

## Effect Of Prying Forces And Contact Stresses On Steel Joint Components Subjected To Tension"

Dr. Samer Sahelli\*

(Received 17 / 10 / 2024. Accepted 4 / 12 / 2024)

### □ ABSTRACT □

Hanger connections are important steel connections in which bolts and/or welding are used to connect steel plates together. They are similar, according to many references, to what is called the Equivalent T-stub. they are found in most connections, for example, connections using partial end plates. Like other types of connections, they are subjected to different types of forces and stresses in their components depending on the design forces transmitted between the connected elements. One of the main challenges when transferring tensile forces in these connections is the emergence of lifting or prying forces that negatively affect the bolts by increasing the contact stresses between the connected plates, which may lead to deformation of the plates near the bolts. These deformations, whether in the form of bending or rotation, may cause increasing the design axial loads of the bolts, affecting the strength of the connection and increasing the risk of premature failure. In this research paper, the differences in the methods of calculating additional tensile forces (prying forces) and their results according to some references will be highlighted, in addition to helping in understanding how they develop and the effect of the most important factors on them, such as the thickness of the front plate, the diameters of the bolts, bolts grade, and the way they are distributed (the spacing between them) through comparison with a parametric analytical study using the component-based finite element method (CBFEM) for a beam-column with partial end plate bolted connection.

**Keywords:** Steel hanger connections, Equivalent T-stub, Prying forces, Contact stresses.

**Copyright**



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

---

\* Assistant Professor- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University- Latakia-Syria.

## تأثير قوى الرفع (الانفلاق) وإجهادات الاحتكاك في مكونات الوصلات المعدنية المعرضة للشد\*

د. سامر ساحلي\*

تاريخ الإيداع 17 / 10 / 2024. قُبِلَ للنشر في 4 / 12 / 2024

### □ ملخص □

تُعد وصلات التعليق (Hanger connections) من الوصلات الفولاذية الهامة تستخدم فيها البراغي و/أو اللحام لوصل الصفائح أو العناصر المعدنية مع بعضها، وهي مشابهة حسب العديد من المراجع لما يُسمّى بجذر T المكافئ (Equivalent T-stub)، حيث توجد في معظم الوصلات، على سبيل المثال الوصلات باستخدام الصفائح الجبهية المنقوصة (قليلة الارتفاع) وهي، كغيرها من أنواع الوصلات الأخرى، عرضة لنشوء وتطور مختلف أنواع القوى والإجهادات في مكونات الوصلة المختلفة تبعاً للقوى التصميمية المنقولة من خلالها بين العناصر المتصلة. من التحديات الرئيسية عند نقل القوى الشادة في هذه الوصلات نشوء قوى الرفع أو الانفلاق (Prying forces) التي تؤثر سلباً على البراغي من خلال زيادة الإجهادات الاحتكاكية بين الصفائح المتصلة، مما قد يؤدي إلى تشوه الصفائح قرب البراغي. هذه التشوهات، سواء كانت على شكل انحناء أو دوران، قد تتسبب في إجهادات زائدة تتجاوز الأحمال المحورية التصميمية للبراغي، مما يؤثر على متانة الوصلة ويزيد من خطر الفشل المبكر في مكونات الوصلة (الصفحة الموصولة و/أو براغي الوصل).

في هذه الورقة البحثية سيتم تسليط الضوء على الاختلافات في طرق حساب قوى الشد الإضافية (قوى الرفع) ونتائجها وفقاً لبعض المراجع بالإضافة إلى المساعدة في فهم كيفية تطورها وتأثير أهم العوامل عليها مثل سماكة الصفحة الجبهية، أقطار البراغي المثبتة، أصنافها، وطريقة توزيعها (التباعدات بينها) من خلال المقارنة مع دراسة تحليلية بارامترية بطريقة العناصر المنتهية المعتمدة على طريقة المكونات (CBFEM) لنموذج وصلة جاذز-عمود باستخدام صفحة جبهية منقوصة مع البراغي.

