

A contribution to Studying the Effect of some Parameters on the Analytical Behavior of Reinforced Concrete Coupling Beams Subjected to Wind Loads

Dr. Fadwa Issa*
Dr. Bassam Hwaija**
Sarah Bashour***

(Received 25 / 6 / 2023. Accepted 30 / 8 / 2023)

□ ABSTRACT □

In recent years, Performance-Based Wind Design has begun to allow nonlinear response for specific structural elements, and studies are still in progress to investigate the behavior of these elements such as coupling beams when subjected to wind loads. Coupling beams in coupled shear wall systems have the ability -through their nonlinear behavior- to dissipate energy and reduce the forces transmitted to shear walls and foundations.

This analytical study aims to investigate the effect of some important parameters on the behavior of conventional reinforced concrete coupling beams when exposed to wind loads, where the effect of aspect ratio and yield strength of longitudinal reinforcing steel was studied.

Results showed that the aspect ratio had an effect on the strength and stiffness of the beams, as for residual displacements and the pinching effect, no significant change was observed with the change of the aspect ratio. As for the yield strength of reinforcing steel, the most significant change was noticed in the maximum strength, where the difference in the strength of the beams has reached an approximate value of 15%.

Keywords: coupling beams, Performance-Based Wind Design, aspect ratio.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Assistant Professor, in Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

**Professor , Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

***Master Student , Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. sarabashour@gmail.com

مساهمة في دراسة تأثير بعض البارامترات على السلوك التحليلي لجوائز الربط البيتونية المسلحة المعرضة لحمولات رياح

د. فدوى عيسى*

د. بسام حويجة**

سارة بشور***

(تاريخ الإيداع 25 / 6 / 2023. قُبِلَ للنشر في 30 / 8 / 2023)

□ ملخّص □

بدأ التصميم المبني على الأداء المقاوم للرياح في السنوات الأخيرة بالسماح باستجابة لاخطية محدودة لعناصر إنشائية معينة، وما تزال الدراسات قائمة حتى الآن للبحث في سلوك هذه العناصر ومنها جوائز الربط تحت تأثير حمولات الرياح. تعمل جوائز الربط في جمل جدران القص المزدوجة -من خلال سلوكها اللاخطي- على تبديد الطاقة وتخفيض القوى المنتقلة لجدران القص والاساسات.

تهدف هذه الدراسة التحليلية إلى البحث في تأثير بعض البارامترات المهمة على سلوك جوائز الربط البيتونية المسلحة بتسليح عادي عند تعرضها لحمولات الرياح حيث تمت دراسة تأثير تغيير نسبة الطول إلى الارتفاع، ومقاومة الخضوع لفولاذ التسليح الطولي.

بينت النتائج أن نسبة الطول إلى الارتفاع كان لها تأثير على مقاومة وصلابة الجوائز أما الانتقالات المتبقية والتضيق الحلقي فلم يكن اختلافها كبير عند تغيير النسبة، كما تبين أن التغيير في مقاومة الخضوع لفولاذ التسليح له أثر كبير على المقاومة حيث وصل الاختلاف في مقاومات الجوائز إلى 15% تقريباً.

الكلمات المفتاحية: جوائز الربط، التصميم المبني على الأداء المقاوم للرياح، نسبة الطول إلى الارتفاع.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* مدرس، قسم الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.
** استاذ، قسم الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.
*** طالبة ماجستير، قسم الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. sarabashour@gmail.com

مقدمة:

تسمح كودات التصميم الزلزالية لعناصر المنشأة بالسلوك ضمن المجال اللاخطي ولكن حتى الآن لا تسمح كودات التصميم الخاصة بمقاومة الرياح لهذه العناصر إلا بالسلوك المرن مما أدى إلى مجموعة من التعقيدات في تصميم المباني العالية لمقاومة حملات الزلازل والرياح في آن واحد. لمعالجة هذه المشكلة، بدأ التصميم المبني على الأداء المقاوم للرياح (Performance-Based Wind Design) بالتوسع في الأبحاث الحديثة نحو السلوك اللامرّن للعناصر والمنشآت تحت تأثير الرياح [1].

نظراً للدور الهام لجوائز الربط في زيادة مطاوعة جدران القص المترابطة (Coupled Walls)، وقدرتها على تبديد الطاقة [2] فقد بدأت العديد من الدراسات التجريبية بدراسة السلوك اللاخطي لهذه العناصر عند تعرضها لحملات الرياح بهدف الوصول لتصاميم آمنة واقتصادية.

يوجد العديد من البارامترات التي يمكن أن تؤثر على سلوك جوائز الربط البيتونية المسلحة حيث تمت دراسة تأثير البعض منها في أبحاث سابقة تحت تأثير حملات زلزالية، فقد درس الباحثون (Naish et al. (2013) [3] السلوك اللاخطي لسبعة نماذج من جوائز الربط المسلحة قطرياً وقارنوها مع سلوك جوائز إطاري ذي تسليح طولي عادي، حيث تمت دراسة تأثير وجود أو عدم وجود بلاطة، طريقة التطويق في المقطع ونسبة التسليح العرضي. من أهم النتائج التي توصل لها الباحثون في هذه الدراسة أن التطويق الكامل للمقطع أعطى نتائج أفضل من التطويق الخاص بالتسليح القطري، كما أن وجود البلاطة ساهم في زيادة مقاومة الجوائز بحدود من 10-20%.

وكذلك قام الباحثون (Kwan and Zhao. (2002) [4] بدراسة تأثير نسبة الطول إلى الارتفاع على مجموعة من جوائز الربط المسلحة بتسليح عادي تتراوح نسبة طولها إلى ارتفاعها بين 1 ← 2، وتوصل الباحثون من خلال الدراسة إلى أن مقاومة الجوائز تتناقص والمطاوعة تزداد مع زيادة هذه النسبة.

إن دراسة تأثير هذه البارامترات مع وجود حملات رياح بدأ حديثاً مع العمل التجريبي ل (Abdullah et al. (2020) [1] حيث تمت دراسة السلوك اللاخطي لمجموعة من جوائز الربط غير المقيدة محورياً تحت تأثير بروتوكول تحميل محاكي لتأثير عاصفة رياح ودراسة تأثير بعض البارامترات منها: نسبة الطول إلى الارتفاع، وجود بلاطة أو عدم وجودها، اشتراطات التسليح (التسليح الخاص بالزلازل والتسليح العادي)، وتبين أنه لم يكن هناك تأثير كبير لهذه البارامترات على سلوك الجوائز. وقد تم اعتماد إحدى عينات هذه التجربة لمعايرة النموذج المستخدم في هذه الدراسة.

