركبة .

4– وصف النماذج المدروسة :

يمكن دراسة المطاوعة ومقاومة القص لرابط القص من خلال اختبار Push–out ، والعينات في هذا الاختبار تتألف من جائز فولاذي مدرفل مع بلاطة بيتونية و روابط قص تتصل بالجائز عند كلا جناحيه، وقد تمت نمذجتها وفق مواصفات الكود الأوروبي EuroCode4 مع الأبعاد الموضحة في الشكل(3).

ومن خلال هذا الاختبار يتم دراسة تأثير شكل الرابط على المطاوعة والانزلاق تحت تأثير الحمولة.



الشكل رقم (3): أبعاد العينات في اختبار Push–out

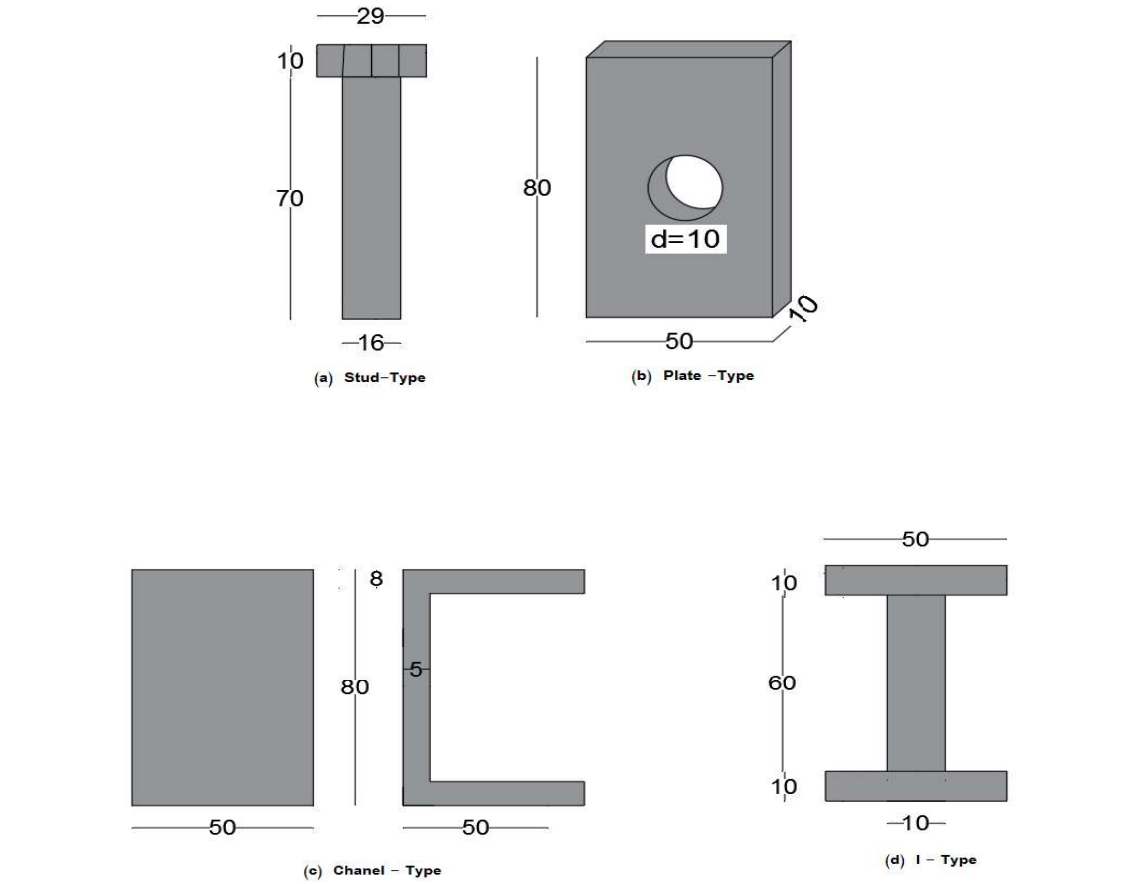
حيث تمت دراسة أربعة أشكال مختلفة لروابط القص وتمت مقارنة النتائج فيما بينها من حيث سلوك (الحمولة –الانزلاق) ومطاوعة الرابط وشكل الانهيار تحت تأثير حمل ستاتيكي لاخطي، ويبين الشكل (4) الأنواع المختلفة من روابط القص المستخدمة للدراسة والتي تملك الارتفاع والسماكة نفسها وهي 80mm ، 10mm على الترتيب.