الكلمات المفتاحية: وصلات التعليق المعدنية، جذر T المكافئ، قوى الرفع والانفلاق، إجهادات الاحتكاك

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



CC BY-NC-SA 04

## مقدمة:

تأثير قوى الرفع (Prying forces) هو ظاهرة تحدث في وصلات البراغي المعدنية، حيث يؤدي تشوه مكونات الوصلة المعدنية تحت تأثير قوة الشد المطبقة إلى زيادة قوة الشد في البراغي عن القيمة التصميمية الناتجة عن قوة الشد وحدها. رغم أن تأثير قوى الرفع يتعلق بتصميم البراغي، إلا أنه يعتمد في المقام الأول على قوة وصلابة العناصر الموصولة ووسائل الوصل (البراغي) وطريقة توزيعها.

تناولت الكودات العالمية، ومنها على سبيل المثال الكود الأمريكي بنسخته الثالثة والرابعة عشرة [1,2] AISC موضوع تأثير قوى الرفع، حيث يتضمن التصميم الخاص بها اختيار قطر البراغي وسماكة العناصر الموصولة، بحيث تكون هناك مقاومة كافية في كليهما. تم في المناقشة المذكورة في النسخة الرابعة عشرة [1]، والخاصة بإجراءات التحقق من تأثير قوى الرفع، استخدام صيغ وأساليب مشابهة لما تم النظر فيه في الإصدار الثالث عشر من دليل البناء الفولاذي [2] AISC، باستثناء أن التصميم يعتمد على مقاومة الشد القصوى  $F_u$ ، والذي يوفر ارتباطاً أفضل مع بيانات الاختبار المتاحة مقارنة بطرق التصميم السابقة. تطوير معادلات تأثير الرفع المقدمة في [1]، يعتمد بشكل رئيسي على دراسات سابقة [3]، Thornton (1992)، [4]، Swanson (2002).

في وصلات التعليق باستخدام البراغي للمقطع (T)، أو المقطع (L) كما هو موضح في الشكل (1)، من المفترض أن يكون تشوه الجناح الموصول للمقطع (T)، أو الساق المتصلة لمقطع الزاوية (L) على شكل انحناء مزدوج، كما هو موضح في الشكل (1). حيث يحدد البعد  $p$  طول التأثير التابع لكل برغي موضح، وقد يكون هذا الطول محدوداً بحافة الصفيحة بالنسبة للبرغي الأقرب إلى الحافة (البرغي الطرفي). وفقاً للكود المذكور، يتم تحديد السماكة المطلوبة للحد من تأثير قوى الرفع الإضافية،  $t_{min}$ ، بالعلاقة التالية:

$$t_{min} = \sqrt{\frac{4Tb'}{\phi p F_u}} \quad (1)$$

حيث:

$T$  - المقاومة المطلوبة لكل برغي بوحدة Kips،  $F_u$  - مقاومة الشد القصوى لأضعف العناصر المعدنية الموصولة بوحدة Ksi،  $b'$  - تعطى بالعلاقة (2):

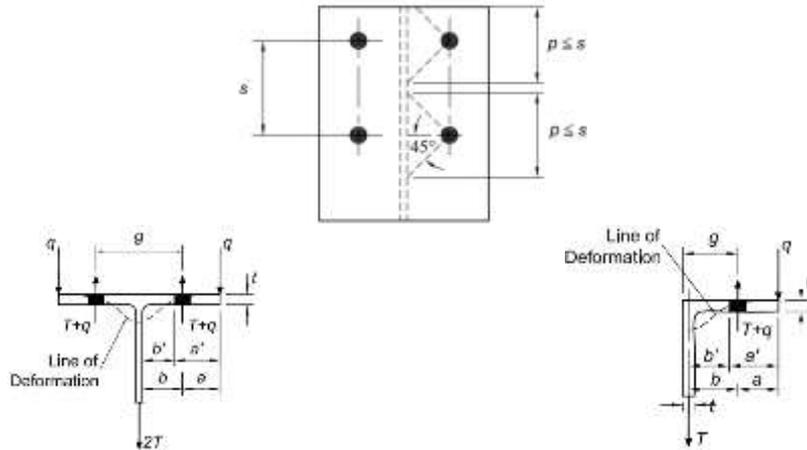
$$b' = b - \frac{d_b}{2} \quad (2)$$

$d_b$  - قطر البرغي بوحدة in،  $p$  - طول التأثير التابع لكل برغي ويؤخذ ضمن المجال  $2s \leq p \leq 2b$ ، حيث  $s$  هي التباعد بين البراغي بوحدة in، كما هو موضح في الشكل (1).