أهمية البحث وأهدافه:

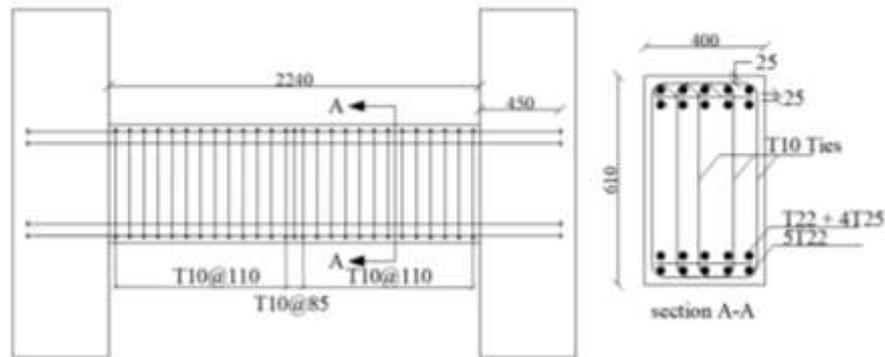
ما يزال التصميم المبني على الأداء في مجال التطوير، فالدراسات مستمرة حتى الآن في دراسة السلوك اللاخطي لجوائز الربط وتأثير البارامترات المختلفة على هذا السلوك تحت تأثير حملات الرياح بهدف التوصل إلى عناصر ذات سلوك مطاوع وتصميم اقتصادي وآمن. لذلك فقد ركز البحث الحالي على دراسة تأثير البارامترات التالية على سلوك جوائز الربط المعرضة لحمولة الرياح: نسبة الطول إلى الارتفاع ومقاومة الخضوع لفولاذ التسليح الطولي. تم اختيار ثلاثة قيم لنسبة الطول إلى الارتفاع (3.9، 4.2، 4.5) ومقارنتها مع الجائز المعايير ذي نسبة الطول إلى الارتفاع 3.67، كما تم اختيار قيمتين لمقاومة خضوع الفولاذ الطولي (360، 420) MPa ومقارنة النتائج مع القيمة الأساسية لمقاومة خضوع بمقدار 477 MPa.

طرائق البحث ومواده:

1- البرنامج والنموذج التحليلي المستخدم:

1-1 تفاصيل العينات المختبرة وبرتوكول التحميل المعتمد:

يبين الشكل (1) أبعاد العينة CB3 المعايير [1] وتفاصيل تسليحها. التسليح الطولي السفلي مطابق للعلوي وهو (4T22mm + 6T25mm) أما التسليح العرضي فهو 3T10mm/110mm، ولم يتم تنفيذ بلاطة في هذه العينة. نسبة الطول إلى الارتفاع $l_n/h=3.67$ ، أبعاد مقطع الجائز (400mm*610mm) وطوله 2.2m.



الشكل (1): تفاصيل أبعاد وتسليح العينة CB3 (الأبعاد بال mm) [1]

يبين الجدول (1) خصائص جوائز الربط التي تم اعتمادها لدراسة تأثير نسبة الطول إلى الارتفاع والتي تختلف عن بعضها البعض فقط بطول الجائز، حيث تم اختيار ثلاثة نسب (3.9، 4.2، 4.5) وهي جميعها أكبر من النسب التي تمت دراستها في (Abdullah et al. (2020) [1]. تم مقارنة نتائج هذه الجوائز مع الجائز المعايير ذي نسبة الطول إلى الارتفاع 3.67.

جدول (1): خصائص جوائز الربط المعتمدة لدراسة نسبة الطول إلى الارتفاع.

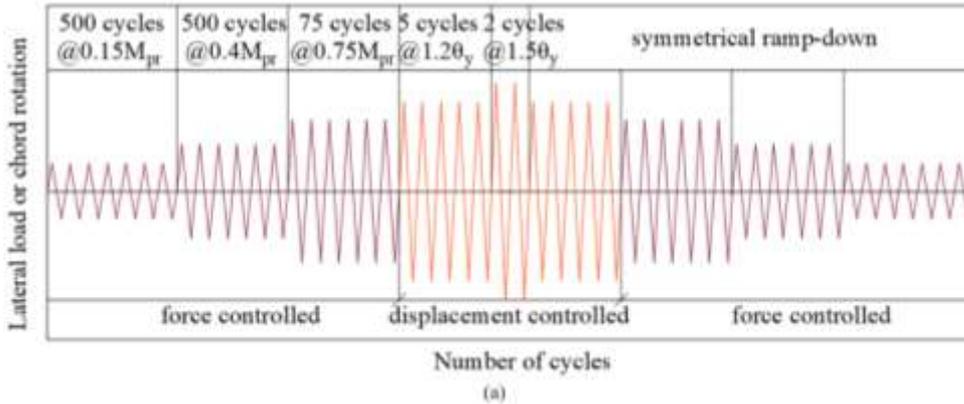
العينة	CB:3	B1	B2	B3
l_n/h	3.67	3.9	4.2	4.5
l (mm)	2235	2379	2562	2745
$V_{@Mpr}$ (N)	969687	911055	845980	789581

وبين الجدول (2) خصائص جوائز الربط المعتمدة عند دراسة تأثير اختلاف مقاومة خضوع فولاذ التسليح الطولي، حيث تم اختيار قيمتين للمقاومة (360، 420) MPa ومقارنة النتائج مع العينة المعايير ذات مقاومة خضوع 477 MPa.

جدول (2): خصائص جوائز الربط المعتمدة لدراسة مقاومة خضوع فولاذ التسليح الطولي.

العينة	CB3	B11	B22
$f_y (MPa)$	477	420	360
$f_u (MPa)$	674	674	510
$f_{rup} (MPa)$	552	552	420
$V_{@M_{pr}} (N)$	969687	969687	853436

تم اعتماد بروتوكول التحميل الدوري الموضح في الشكل (2) والذي يحاكي عاصفة رياح مدتها ثلاث ساعات ونصف [1]. يتألف البروتوكول من ثلاث مراحل: الأولى محكومة بالقوة (Force control) تبدأ ب 500 حلقة تحميل بمقدار $0.15 * M_{pr}$ تليها 500 حلقة أخرى بمقدار $0.4 * M_{pr}$ وتنتهي ب 75 حلقة بقيمة $0.75 * M_{pr}$ ، الثانية محكومة بالانتقال (Displacement control) وتبدأ بخمس حلقات من قيمة $1.2 * \theta_y$ تليها حلقتين بقيمة $1.5 * \theta_y$ ثم خمس حلقات أخرى من قيمة $1.2 * \theta_y$ ، أما المرحلة الثالثة فهي محكومة بالقوة ومماثلة للمرحلة الأولى ولكن ذات قيم تنازلية.



الشكل (2): بروتوكول التحميل المستخدم [1]

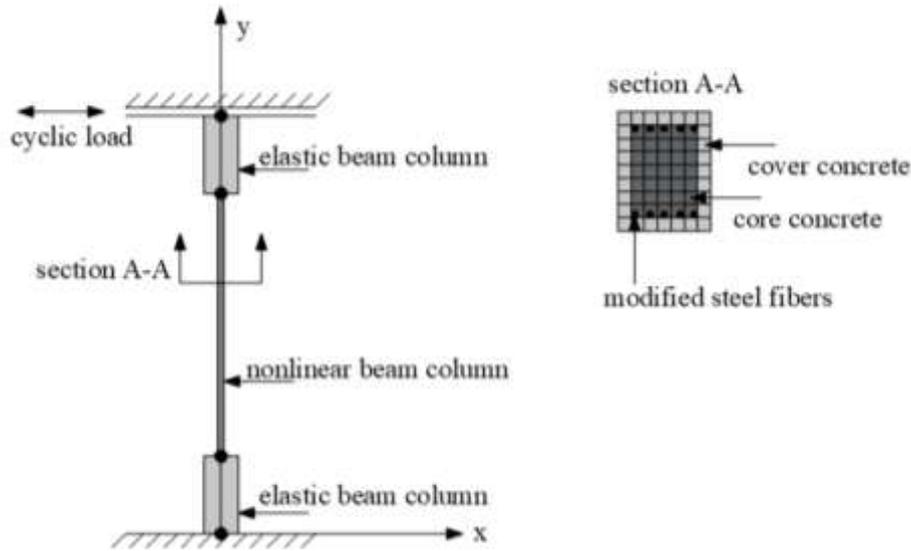
1-2 البرنامج التحليلي المستخدم:

تم استخدام برنامج المحاكاة OpenSees [5] (Open System for Earthquake Engineering) الذي يعتمد على طريقة العناصر المنتهية لنمذجة جوائز الربط المدروسة. تتم النمذجة وفق عدة مستويات كما يلي: مستوى العنصر (نموذج يربط بين القوة والانتقال force deformation model)، ومستوى المقطع (نموذج يربط بين العزم ودرجة الانحناء moment curvature model)، وأخيراً وفق مستوي الألياف (نموذج يربط بين إجهاد وتشوه المادة material stress-strain model) ويمكن أن تتم النمذجة ضمن مستويات ثنائية أو ثلاثية البعد.