4– بناء النموذج بطريقة العناصر المحدودة :

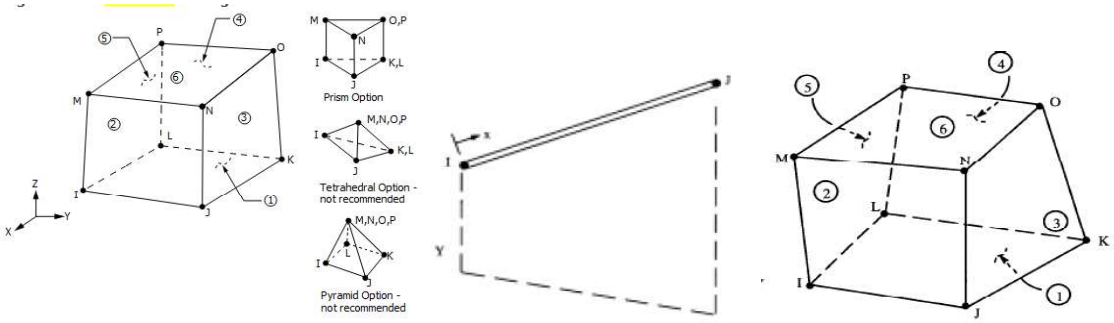
4–1– أنواع العناصر:

تم استخدام العنصر Solid65 لتمثيل البيتون المسلح، وهو عنصر بثمانية عقد بثلاثة درجات حرية لكل عقدة، وهي انتقالات في الاتجاهات (X,Y,Z)، وهذا العنصر قادر على التشوه اللدن والتشقق في الاتجاهات الثلاثة المتعامدة، واستخدم العنصر Link180 لنمذجة فولاذ التسليح، ولهذا العنصر عقدتان، لكل عقدة ثلاثة درجات حرية وهي انتقالات في الاتجاهات الثلاثة (X,Y,Z)، وهذا العنصر قادر على التشوه اللدن أيضاً، كما تم استخدام العنصر solid185 للمقطع الفولاذي، ويملك خاصيات العنصر Solid65 بالإضافة إلى خواصه في التشوهات والإجهادات الكبيرة.

هندسة ومواقع عقد هذه العناصر مبينة في الشكل (5).



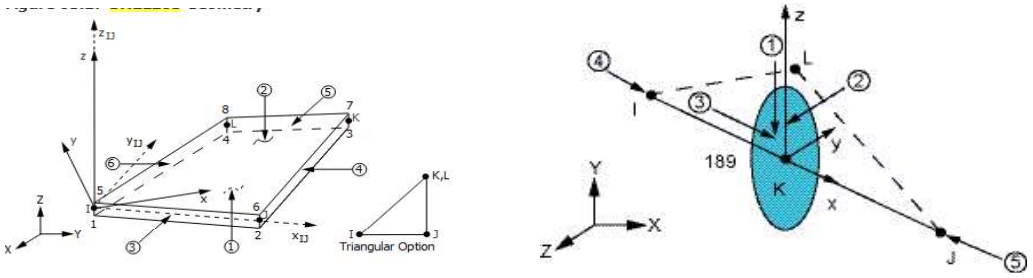
الشكل رقم (4): أشكال رابط القص



الشكل رقم(5): العنصر *Solid*65 **و العنصر** *Link*180 **والعنصر** *Solid*185 **المستخدمة في البيتون المسلح**

تم استخدام العنصر Beam189 لتمثيل الرابط الوتدي، وهذا العنصر مناسب لتمثيل الجوائز الفولاذية النحيفة أو متوسطة السماكة، ولهذا العنصر ست درجات حرية لكل عقدة والتي تتضمن الانتقالات والدورانات وفق المحاور الثلاثة (X,Y,Z)، ويتيح هذا العنصر خيار التشوه المقيد وغير المقيد، حيث يسمح بدوران كبير large rotation، وصلابة الإجهاد stress

stiffness وتشوه لاخطي كبير large strain nonlinear applications، والعنصر Shell63 يمتلك الخاصية الغشائية والانعطافية، يستخدم مع الاحمال الطبيعية والمستوية، وللعنصر ست درجات حرية لكل عقدة من عقده (ثلاث انتقالات وثلاث دورانات)، والعنصر القدرة على تضمين التشوهات الكبيرة وصلابة الإجهادات ، ويبين الشكل (6)هندسة وعقد وجملة إحداثيات العنصرين Beam189, Shell63



الشكل رقم (6): العنصر *Beam*189 **والعنصر** *Shell*63

4–2– خواص المواد :

بالنسبة للبيتون المسلح فقد تم استخدام قانون هوك للمرحلة المرنة بعامل مرونة $E_c = 4700\ (f'_c)^{0.5}$ حيث f_c : إجهاد الضغط المطبق بقيمة 24 MPa ، ومعامل بواسون 0.2 وفي المرحلة اللدنة والسلوك اللاخطي تم استخدام نموذج Hognestad المعدل لتمثيل منحني (الإجهاد– التشوه).ويبين الجدول(1) الخواص المرنة الخطية ومنحني (الإجهاد– الانفعال) في المرحلة اللاخطية للبيتون