عندما تكون سماكة العناصر المتصلة،  $t$ ، أكبر من أو يساوي  $t_{min}$ ، فلا يلزم إجراء تحقيق إضافي لتأثير قوى الرفع. وعندها تكون القوة الإضافية في البرغي بسبب الرفع،  $q$ ، معدومة بشكل أساسي. وفي حال عدم تحقق هذا الشرط (استخدام سماكة أقل من  $t_{min}$ )، فيجب إتباع خطوات حسابية وتكرارية خاصة للتحقق من التأثير المحتمل.

يُعالج الكود الأوروبي (EC3) EN 1993-1-8 [5]، والبريطاني BS 5950-1-1990 [6]، والسوري لاحقاً [7] 2020، موضوع تحقيقات تأثير قوى الرفع الإضافية في وصلات البراغي المشدودة من خلال تحقيقات لجذر T المكافئ (Equivalent T-stub)، انظر الشكل (2)، الذي يعتمد التحقق من ثلاثة أنماط انهيار محتملة وهي: التلدن الكامل للصفحة الموصولة، انقطاع البراغي المشدودة مع تلدن الصفحة، وانقطاع البراغي المشدودة بمفردها. يبين

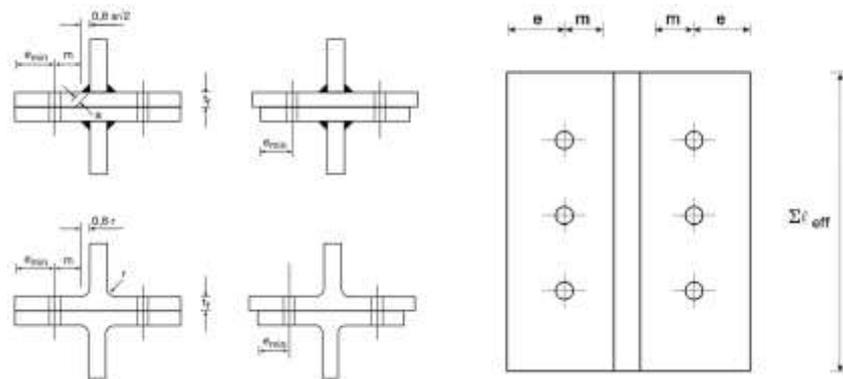
الجدول (1)، مجموعة العلاقات اللازمة لتحقيقات لجذر T المكافئ (Equivalent T-stub) وفق الكود الأوروبي حيث يمكن الرجوع إليه من أجل المزيد من التفاصيل. كما أنه يتم تحقيق قدرة البراغي المعرضة للشد الصافي أو للشد المترافق مع القوى القاصة من خلال إدراج عوامل تخفيض معينة لقيم المقاومات التصميمية للبراغي المشدودة في الوصلات، العلاقات (3) و (4)، تأخذ عوامل التخفيض هذه مجمل التأثيرات الإضافية الناتجة عن تطبيق القوى الشادة بعين الاعتبار، وهو أسلوب مشابه لدراسة تأثير ظاهرة التأخر القصي الناتج عن وصل أجزاء محددة من مقاطع العناصر [8].



قوى الرفع الإضافية في المقطع (T)

قوى الرفع الإضافية في المقطع (L)

الشكل (1) - توضيح المتغيرات المستخدمة في حسابات قوى الرفع الإضافية وفقاً للكود الأمريكي [1]



الشكل (2) - أبعاد جذر T المكافئ (Equivalent T-stub)، وفقاً لـ [5]

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd} = \frac{k_2 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (3)$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (4)$$

حيث:

القوى الشادة والقاصة المطبقة على البرغي،  $F_{t,Ed}$ ،  $F_{v,Ed}$  - القوى الشادة والقاصة المطبقة على البرغي،  $F_{t,Rd}$ ،  $F_{v,Rd}$  - المقاومات التصميمية للبرغي على الشد والقص،  $k_2$  - عامل تخفيض يؤخذ مساوياً 0.63 في حالة البراغي الغاطسة، أو 0.9 لباقي الحالات،  $A_s$  - مساحة المقطع المجهد للبرغي (مساحة مقطع البرغي عند الجزء المحلزن)،  $f_{ub}$  - مقاومة الشد القصوى للبرغي.