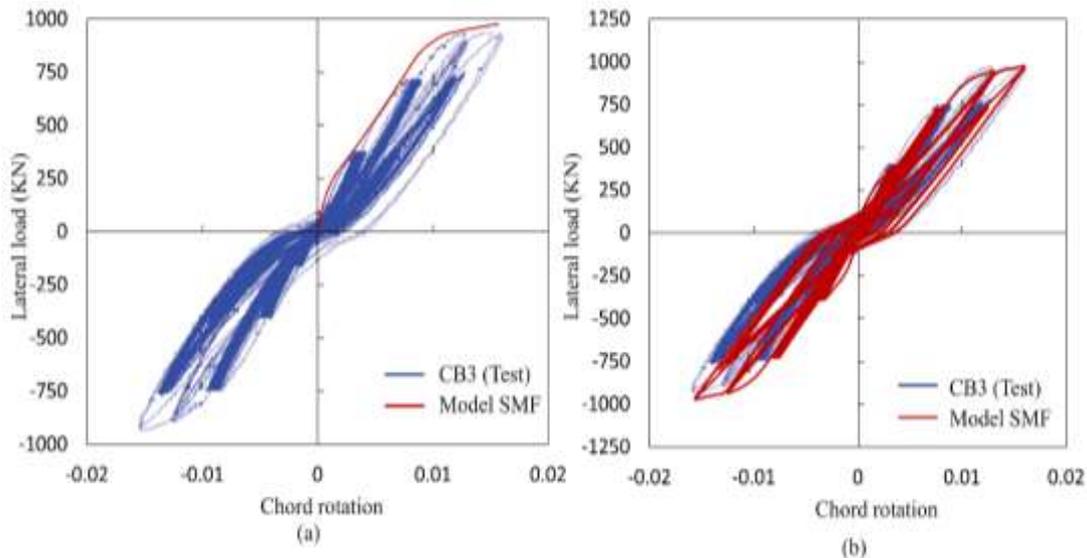
يحتوي البرنامج على مكتبة واسعة من المواد المختلفة التي يمكن استخدامها في التعبير عن سلوك المواد الإنشائية (مثل البيتون وفولاذ التسليح والطوب الخ...) في المجالين المرن واللدن، وكذلك السلوك الهستيريري عند التحميل الدوري. كما أن البرنامج قادر على الأخذ اللاخطية الهندسية للعناصر والجمل بعين الاعتبار [5].

1-3 النموذج التحليلي المستخدم:

يتألف النموذج المعتمد في هذه الدراسة (Steel Modification Factor (SMF)) والذي تمت معايرته في دراسة سابقة من عنصر واحد فقط بنوع جوائز عمود لاخطي (Nonlinear Beam-Column Element) كما هو موضح في الشكل (3) إذ تم تقسيم العنصر المدروس بواسطة 10 نقاط تكامل غوص لوباتو. تمت نمذجة الكتلتين الطرفيتين بواسطة العنصر جوائز-عمود المرن (Elastic Beam-Column Element) حيث تم إسناد صلابة كبيرة لهما لمنع التشوه. يتألف المقطع الليفي المستخدم من نواة بيتونية مطوقة، طبقة تغطية بيتونية غير مطوقة، وقضبان فولاذ التسليح، وقد تم أخذ تأثير القص الانفعالي (shear distortion) وكذلك الانزلاق (bond slip) بعين الاعتبار ضمن النموذج. يوضح الشكل (4) نتائج المعايرة.



الشكل (3): تفاصيل النموذج التحليلي المستخدم

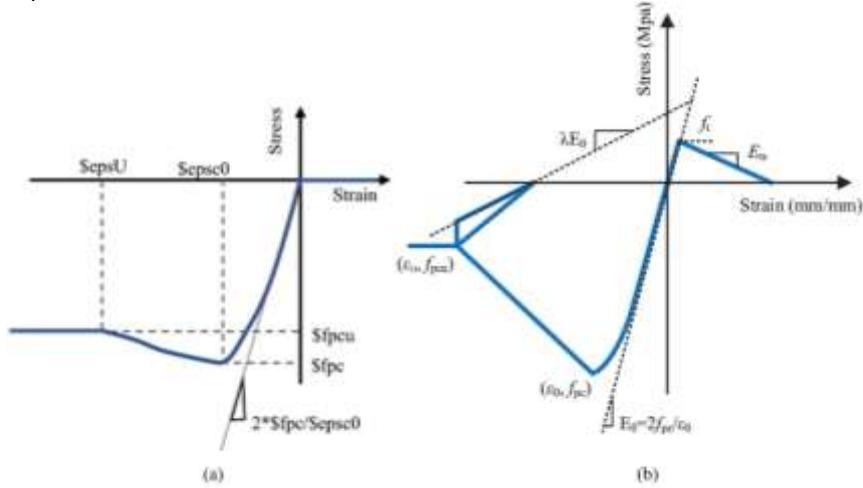


الشكل (4): نتائج معايرة النموذج التحليلي SMF (a) منحنى الدفع التصاعدي، (b) المنحنى الهستيري (قوة جانبية - دوران)

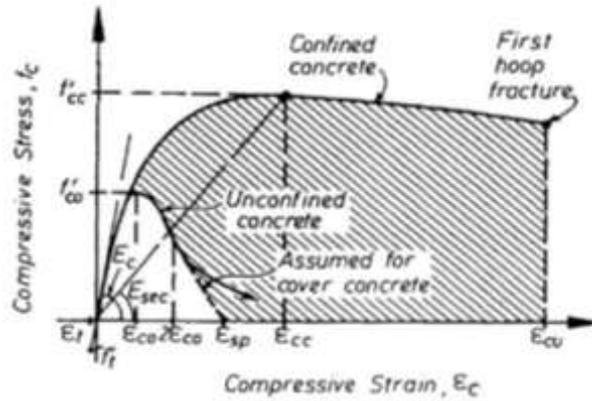
1-3-1 مادة البيتون المستخدمة:

تم استخدام نموذج Kent and Park [6] لتمثيل سلوك بيتون التغطية غير المطوق واعتُبرت مقاومة الشد مهملة، وقد تم تعريف هذا النموذج في البرنامج باستخدام المادة Concrete01 الموضحة في الشكل (a-5). كما تمت نمذجة

النواة البيتونية المطوقة باستخدام المادة Concrete02 الموضحة في الشكل (5-b) واستخدم نموذج Mander [7] في حساب خصائص البيتون المطوق والمبين في الشكل (6)، حيث اعتبرت مقاومة الشد للبيتون المطوق $f_t = 0.62 \sqrt{f_c}$.