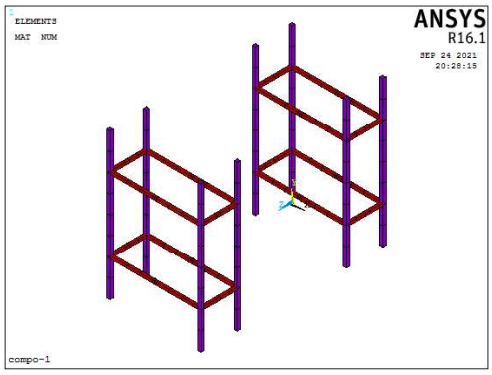
تم افتراض أن سلوك فولاذ التسليح والمقطع الفولاذي وروابط القص مرن تام اللدونة ومتماثل في الشد والضغط. معامل بواسون 0.3 ومعامل المرونة $E_s = 200000 Mpa$ ، إجهاد الخضوع $f_y = 400 Mpa$ والأساور وروابط القص بإجهاد خضوع $f_y = 200\ Mpa$.

الجدول رقم(1): الخواص المرنة الخطية ومنحني (الإجهاد–الانفعال) للبيتون

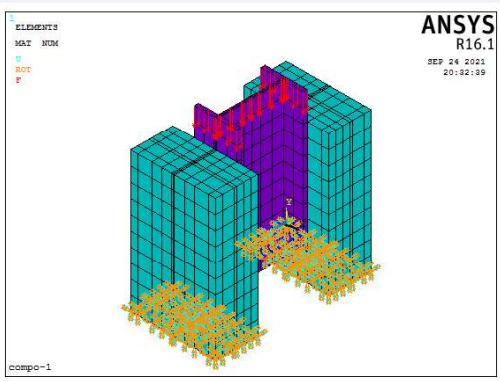
البيتون المسلح fc=24MPa	
خواص المادة	
Linear Isotropic	
معامل مرونة EX (MPa)	23025.20
معامل بواسون PRXY	0.2
Multilinear Isotropic	
الانفعال Strain (mm/mm)	الإجهاد Stress (Mpa)
0	0.000
0.000313	7.200
0.0004	9.021

0.0008	15.619
0.001	18.008
0.001689	21.600
Concrete	
معامل القص للشقوق المفتوحة SheCf–Op	0.26
معامل القص للشقوق المغلقة SheCf–Cl	0.9
إجهاد الشد المحوري (Mpa UnTensSt)	3
UnCompSt	−1

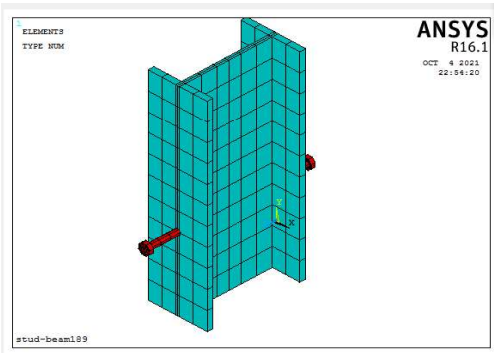
أما الشروط الطرفية فقد تم تقييد البلاطة البيتونية بوثاقة عند قاعدتها السفلية وتطبيق الحمل على القاعدة العلوية للجائز الفولاذي ويبين الشكل (7) أشكال العينات بعد النمذجة:

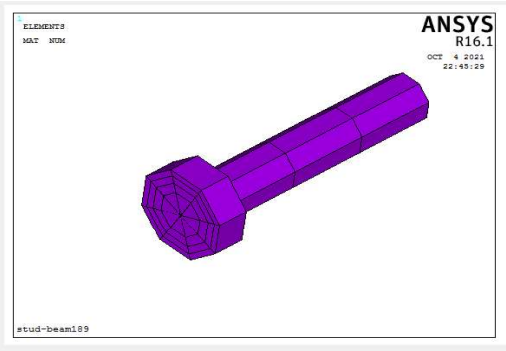


(b) تسليح البلاطة البيتونية

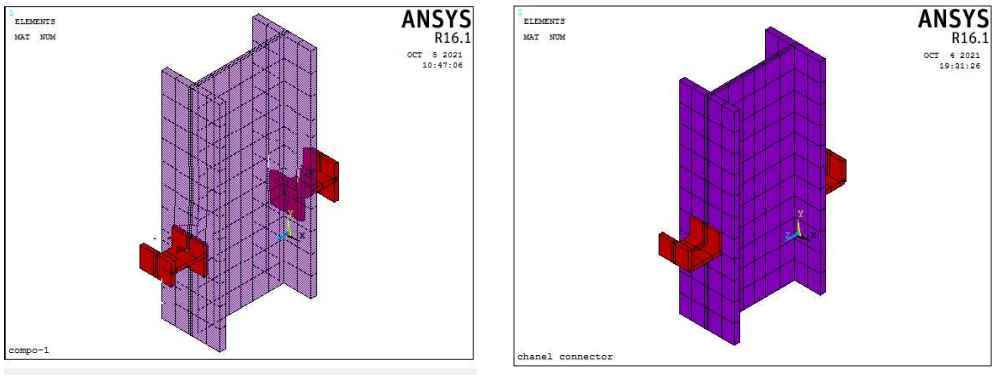


(a) الشروط الطرفية

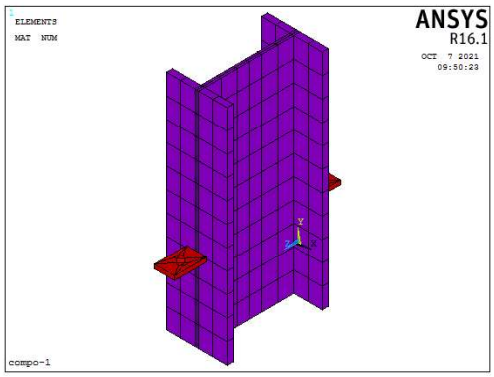




(c) الرابط الوتدي



(e) الرابط I (d) الرابط المجراة



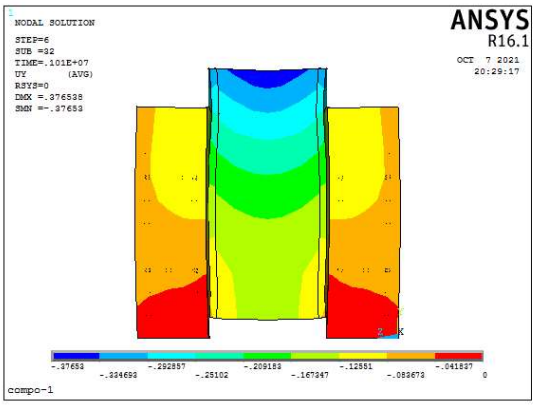
(f) الرابط الصفيحة

الشكل رقم(7) : نموذج اختبار Push–Out في برنامج ANSYS مع أشكال روابط القص

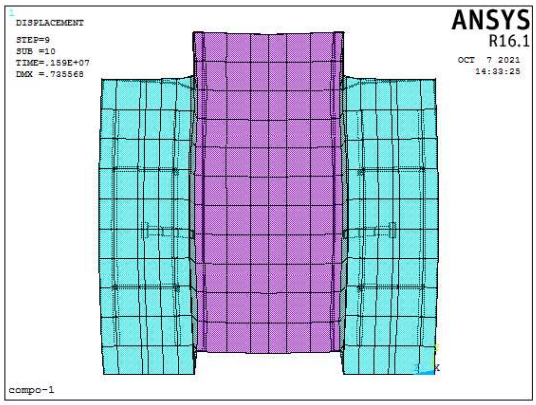
4–3–التحليل اللاخطي : تقسم الحمولة الكلية المطبقة على نموذج العنصر المحدود إلى سلسلة من الحمولات المتزايدة تدعى خطوات التحميل وفي نهاية كل تزايد فإن مصفوفة الصلابة للنموذج تعدل حتى تعكس التغيرات اللاخطية في الصلابة الإنشائية قبل الانتقال إلى تزايد التحميل التالي . برنامج Ansys يستخدم طريقة نيوتن رافسون التزايدية التكرارية لتحقيق التقارب عند نهاية كل خطوة تحميل ضمن حدود تسامح مقبولة.

4–4– نتائج التحليل:

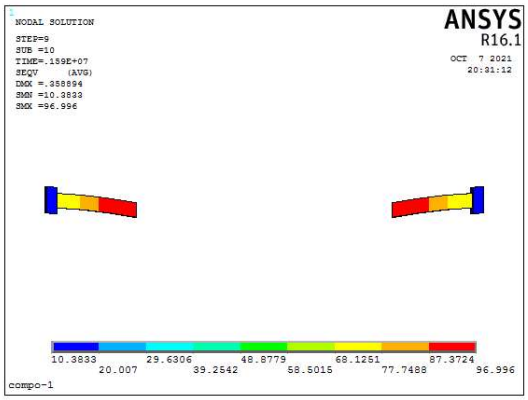
1– النموذج مع الرابط الوتدي: يبين الشكل (8) شكل التشوه والانتقالات الناتجة عن اختبار Push –out وقيم الإجهادات:



(b) الانتقال وفق محور الحمولة



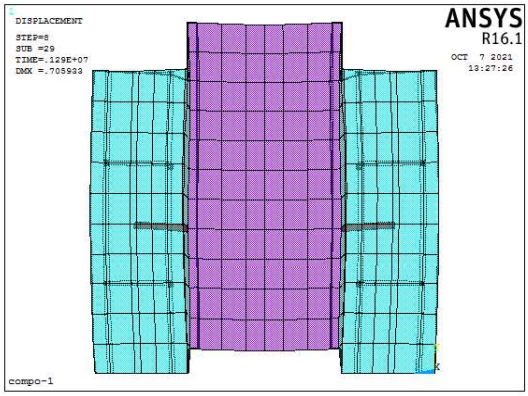
(a) شكل التشوه



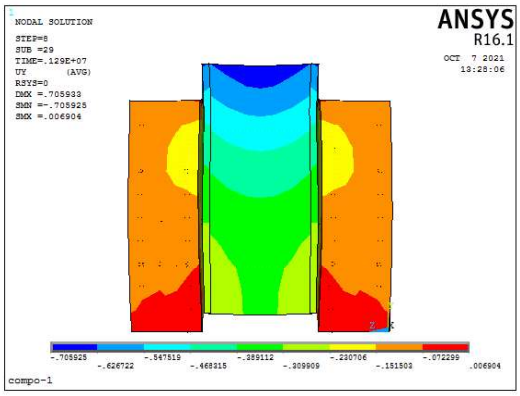
(c) إجهادات القص في الرابط الوتدي

الشكل رقم (8): نتائج نموذج اختبار Push–Out مع الرابط الصفيحة

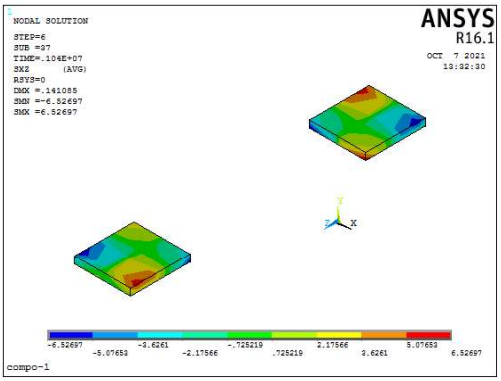
2– النموذج مع الرابط بشكل صفيحة: يبين الشكل(9) شكل التشوه والانتقالات الناتجة عن اختبار Push –out وقيم الإجهادات:



(a) شكل التشوه



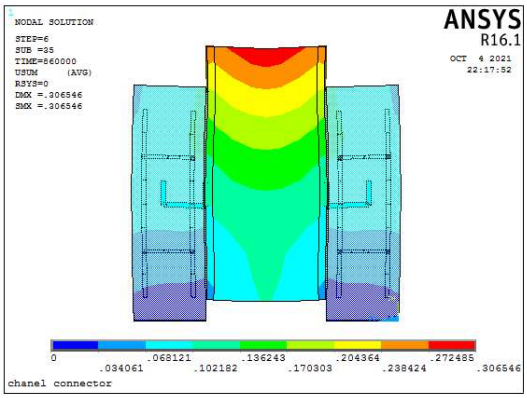
(b) الانتقال وفق محور الحمولة



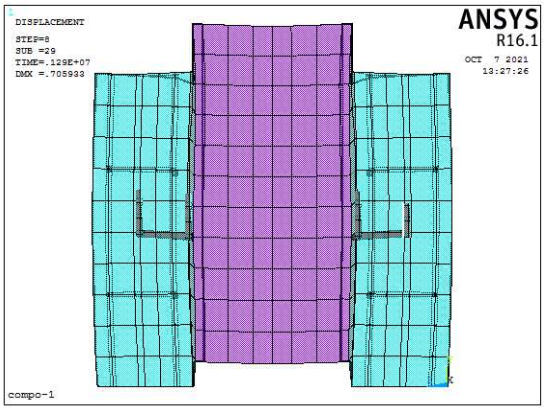
(c) إجهادات القص في الرابط الصفيحة

الشكل رقم (9): نتائج نموذج اختبار Push–Out مع الرابط الصفيحة

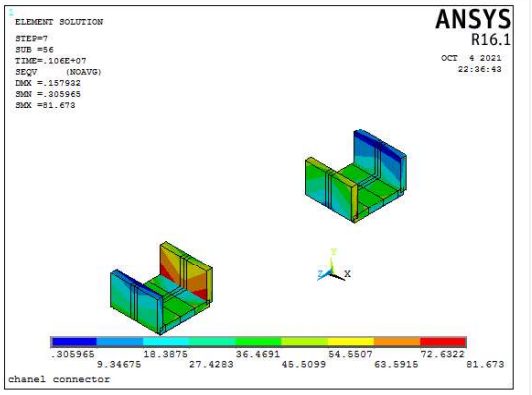
3– النموذج مع الرابط بشكل مجراة: يبين الشكل (10) شكل التشوه والانتقالات الناتجة عن اختبار Push –out وقيم الإجهادات للعينة:



(b) الانتقال وفق محور الحمولة



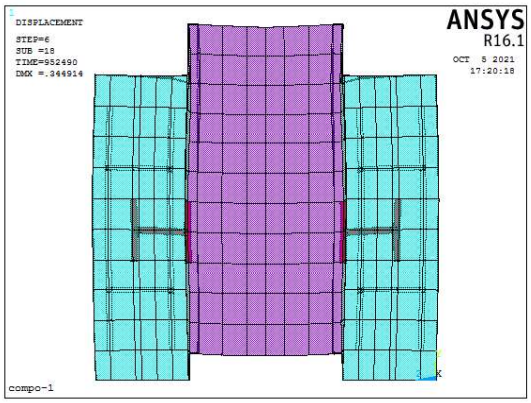
(a) شكل التشوه



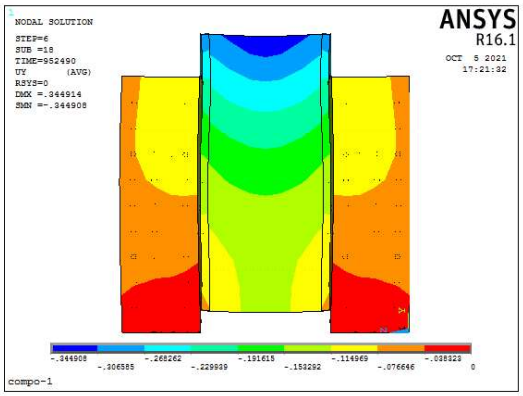
(c) إجهادات القص في الرابط المجراة

الشكل رقم (10): نتائج نموذج اختبار Push–Out مع الرابط المجراة

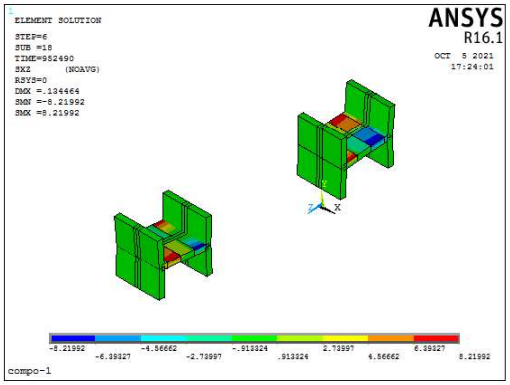
4– النموذج مع الرابط بشكل I : يبين الشكل (11) شكل التشوه والانتقالات الناتجة عن اختبار Push –out وقيم الإجهادات للعينة:



(a) شكل التشوه



(b) الانتقال وفق محور الحمولة



(c) إجهادات القص في الرابط I–

الشكل رقم(11): نتائج نموذج اختبار Push–Out مع الرابط I–

6–4 – مناقشة النتائج:

تمت نمذجة اختبار Push–Out بأنواع مختلفة من الروابط وفق تقنية العناصر المحدودة باستخدام برنامج ANSYS، وتم تقييم الانتقالات مع تزايد الحمولة لكل رابط حتى الوصول إلى الحمولة التي تسبب انزلاق 6mm عند قاعدة الجائز الفولاذي، حيث طبقت الحمولة على الوجه العلوي للمقطع الفولاذي كحمولة قص للروابط، ونم الحصول على النتائج التحليلية ومقارنتها وفق التالي:

1– المطاوعة:

وفقاً للكود البريطاني Eurocode4 فإذا كان الرابط القص يسمح بانتقال 6mm على الأقل عند قاعدة الجائز الفولاذي قبل الانهيار فإنه يعتبر رابط قص مطاوع، لذلك تم حساب انتقالات عقد القاعدة للجائز الفولاذي (base) وأعلى البلاطة البيتونية (Top) المشار إليها على الشكل (3) وهذه الانتقالات هي كما في الجدول (2).

الجدول رقم (2): انتقالات عقد قاعدة وأعلى الجائز الفولاذي

Load	Slip (mm)الانزلاق							
	I–type		chanel– type		plate – type		stud– type	
(kN)	base	Top	base	max	base	max	base	max
2.15	0.01	0.06	0.01	0.06	0.01	0.06	0.01	0.06
10.75	0.06	0.72	0.06	0.31	0.06	0.31	0.06	0.29
40.85	0.21	2.22	0.21	1.2	0.22	1.19	0.22	1.11
86	0.45	3.57	0.44	2.52	0.46	2.5	0.46	2.33
120.4	0.63	4.6	0.62	3.53	0.64	3.5	0.73	3.26
137.6	0.72	5.11	0.71	4.03	0.73	4	1.05	3.73
197.8	1.03	6.91	1.01	5.79	1.05	5.74	1.59	5.36
236.5	1.23	8.07	1.21	6.92	1.26	6.87	1.82	6.41
279.5	1.45	9.36	1.43	8.18	1.49	8.12	2.05	7.57
344	1.79	11.29	1.76	10.07	1.83	9.99	2.69	9.32
387	2.02	12.58	1.99	11.33	2.06	10.24	2.94	10.09
430	2.24	13.94	2.22	12.6	2.3	11.5	3.3	11.06
507.67	2.67	16.3	2.63	15.01	2.74	13.56	3.82	13.24
550.67	2.91	17.63	2.86	16.32	.3.2	14.35	4.12	13.95
604.42	3.21	19.07	3.93	17.93	3.84	15.85	4.68	14.87
655.75	3.5	21.1	4.29	19.48	3.84	17.32	5.11	15.58
693.11	3.73	22.89	4.64	20.67	4.55	18.51	**5.48**	16.25
721.06	4.83	23.87	4.95	22.12	4.97	20.03		
778.57	5.35	25.21	5.41	24.01	**5.82**	21.86		
810.82	5.71	26.45	5.77	25.08				
823	5.77	26.97	**6.04**	25.41				
824.52	5.82	27.56						
832.32	5.92	28.55						
835.28	5.95	29.78						
843.07	**6.03**	29.98						