الجدول (1) - العلاقات الخاصة بتحقيقات الجذر T المكافئ (Equivalent T-stub) وفقاً لـ [5]

	Prying forces may develop, i.e. $L_b \leq L_b^*$		No prying forces
<b>Mode 1</b>	Method 1	Method 2 (alternative method)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
without backing plates	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
with backing plates	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
<b>Mode 2</b>	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m+n}$		
<b>Mode 3</b>	$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$		

يعتبر الكود الهندي [9]، IS 800 (2007) أنه عندما تكون قوة الرفع  $Q$ ، كما هو موضح في الشكل (3)، كبيرة فيجب حسابها على النحو الموضح في العلاقة (5) وإضافتها إلى قوة الشد التصميمية المطبقة في البرغي.

$$Q = \frac{l_v}{2l_c} \left[ T_e - \frac{\beta \eta f_0 b_e t^4}{27l_e l_v^2} \right] \quad (5)$$

حيث:

$l_v$  - المسافة من محور البرغي إلى طرف اللحام المثلي أو إلى منتصف الاستدارة في حالة المقاطع المدرفلة  
 $l_c$  - المسافة بين قوة الرفع ومحور البرغي، وتؤخذ وفق العلاقة (6):

$$l_c = \min \left\{ 1.1t \sqrt{\frac{\beta f_0 e}{f_y}} \right. \quad (6)$$

$e$  - المسافة بين محور البرغي الطرفي وحافة الصفيحة،  $\beta$  - معامل يؤخذ مساوياً 2 في حالة البراغي مسبقة الشد، أو 1 من أجل البراغي مسبقة الشد،  $\eta$  - معامل يساوي 1.5،  $b_e$  - العرض الفعال للجناح الموصول (الصفيحة) لكل زوج من البراغي،  $f_0$  - إجهاد الخضوع الاصطلاحي للبرغي (Proof stress)، ويؤخذ مساوياً لـ:  $0.7f_{ub}$ ،  $t$  - سماكة الجناح الموصول أو صفيحة النهاية الموصولة.



يُمكن حساب قوة الرفع الإضافية  $Q$ ، وفقاً للدراسة المذكورة باستخدام مجموعة العلاقات التالية:

$$Q = \left[ \frac{3J\alpha^2\beta - K}{J(2 - 3\alpha^2 + \alpha^3)} \right] T$$

$$L = \frac{G - (2r + t_w)}{2}$$

$$\alpha = \frac{a}{L}, \beta = \frac{b}{L}, K = \frac{L_b}{E_b A_b}$$

$$J = \frac{L^3}{6EI}, I = \frac{W t_f^3}{12}$$
(7)

حيث:

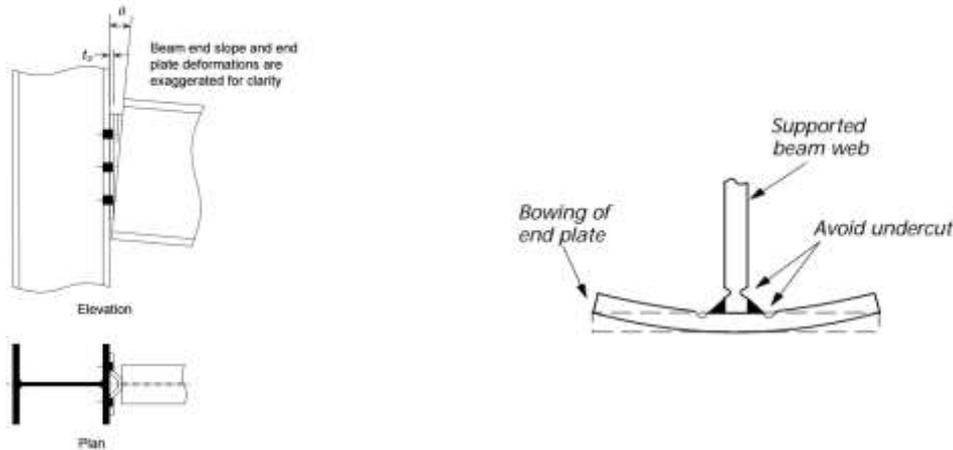
$T$  - قوة الشد الصافية المطبقة في البرغي الواحد،  $L_b$  - طول قبضة البرغي (Bolt grip length)، وتساوي على الأقل مجموع سماكات العناصر التي يمرّ منها البرغي،  $E_b$  - معامل المرونة لفولاذ البرغي،  $A_b$  - مساحة المقطع العرضي للبرغي.