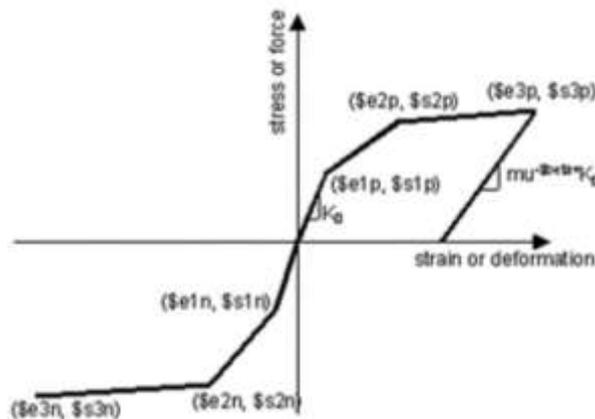
الشكل (5): خصائص مواد البيتون المستخدمة (a) Concrete01 للتغطية، (b) Concrete02 للنواة [5]



الشكل (6): نموذج Mander لسلوك البيتون المطوق [7].

1-3-2 مادة الفولاذ المستخدمة:

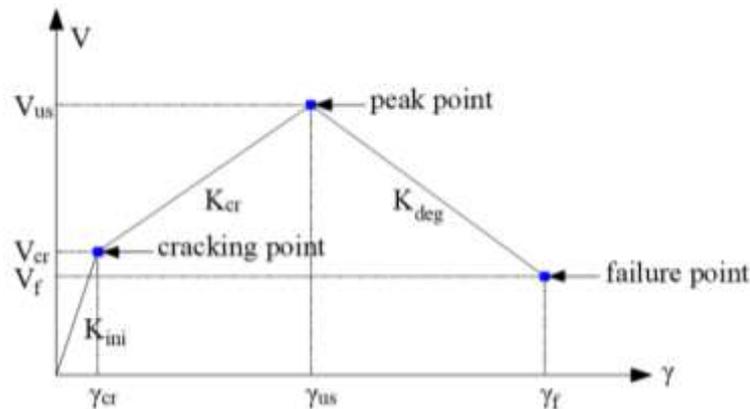
تم استخدام المادة Hysteretic الموضحة في الشكل (7) لنمذجة فولاذ التسليح. يتألف منحنى سلوك هذه المادة من ثلاث مستقيمات في الاتجاهين الموجب والسالب. يمكن تعريف هذه المستقيمات بثلاثة نقاط تم اختيارها هنا نقطة الخضوع (f_y, ϵ_y) ، نقطة الذروة (f_u, ϵ_u) ، ونقطة الانقطاع $(f_{rup}, \epsilon_{rup})$.



الشكل (7): المادة Hysteretic المستخدمة في نمذجة فولاذ التسليح [5]

1-3-3 نموذج القص المستخدم:

تم استخدام منحنى مغلف ثلاثي الخطوط لوصف العلاقة بين القوة والتشوه على مستوى المقطع وذلك لنمذجة سلوك القص لجوائز الربط المتوسطة والمسلحة بتسليح طولي عادي، وقد استخدمت المادة Hysteretic لإدخال هذه العلاقة حيث تم دمجها مع المقطع العرضي بواسطة الأمر Section Aggregator. يبين الشكل (8) النقاط الثلاثة الأساسية لتعريف هذا المنحنى وهي: نقطة بداية التشقق (V_{cr}, γ_{cr}) ، نقطة الذروة (V_{us}, γ_{us}) ، ونقطة الفشل (V_f, γ_f) .



الشكل (8): المنحنى المغلف للعلاقة بين قوة القص والتشوه القصي.

يمكن حساب قيم V_{cr} ، V_{us} ، γ_{us} من العلاقات (1) إلى (5) [8]، أما V_f فقد تم اعتماد القيمة $0.2V_{us}$ [9]. وقد وجد الباحثون (Nabilah et al. (2017) [10] أنه قبل الوصول إلى نقطة بداية التشقق تشهد الصلابة الأولية على القص $(K_s = G \cdot A_g / 1.2)$ في جوائز الربط التي لها نسبة طول إلى ارتفاع متوسطة انخفاضاً في القيمة لتصل إلى $K_{ini} = 0.2K_s$ عند أول شق قطري، لذلك فقد تم حساب القيمة γ_{cr} وفقاً للعلاقة (6)، أخيراً تم اقتراح صلابة الجزء المنحدر $0.001K_s$ [8].

يبين الشكل (9) السلوك الهستيرتي للقص حيث تم اعتماد قيمة للصلابة عند تفريغ الحمولة (unloading stiffness) بحيث يصل تشوه القص إلى قيمة 0.85 من التشوه الكلي عندما تتعدم قيمة القوة (الجزء AB) [9]. وتم اعتماد قيم ثابتة لمعاملات التدهور $(Damage1=0.000796)$ ، $(Damage2=0.0)$ ، والتضييق الحلقي $(Pinchx = 0.45)$ ، و $(Pinchy = 0.12)$ (النقطة C).

$$V_{cr} = (0.158\sqrt{f'_c} + 17.2\rho_{sv}d/a)bd \leq 0.29\sqrt{f'_c}bd \quad (1)$$

$$V_{us} = \frac{A_{sv} f_{sv} d}{s} + 0.166\sqrt{f'_c}bd \quad (2)$$

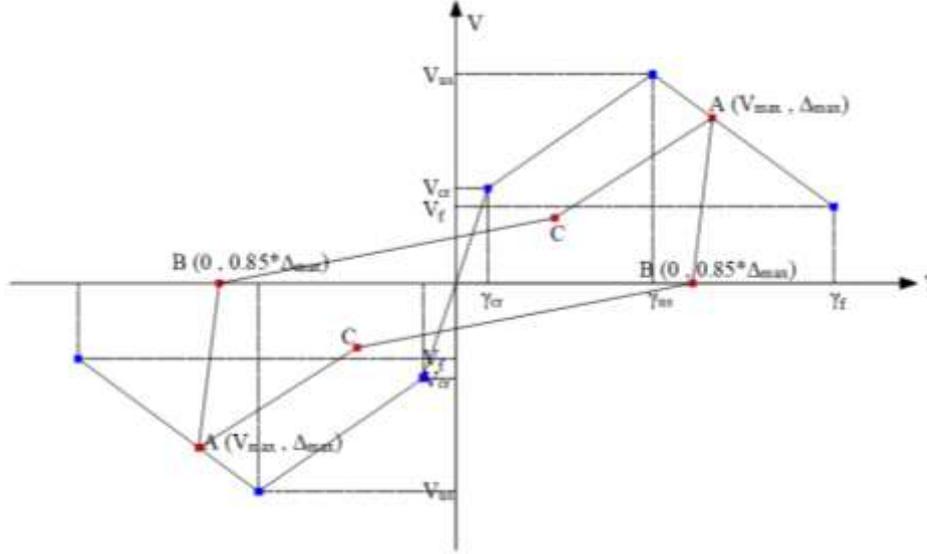
$$\alpha = \frac{0.3(a/d - 0.96)^2 + 0.027}{1.42 - 52.3(\rho_{sv} - 0.59\%)} \quad (3)$$

$$k_{cr} = \alpha k_{ini} \quad (4)$$

$$\gamma_{us} = \frac{V_{us} - V_{cr}}{k_{cr}} + \gamma_{cr} \quad (5)$$

$$\gamma_{cr} = \frac{V_{cr}}{0.2K_s} \quad (6)$$

حيث أن b, h, d : العرض، الارتفاع، والارتفاع الفعال على التوالي، a : مسافة القص (نصف قيمة الطول l)، A_g : مساحة المقطع، $\rho_{sv}, f_{sv}, S, A_{sv}$: النسبة، التباعد، إجهاد الخضوع، ومساحة التسليح العرضي على التوالي، حيث أن $\rho_{sv} = A_{sv}/b \cdot s$ ، G : معامل القص للبيتون ويؤخذ عادة $0.4E_c$ ، K_{ini} : صلابة المقطع الأولية على القص، K_{cr} : صلابة المقطع على القص بعد تشكل التشققات القطرية، K_{deg} : ميل الفرع المنحدر.