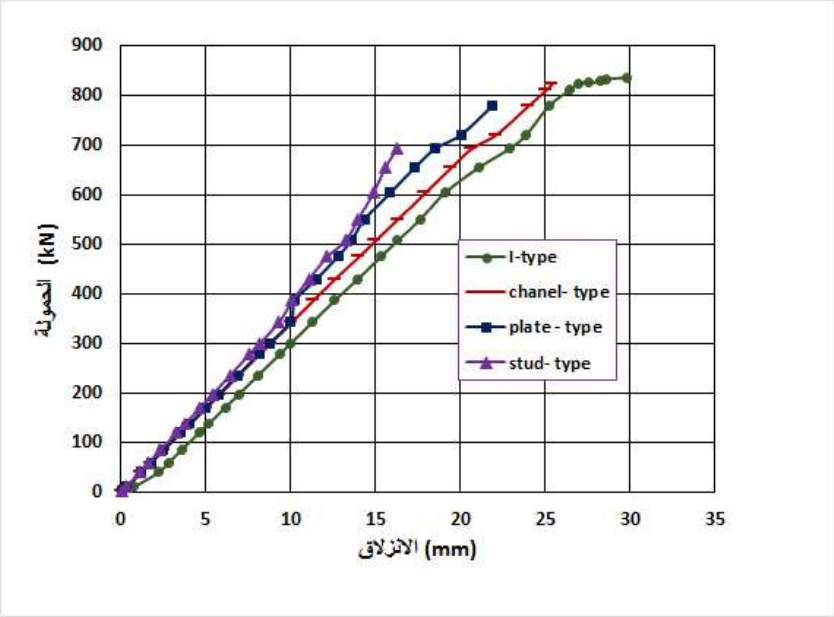
يلاحظ من الجدول(2) أن العينات ذات الرابط الوتدي والرابط الصفيحة لم يصل فيها الانزلاق عند قاعدة الجائز الفولاذي إلى القيمة (6mm)، أي حدث الانهيار في روابط القص الوتدي والرابط الصفيحة قبل الوصول إلى هذه القيمة عند الحمولة (693.11 kN) للرابط الوتدي ، والحمولة (778.57 kN) للرابط الصفيحة وهي اعلى من قدرة تحمل هذه الروابط، وبالتالي تعتبر الروابط المسمار والصفيحة من الروابط غير المطاوعة على الرغم من تساوي القص في كافة الاتجاهات العمودية على محور الرابط.

كما يلاحظ من الجدول(2) أن العينات ذات الرابط المجراة والرابط I وصل فيها الانزلاق عند قاعدة الجائز الفولاذي إلى القيمة (6mm) ضمن حدود مقاومتها، أي لم يحدث الانهيار في روابط القص قبل الوصول إلى هذه القيمة بل عند الحمولة

(823 kN) للرابط المجراة، والحمولة (843 kN) للرابط I ، وبالتالي تعتبر الروابط المجراة والرابط I من الروابط المطاوعة وتسمح بتشوه كبير قبل الوصول إلى الانهيار.

2– علاقة (الحمولة– الانزلاق):

تم توضيح سلوك (الحمولة –الانزلاق) من أجل الأنواع الأربعة من روابط القص برسم العلاقة بين الحمولة المطبقة والتي تؤدي إلى إجهادات قص على الرابط والانزلاق عند الموضع (TOP)، وهي مبينة في الشكل(12):



الشكل رقم (12): علاقة (الحمولة – الانزلاق) للعينات المدروسة

ويلاحظ من الشكل أن قوة القص التي يقاومها الرابط الوتدي منخفضة نسبياً بالمقارنة مع الروابط الأخرى والروابط الأخرى تتميز بمقاومة قص أكبر، بالإضافة إلى انخفاض قيمة الانزلاق نسبياً للرابط الوتدي بالمقارنة مع الروابط الأخرى، وتم توضيح نسب الزيادة في قوة القص والانزلاق لروابط القص نسبة للرابط الوتدي في الجدول (3):

الجدول رقم (3): قوة القص والانزلاق لروابط القص

الروابط أنواع	تحمل قدرة القص للرابط	الزيادة في قوة نسبة القص عن الرابط الوتدي	الانزلاق	الزيادة في قيمة نسبة الانزلاق عن الرابط الوتدي	الانهيار
	(kN)	%	mm	%	
I–type	843.07	17.79	29.98	45.80	لم يحدث انهيار الرابط بالقص
chanel– type	823	15.78	25.41	36.05	
plate – type	778.57	10.98	21.86	25.66	حدث انهيار الرابط بالقص
stud– type	693.11	…	16.25	..	