### التحليل باستخدام طريقة CBFEM

لغرض المقارنة، وسعيًا لفهم تأثيرات أهم العوامل على تطوّر ونشوء قوى الرفع الإضافية في البراغي المشدودة وزيادة إجهادات الاحتكاك (الدبس) بين الصفائح المتصلة، فإنّه سيتم إجراء دراسة تحليلية باستخدام طريقة العناصر المنتهية بالاعتماد على طريقة المكونات (CBFEM) المتوفرة في برنامج [11] IDEA STATICA CONNECTION لتبيان تأثير العوامل المذكورة.

### مكونات الوصلة وبارامترات الدراسة

تمّ اختيار نموذج لوصلة جوائز-عمود (من النماذج الشائعة الاستخدام) باستخدام صفيحة نهاية جبهية منقوصة، كونها تمثّل وصلة مفصلية قابلة للدوران عند تعرّضها للقوى الشاذة المحورية و/أو القوى القاصّة المنقولة من الجائز إلى جناح العمود الساند، الأمر الذي يعرّض صفيحة النهاية المستخدمة مع براغي الوصل لقوى وإجهادات انفلاق أو رفع تسبب انحناء الصفيحة وفق السلوك المبين في الشكل (5)، بحسب [12,13].



الشكل (5) - سلوك وصلة جوائز-عمود باستخدام صفيحة نهاية جبهية منقوصة

(Partial Depth End Plate Connection)، [12,13].

أستخدِم المقطع العرضي HEB500 للعمود الحامل للجائز نو المقطع العرضي IPE400. يتصل الجائز بجناح العمود بواسطة صفيحة نهاية جبهية أبعادها  $160 \times 180 \times 8$ ، صنف الفولاذ المستخدم لجميع المكونات S275.

استخدم اللحام المثلاثي (الزاوي) ذو سماكة اختراق  $a_w = 5.6 \text{ mm}$  لوصل الصفيحة بجسد الجائز، في حين استخدمت أربعة براغي لتأمين الاتصال بين الصفيحة وجناح العمود. تم تقسيم العناصر الإنشائية في الوصلة المدروسة إلى عناصر صغيرة (Mesh of finite elements) بأحجام تتراوح بين (10-50 mm). وبالنسبة للشروط الطرفية، فقد تم تقييد طرفي العمود بشكل كامل باعتباره العنصر الساند، في حين حُرر الجائز وفق درجات الحرية الثلاث ( $N, M_y, V_z$ ) عند نهايته الحرة كما يظهر في الشكل (6).



الشكل (6) - النموذج المدروس لوصلة جائز-عمود باستخدام صفيحة نهاية جبهية منقوصة باستخدام طريقة العناصر المنتهية موضحاً عليه الشروط الطرفية المعتمدة

#### بارامترات الدراسة العددية

تم التركيز في هذه الدراسة على تأثير العوامل والبارامترات المبينة في الجدول (2)، وطُبقت قوة شادة محورية ثابتة شدتها  $N_{Ed} = 90 \text{ kN}$  على جيزان الوصلات المدروسة (25 نموذج).