الشكل (9): تفاصيل السلوك الهستيرتي لنموذج القص.

1-3-4 نموذج الانزلاق المستخدم:

لأخذ تأثير الانزلاق بعين الاعتبار فقد تم استخدام الطريقة المقترحة من قبل (Sharifi et al. (2020) [11]. تعتمد الطريقة المطورة على تعديل معامل المرونة الطولي للفلود E_s بواسطة معامل λ يتم حسابه وفقاً للعلاقة (7).

$$\lambda = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_y + \varepsilon_b} \quad (7)$$

حيث ε_b التشوه الانزلاقي المكافئ ويحسب من العلاقة (8).

$$\varepsilon_b = \frac{S_{yeild}}{L_p} \quad (8)$$

تحسب قيمة الانزلاق الأعظمي الموافقة لإجهاد الخضوع S_{yeild} من العلاقة (9)، أما الطول المكافئ للمفصل اللدن فيحسب بشكل تقريبي من العلاقة (10) المقترحة من قبل (Priestley et al. (2007) [12].

$$S_{yeild} = \left[\frac{(1 + \alpha_b) d_b S_1^{\alpha_b}}{8(1 + n\rho_e) E_s \tau_{bmax}} f_y^2 \right]^{\frac{1}{1+\alpha_b}} \quad (9)$$

$$L_p = 0.2 \left(\frac{f_u}{f_y} - 1 \right) L_c \leq 0.08 L_c \quad (10)$$

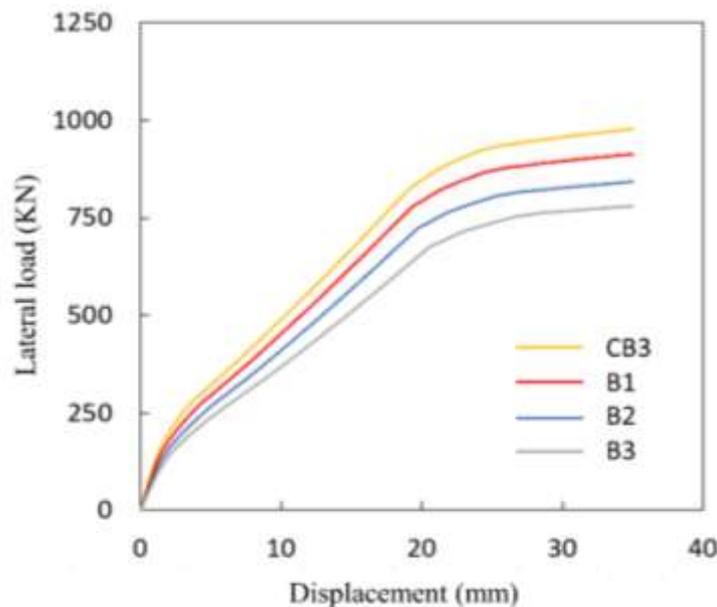
حيث يمكن أن تؤخذ القيم $\alpha_b, \tau_{bmax}, S_1$ من كود التماسك لفلود التسليح ضمن البيتون (CEB-FIP. (2000) [13]، L_c الطول من المقطع ذات العزم الأعظمي إلى نقطة انقلاب إشارة العزم. أُسندت قيم للمعاملات الخاصة بالتضيق الحلقي الناتج عن تأثير الانزلاق ($\text{Pinch}_x=0.45, \text{Pinch}_y=0.12$) وذلك للمادة Hysteretic المستخدمة لتمثيل فولاد التسليح في جميع العينات.

النتائج والمناقشة:

1- تأثير نسبة الطول إلى الارتفاع:

1-1 منحنيات التحميل الدفعي المتزايد (Pushover analysis):

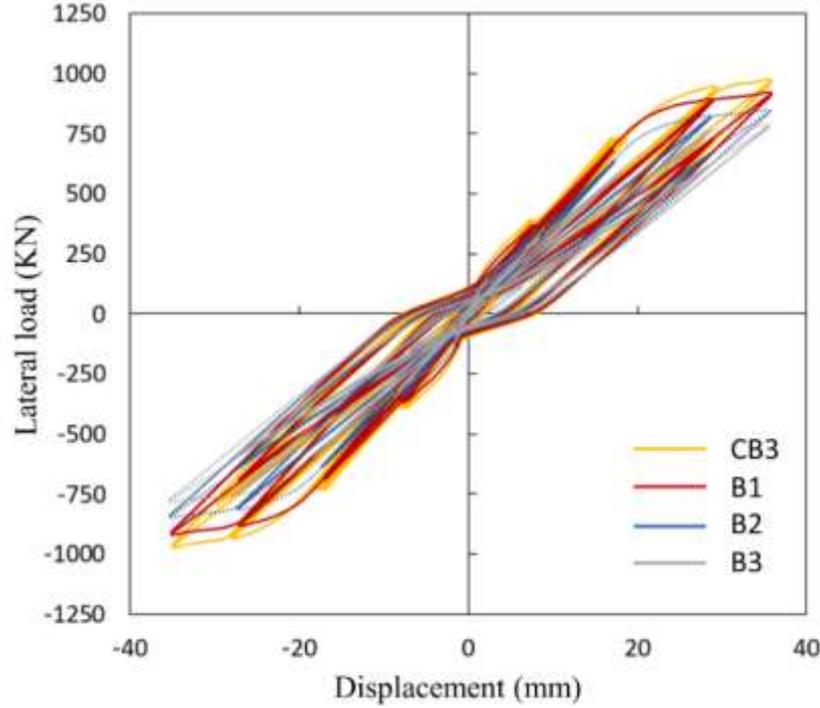
تم تحميل الجوائز أولاً بحمولة متزايدة، حيث يوضح الشكل (10) مقارنة منحنيات قوة - انتقال للجوائز الثلاث مع الجوائز المعايير. يُلاحظ أنه كلما ازدادت نسبة l_n/h تتناقص مقاومة الجائز وذلك بسبب انخفاض مقاومة الانحناء، حيث كان أكبر اختلاف بقيم المقاومة الأعظمية حوالي 7.25% وذلك بين العينتين B1 و B2 ذات المقامات 913KN، و 842KN على التوالي.