ويلاحظ من الجدول (3) أن العينة ذات الرابط I تبدي أكبر زيادة في المقاومة بنسبة 17.79% عن الرابط الوتدي وأكبر زيادة في الانزلاق بنسبة تصل إلى 45.8%، تليها العينة ذات الرابط المجراة بزيادة في المقاومة بنسبة 15.78% عن الرابط الوتدي وزيادة في الانزلاق بنسبة 36.05% ، تليها العينة ذات الرابط الصفيحة بزيادة في المقاومة بنسبة 10.98% وزيادة في الانزلاق بنسبة % 25.66 ، وبالتالي الرابط I والرابط المجراة هي الروابط الأفضل من حيث المقاومة والتشوه قبل الانهيار بالمقارنة مع الرابط الصفيحة والرابط الوتدي.

5– النتائج والتوصيات:

1– انهيار العينات ذات روابط القص من الشكل الوتدي والصفيحة بالقص في الرابط قبل الوصول إلى انزلاق (6mm) المعتمد في الكود الأوروبي وبالتالي اعتبارها من الروابط غير المطاوعة.

2– العينات ذات الرابط المجراة والرابط I وصل فيها الانزلاق عند قاعدة الجائز الفولاذي إلى القيمة (6mm) ضمن حدود مقاومتها ولم يحدث الانهيار في روابط القص قبل الوصول إلى هذه القيمة، وبالتالي تعتبر الروابط المجراة والرابط I من الروابط المطاوعة وتسمح بتشوه كبير قبل الوصول إلى الانهيار.

3– العينة ذات الرابط I تبدي أكبر زيادة في المقاومة بنسبة 17.79% وأكبر زيادة في الانزلاق بنسبة تصل إلى 45.8% عن الرابط الوتدي.

4– العينة ذات الرابط المجراة أبدت زيادة في المقاومة بنسبة 15.78% وزيادة في الانزلاق بنسبة 36.05% عن الرابط الوتدي .

5– العينة ذات الرابط الصفيحة أبدت زيادة في المقاومة بنسبة 10.98% وزيادة في الانزلاق بنسبة % 25.66 عن الرابط الوتدي.

6– الرابط I والرابط المجراة هي الروابط الأفضل من حيث المقاومة والتشوه قبل الانهيار بالمقارنة مع الرابط الصفيحة والرابط الوتدي.

في مراحل متقدمة من البحث يوصى بالتحقق من تأثير شكل الروابط (والعوامل الأخرى مثل التباعد بين الروابط وعددها ضمن المقطع العرضي وكذلك تأثير المقاومة المميزة للبلاطة البيتونية) على مقاومة الانعطاف والتحقق من السهوم والتشققات للجوائز المركبة والبلاطات المركبة.

REFERENCES

[1] R.P.Johnson (2004), Composite Structures of Steel–Concrete, Department of civil engineering, Warwick University.

[2] Eurocode 4 (2005). Eurocode 4: Design of composite steeland concrete structures – Part 1–1: General rules and rules for buildings.

[3] Linzhong Deng, Michel Ghosn, Ales Znidaric, Joan R. Casas, 2001, "Nonlinear Flexural Behaviour of Prestressed concrete girder bridges", Journal of Structural Engineering, ASCE, No. 6, pp 276–284.

[4] Andrea Dall'Asta, Alessandro Zona, 2002, "Non linear analysis of composite beams by a displacement approach", Computers and structures, Science direct, No. 80, pp 2217–2228.

[5] N. Gattesco, E. Giurani, A. Gubano, 1997, "Low–cycle fatigue test on stud shear connectors", Journal of Structural Engineering, ASCE, No.123, pp 145–150.

[6] P.S. Patil, M. G. Shaikh, 2013, " A Study of effect of shear connectors in composite beam in combined bending and shear by ANSYS

[7] Pashan, A. (2006).MSc. Thesis, Behaviour of channel shear connectors: push–out tests Department of Civil Engineering, University of Saskatchewan, Canada.

[8]– A.J.Wolanski, (2004), "Flexural behavior of reinforced and prestressed concrete beams using finite element analysis". Master thesis, Marquette University, Wisconsin, USA.

[9]– SAS (2008). ANSYS 12 ,"Finite Element Analysis System", SAS IP, Inc, USA.