الجدول (2) - العوامل المؤثرة على قوى وإجهادات الرفع (الانفلاق) ومنهجية الدراسة

N.	Plate thickness [mm]	Bolt Dia. [mm]	Bolt grade	End space* e [mm]	N.	Plate thickness [mm]	Bolt Dia. [mm]	Bolt grade	End space* e [mm]
تأثير سماكة صفيحة النهاية					تأثير قطر البراغي				
1	8.00	M12	4.6	50	7	8.00	M12	4.6	50
2	10.00	M12	4.6	50	8	8.00	M14	4.6	50
3	12.00	M12	4.6	50	9	8.00	M16	4.6	50
4	14.00	M12	4.6	50	10	8.00	M18	4.6	50
5	16.00	M12	4.6	50	11	8.00	M20	4.6	50
6	18.00	M12	4.6	50	12	8.00	M22	4.6	50
تأثير صنف البراغي					تأثير توزيع (تباعات) البراغي				
13	8.00	M12	4.6	50	20	8.00	M12	4.6	50
14	8.00	M 12	4.8	50	21	8.00	M12	4.6	45
15	8.00	M 12	5.6	50	22	8.00	M12	4.6	40
16	8.00	M 12	5.8	50	23	8.00	M12	4.6	35
17	8.00	M 12	6.8	50	24	8.00	M12	4.6	30
18	8.00	M 12	8.8	50	25	8.00	M12	4.6	25
19	8.00	M 12	10.9	50					

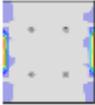
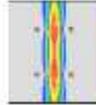
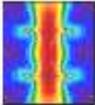
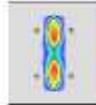
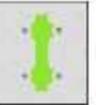
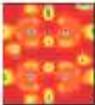
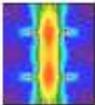
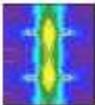
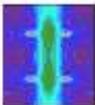
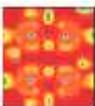
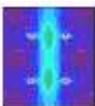
\* End space is defined from bolt centerline to the edge of the plate

## نتائج التحليل

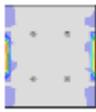
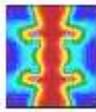
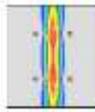
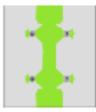
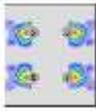
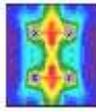
تبيّن الصور الإيضاحية في الجدول (3) والجداول (4,5,6) تغيّر وتوزع إجهادات الاحتكاك بين الصفيحة وجناح العمود، الإجهادات المكافئة، التشوهات اللدنة، والتشوهات المكافئة اللدنة في صفيحة النهاية لجميع الوصلات المدروسة حسب تغيّر سماكة صفيحة النهاية، أقطار البراغي، صنف البراغي والتباعدات بينها على التوالي. خلافاً للجدول (3)، الذي يبين التغيرات في نتائج جميع الوصلات تبعاً لتغيّر سماكة صفيحة النهاية لما له من أهمية واضحة في تجنب تأثير قوى الشد الإضافية، حيث تمّ التركيز عليه في الكود الأمريكي كخطوة أولى في تحقيقات قوى الرفع الإضافية في براغي الوصلة، فقد تمّ في الجداول (4,5,6) الاكتفاء بعرض حالتين فقط لجميع الوصلات تمثلان بداية ونهاية كل مجال من البارامترات المؤثرة.

كما تبيّن الأشكال (7,8,9) على التوالي تأثيرات البارامترات الأربعة (سماكة صفيحة النهاية، أقطار البراغي، صنف البراغي والتباعدات بينها) على إجهادات الاحتكاك، الإجهادات المكافئة، والتشوهات اللدنة لجميع الوصلات المدروسة. الجدول (3) - تغيّر وتوزع إجهادات الاحتكاك، الإجهادات المكافئة، التشوهات اللدنة، والتشوهات المكافئة اللدنة في صفيحة النهاية حسب

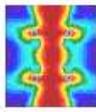
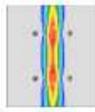
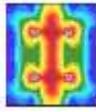
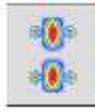
## تغيّر سماكة صفيحة النهاية

Con. N.	Parameter	Stress in Contacts $\sigma_{Ed}$	Equivalent Stress $\sigma_{Ed}$	Plastic Strain $\epsilon_{Pl}$	Equivalent plastic strain
CON-1	$t = 8 \text{ mm}$				
CON-2	$t = 10 \text{ mm}$				
CON-3	$t = 12 \text{ mm}$				
CON-4	$t = 14 \text{ mm}$				
CON-5	$t = 16 \text{ mm}$				
CON-6	$t = 18 \text{ mm}$				