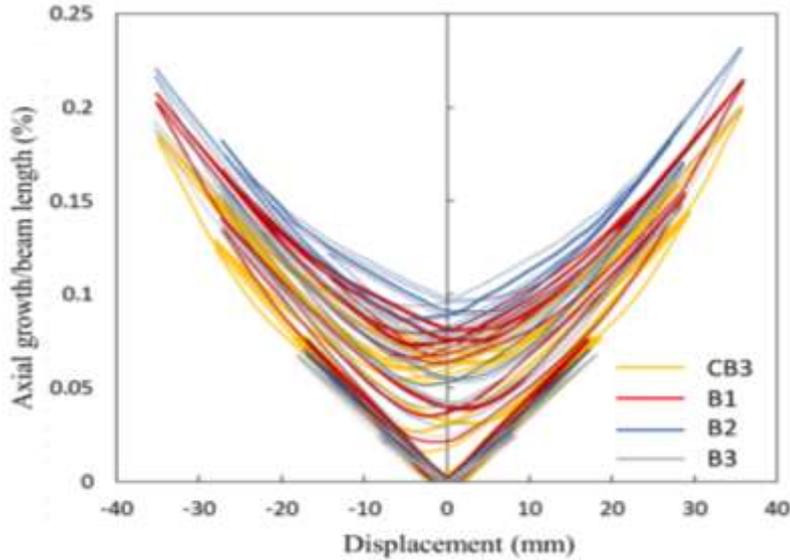
الشكل (10): تأثير النسبة l_n/h على منحنيات التحميل التصاعدي لجوائز الربط

2-1 منحنيات السلوك الهستيري:

في المرحلة التالية تم تحميل الجوائز وفق بروتوكول التحميل المحاكي لعاصفة رياح الموضح مسبقاً حيث تم تطبيق مرحلتيه الأولى والثانية بشكل كامل أما المرحلة الثالثة فتم تطبيق حلقة واحدة فقط من كل مستوي. يوضح الشكل (11) السلوك الهستيري بدلالة قوة - انتقال للجوائز الثلاث مقارنةً مع الجائز CB3، حيث يُلاحظ أن زيادة نسبة الطول إلى الارتفاع ترافقت مع انخفاض المقاومة. وقد كان الانخفاض في المقاومة (كنسبة من مقاومة العينة CB3 عند قيمة الانتقال $1.2\Delta_y$ من حلقات التحميل التصاعدي) للعينات B1, B2, B3 على التوالي حوالي (5.53, 12.7, 19.3) % بفارق أكبر بين العينتين B1 و B2 يقدر بـ 7.17% عن الفارق بين B2 و B3 والذي يقدر بـ 6.6%. أما عند قيمة الانتقال $1.5\Delta_y$ فقد كان الانخفاض للعينات B1, B2, B3 على التوالي حوالي (5.53, 12.97, 19.5) % بفارق أكبر بين العينتين B1 و B2 يقدر بـ 7.47% عن الفارق بين B2 و B3 والذي يقدر بـ 6.53%. يتبين أيضاً من خلال الحلقات الهستيرية أن نسبة الطول إلى الارتفاع لم يكن لها تأثير واضح على ظاهرة التصيق الحلقي، أو قيم الانتقالات المتبقية التي لم تتجاوز نسب الاختلاف فيها 4%.

الشكل (11): تأثير النسبة l_n/h على منحنيات السلوك الهستيرتي لجوائز الربط

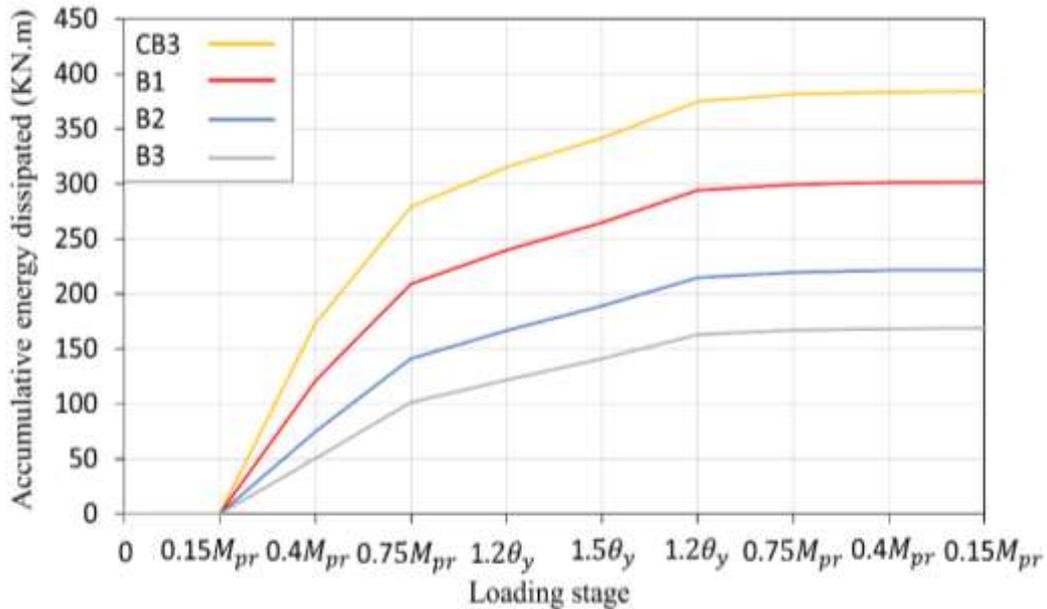
تم أيضاً رصد قيمة التناول المحوري للعينات المدروسة منسوبة إلى الطول ورسم علاقتها مع الانتقال، حيث تمت مقارنة الجوائز الثلاث المدروسة مع العينة CB3 كما هو موضح في الشكل (12). يُلاحظ أن تغيير نسبة l_n/h لم يكن له تأثير مهم على منحنيات التناول المحوري - الانتقال، حيث أن أكبر فارق في القيم وذلك عند أعظم انتقال ($1.5 * \theta_y$) كان بقيمة 3.1% بين العينة CB3 والعينة B2، ويمكن ملاحظة الفروقات نفسها تقريباً عند الانتقال ($1.2 * \theta_y$)، أما حلقات التحميل الثلاثة الأولى فيلاحظ فيها تقارب كبير في القيم بفارق لا يتعدى 1%. تظهر المنحنيات أيضاً أن الشقوق في جميع العينات المدروسة تشكلت في المراحل التصاعديّة من التحميل ولم تتشكل أي شقوق جديدة في مراحل التحميل التنازلي وبقيت الشقوق القائمة تقريباً بنفس العرض.

الشكل (12): تأثير النسبة l_n/h على منحنيات التناول المحوري - الانتقال لجوائز الربط المدروسة

3-1 الطاقة المبددة التراكمية:

تم حساب الطاقة المبددة في كل حلقة من حلقات التحميل بالاعتماد على المساحة المغلقة لهذه الحلقة ثم جمعت هذه القيم للحصول على القيم التراكمية.

يبين الشكل (13) الطاقة التراكمية المبددة للعينات المختلفة عن بعضها بنسبة l_n/h . يُلاحظ أن القيمة المتبددة كانت شبه معدومة في أول مستوي تحميل للجوائز جميعها ثم ازدادت تدريجياً لتصل لأكبر قيمة في نهاية التحميل. كما توضح المنحنيات أن الطاقة المبددة التراكمية تتناقص مع زيادة نسبة الطول إلى الارتفاع، وأن الفروقات في الطاقة منسوبة للعينة CB3 هي 21، 42، 51% للعينات B1، B2، B3 على التوالي، حيث يُلاحظ أن الفرق الأكبر في الطاقة كان بين العينتين (CB3, B1) و(B1, B2)، بينما كان أقل بين العينتين (B2, B3).