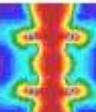
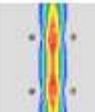
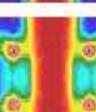
الجدول (4) - تغيير وتوزع إجهادات الاحتكاك، الإجهادات المكافئة، التشوهات اللدنة، والتشوهات المكافئة اللدنة في صفيحة النهاية حسب تغيير أقطار البراغي

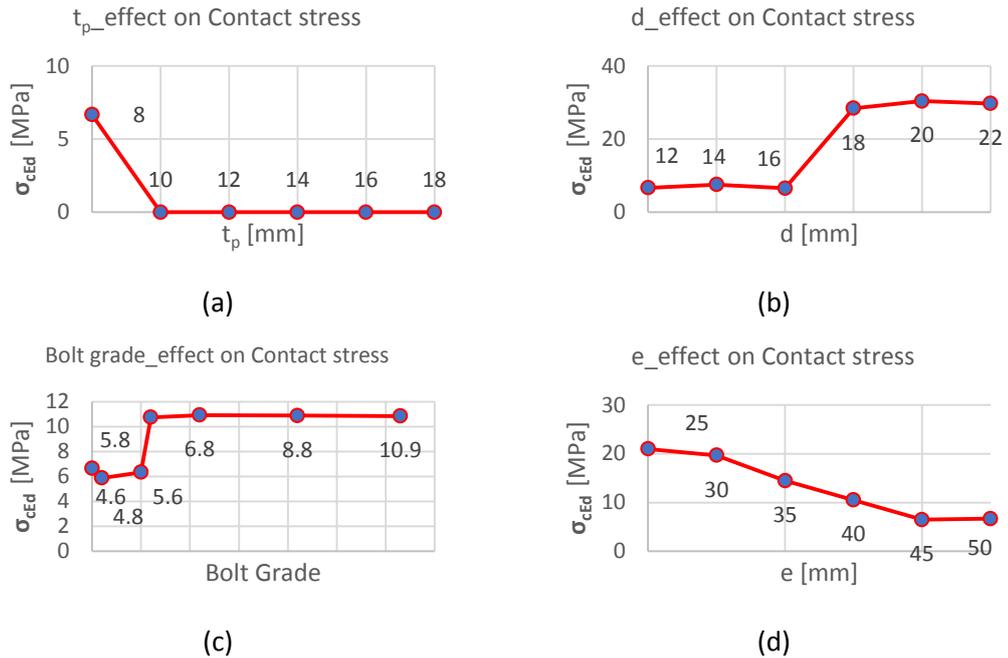
Con. N.	Parameter	Stress in Contacts $\sigma_{C_{Ed}}$	Equivalent Stress $\sigma_{Ed}$	Plastic Strain $\epsilon_{Pl}$	Equivalent plastic strain
CON-7	$d = 12 \text{ mm}$				
CON-12	$d = 22 \text{ mm}$				

الجدول (5) - تغيير وتوزع إجهادات الاحتكاك، الإجهادات المكافئة، التشوهات اللدنة، والتشوهات المكافئة اللدنة في صفيحة النهاية حسب تغيير صنف البراغي