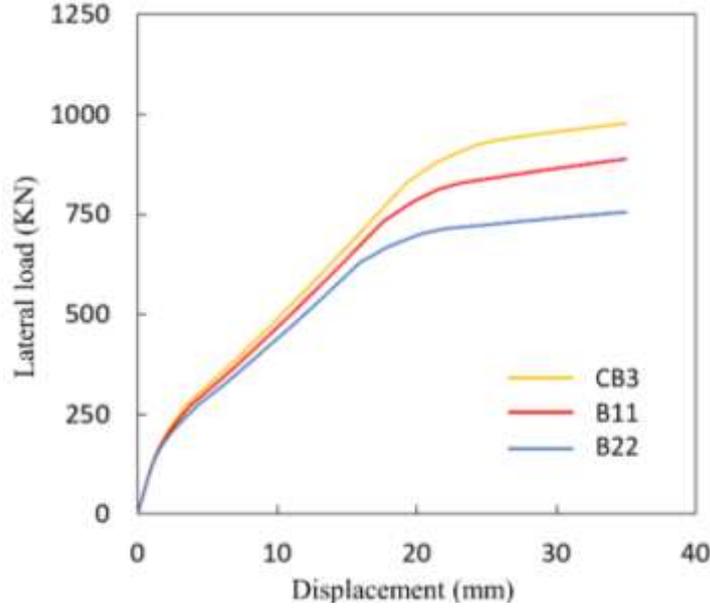


الشكل (13): تأثير النسبة l_n/h على الطاقة المبددة التراكمية

2- تأثير مقاومة خضوع فولاذ التسليح الطولي (f_y):

1-2 منحنيات التحميل الدفعي المتزايد (Pushover analysis):

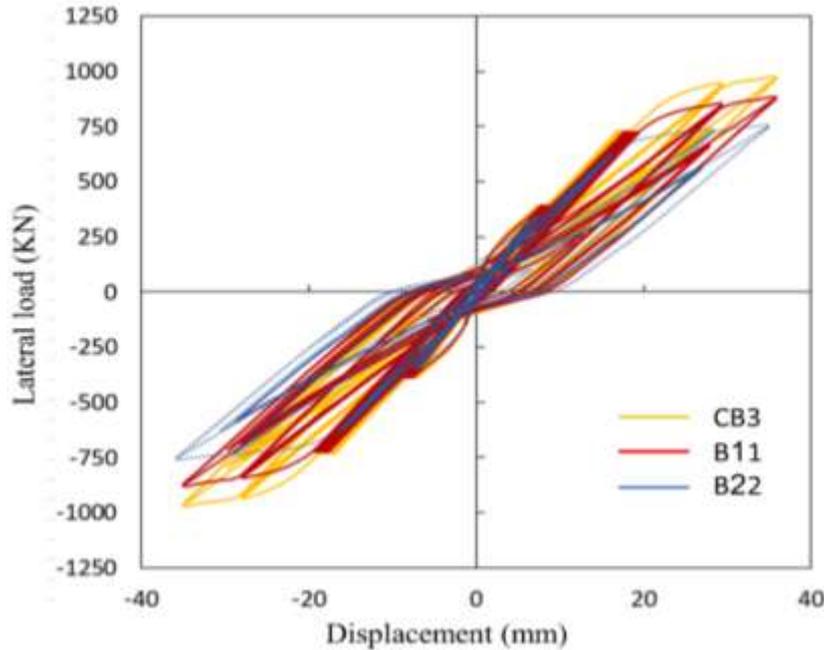
يوضح الشكل (14) تأثير مقاومة خضوع فولاذ التسليح الطولي على منحنيات قوة - انتقال للجوائز المدروسة. يُلاحظ أنه مع انخفاض f_y تتخضع مقاومة الجوائز بشكل واضح، حيث كانت المقاومة الأعظمية للعينات الثلاثة CB3، B11، B22 هي (977, 888, 755) KN على التوالي بفارق 9% بين B11، B22 ليصل الى 15% تقريبا بين B11، B22.



الشكل (14): تأثير f_y على منحنيات التحميل التصاعدي لجوائز الربط

2-2 منحنيات السلوك الهستيري:

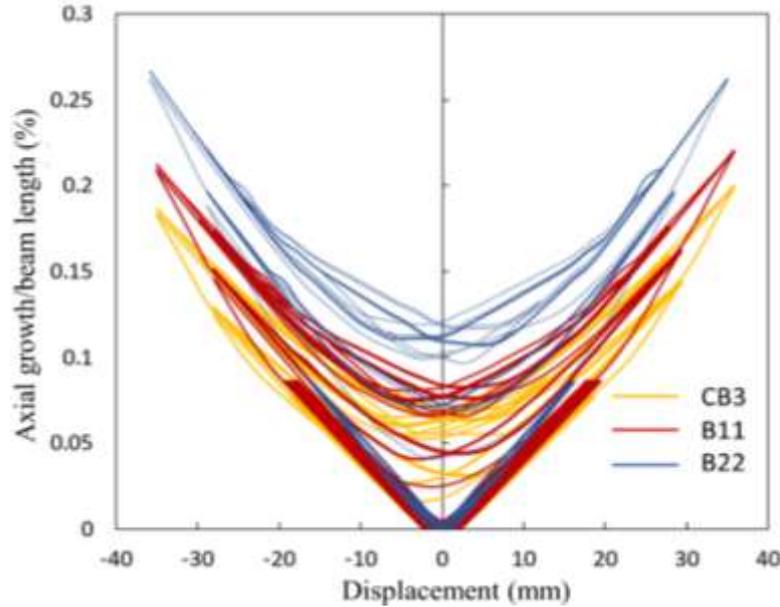
يبين الشكل (15) المنحنيات الهستيرية (قوة - انتقال) لجوائز الربط عند تغيير مقاومة الخضوع لفلود التسليح الطولي f_y . يُلاحظ أيضاً في حالة تحميل البروتوكول المحاكي لعاصفة رياح أن الاختلاف الأكبر كان في المقاومة، حيث كان الانخفاض في المقاومة كنسبة من مقاومة العينة CB3 عند قيمة الانتقال $1.2\Delta_y$ من حلقات التحميل التصاعدي للعينات B11, B22 على التوالي (23.2, 8.96) % بفارق أكبر بين العينتين B11 و B22 يقدر بـ 14.2%. أما عند قيمة الانتقال $1.5\Delta_y$ كان الانخفاض للعينات B11, B22 على التوالي (23.6, 10.63) % بفارق أكبر بين العينتين B11 و B22 يقدر بـ 13% تقريباً.



الشكل (15): تأثير f_y على منحنيات السلوك الهستيري لجوائز الربط

يتبين أيضاً من خلال المنحنيات الهستيرية أن اختلاف مقاومة الخضوع f_y لم يكن له تأثير واضح على ظاهرة التضيق الحلقي، أما الانتقالات المتبقية فكانت أكبر قيمة لها 9.049mm (0.004 Rad) وذلك للعينة B22 وهي تعتبر قيمة صغيرة وفقاً لـ [1] Abdullah et al. (2020).

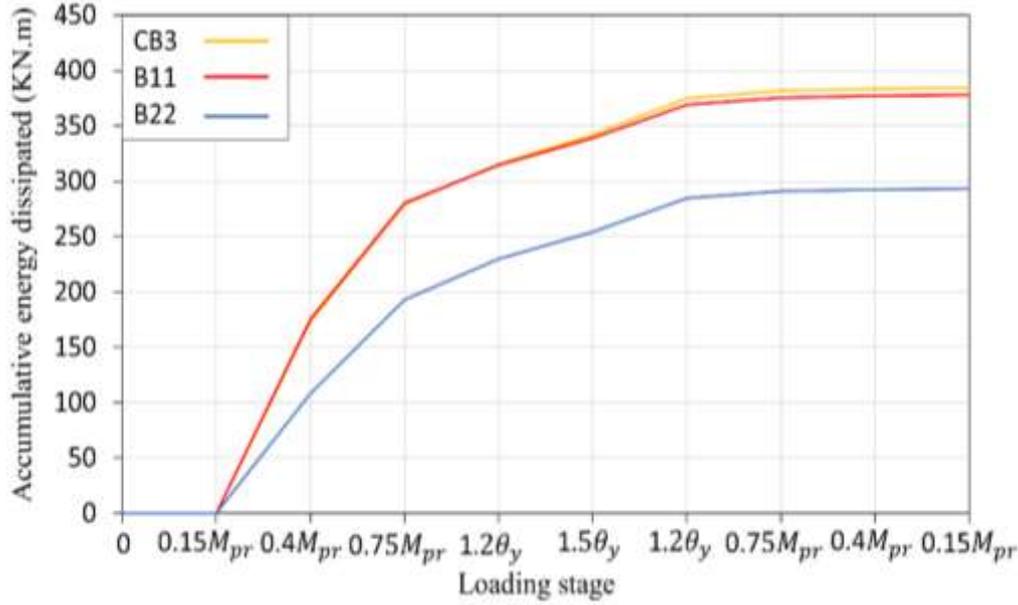
كذلك يوضح الشكل (16) علاقة التطاول المحوري (منسوباً إلى الطول) مع الانتقال للعينات المدروسة، إذ يُلاحظ زيادة التطاول بشكل بسيط عند انخفاض المقاومة f_y ، وكان الاختلاف الأكبر عند أعظم قيمة انتقال وبين العينتين B11 و B22 بمقدار 4.13%، أما في مراحل التحميل الثلاثة الأولى فلم يتجاوز هذا الاختلاف 1%. تُظهر المنحنيات أيضاً أن الشقوق في جميع العينات المدروسة تشكلت في المراحل التصاعدية من التحميل ولم تتشكل أي شقوق جديدة في مراحل التحميل التنازلي كما هو في حالة البارامتر نسبة الطول إلى الارتفاع.



الشكل (16): تأثير f_y على منحنيات التطاول المحوري - الانتقال لجوائز الربط المدروسة

3-2 الطاقة المبددة التراكمية:

يمكن الملاحظة من الشكل (17) الذي يبين تأثير مقاومة الخضوع للفلواز الطولي f_y على الطاقة المبددة التراكمية، أن نتائج العينتين CB3 و B11 كانت متقاربة بشكل كبير مع انخفاض بسيط في القيم في المراحل الثلاثة الأخيرة حيث لم تتعدى نسبة الاختلاف في المرحلة الأخيرة من التحميل الـ 2%. بينما شهدت الطاقة انخفاضاً واضحاً في العينة B22 حيث وصل الاختلاف بين العينتين B11 و B22 في مرحلة التحميل الأخيرة إلى ما يقارب 12%.

الشكل (17): تأثير f_y على الطاقة المبذوبة التراكمية

الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذه الدراسة استخدام النموذج المعايير مسبقاً SMF لإجراء الدراسة البارامترية حيث تضمنت البارامترات المدروسة تأثير نسبة الطول إلى الارتفاع، ومقاومة خضوع فولاذ التسليح الطولي. يمكن تلخيص النتائج التي تم الحصول عليها في هذا البحث وأهم التوصيات المقترحة كما يلي:

- 1 - تؤثر نسبة الطول إلى الارتفاع لجوائز الربط المسلحة بتسليح عادي والمحملة بحمولة رياح على المقاومة والطاقة المبذوبة التراكمية. أما بالنسبة للتضييق الحلقي والانتقالات المتبقية وكذلك التطاول المحوري فلم يُلاحظ تأثير واضح للبارامتر الأول على هذه الخصائص.
- 2 - كان لمقاومة خضوع فولاذ التسليح الطولي أثر واضح على المقاومة حيث وصل الاختلاف بقيمتها إلى 15% تقريباً. أما بالنسبة للطاقة المبذوبة التراكمية فقد شهدت العينة B22 ذات مقاومة خضوع 360MPa الانخفاض الأكبر حيث وصل الفارق عن العينة B11 إلى 22% في مرحلة التحميل الأخيرة. أما الصلابة والتضييق الحلقي وكذلك التطاول المحوري فلم يكن هناك اختلاف واضح لهذه الخصائص عند تغيير هذا البارامتر.
- 3 - نوصي بإيجاد طريقة ملائمة لتطبيق بروتوكول التحميل الكامل للرياح تحليلياً، مما يسمح بعدها باستكمال دراسة زلزالية لجوائز الربط المعتمدة في هذا البحث.
- 4 - نوصي بإعادة إجراء العمل باستخدام برامج تحليلية أخرى ومقارنة النتائج.

References:

- 1- Abdullah S, Aswegan K, Jaberansari S, Klemencic R, Wallace J. *Performance of reinforced concrete coupling beams subjected to simulated wind loading*. ACI Structural Journal. 2020;117(3):283–95.
- 2- Li G, Sun F, Pang M, Liu W, Wang H. *Structural shear wall systems with metal energy dissipation mechanism*. *International Journal of High-Rise Buildings*. 2016;5(3):195–203.
- 3- Naish D, Fry A, Klemencic R, Wallace J. *Reinforced concrete coupling beams—part I: Testing*. ACI Structural Journal. 2013;110(06):1057–66.
- 4- Kwan AK, Zhao Z-Z. *Cyclic behaviour of deep reinforced concrete coupling beams*. *Structures & Buildings*. 2002;152(3):283–93.
- 5- Mazzoni, S, et al. *OpenSees command language manual*. 2006; Berkeley: University of California.
- 6- Kent DC, Park R. *Flexural members with confined concrete*. *Journal of the Structural Division*. 1971;97(7):1969–90.
- 7- Mander JB, Priestley MJ, Park R. *Theoretical stress- strain model for confined concrete*. *Journal of Structural Engineering*. 1988;114(8):1804–26.
- 8- Ding R, Tao M-X, Nie J-G, Mo YL. *Shear deformation and sliding-based fiber beam-column model for seismic analysis of reinforced concrete coupling beams*. *Journal of Structural Engineering*. 2016;142(7).
- 9- Huan L, Ke D, jing-jiang S, Bao-rong D. *Hysteretic shear and analysis models for reinforced concrete coupling beams with small span-to-depth ratios*. *Engineering Mechanics*. 2018;35(9):161–79.
- 10- Nabilah AB, Koh CG. *Experimental study of intermediate length coupling beams subjected to monotonic load*. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2017;21(7):2807–13.
- 11- Sharifi A, Banan MR, Banan MR. *A macro-method for including bond-slip flexibility within fibre element formulation for simulating hysteretic behaviour of RC Beam-Column members*. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. 2020;44(2):631–43.
- 12- Priestley MJN, Calvi GM, and Kowalsky MJ. *Displacement-based Seismic Design of Structures*. 2007; IUSS Press.
- 13- Du béton F. *Bond of Reinforcement in Concrete: State-of-the-art report*. 2000; International Federation for Structural Concrete.