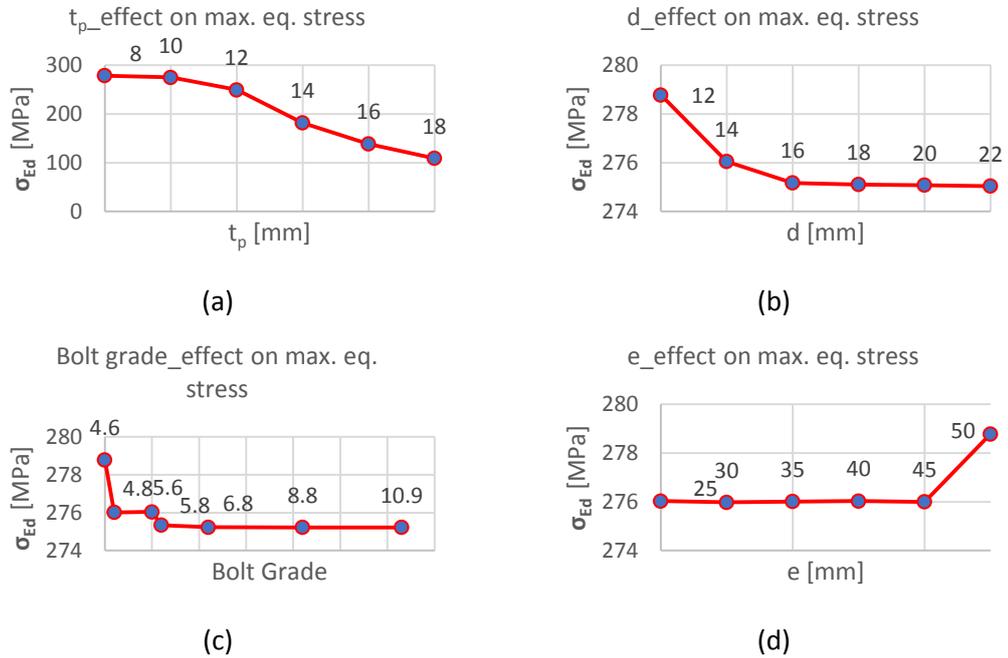
Con. N.	Parameter	Stress in Contacts $\sigma_{C_{Ed}}$	Equivalent Stress $\sigma_{Ed}$	Plastic Strain $\epsilon_{Pl}$	Equivalent plastic strain
CON-13	Bolt Grade 4.6				
CON-19	Bolt Grade 10.9				

الجدول (6) - تغيير وتوزع إجهادات الاحتكاك، الإجهادات المكافئة، التشوهات اللدنة، والتشوهات المكافئة اللدنة في صفيحة النهاية حسب تغيير توزيع وتباعدات البراغي

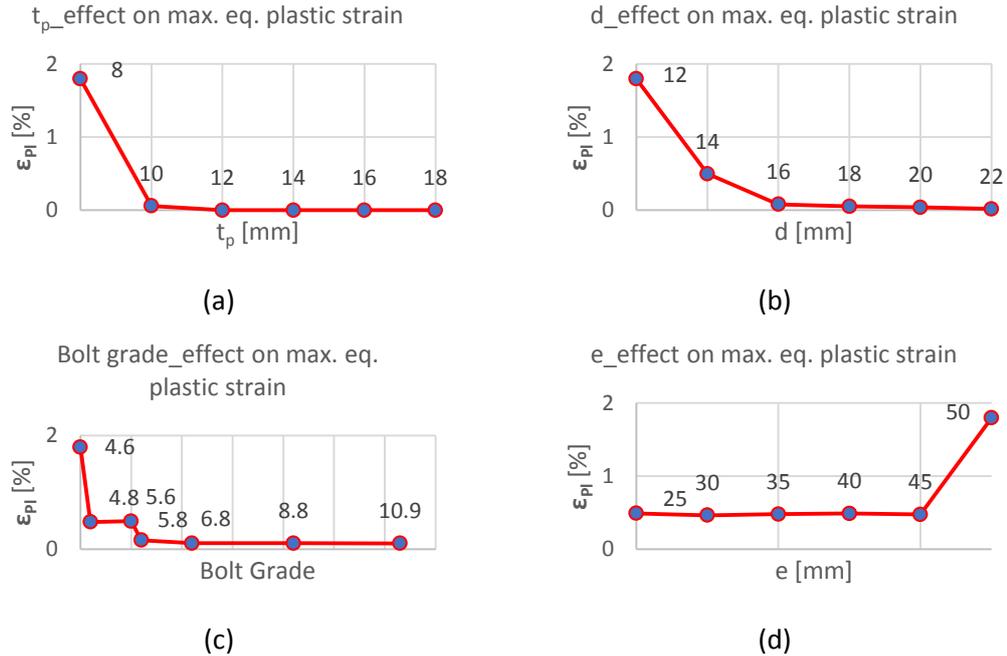
Con. N.	Parameter	Stress in Contacts $\sigma_{C_{Ed}}$	Equivalent Stress $\sigma_{Ed}$	Plastic Strain $\epsilon_{Pl}$	Equivalent plastic strain
CON-20	$e = 50 \text{ mm}$				
CON-25	$e = 25 \text{ mm}$				



الشكل (7) - تأثيرات سماكة صفيحة النهاية (a)، أقطار البراغي (b)، صنف البراغي (c) والتباعدات بينها (d) على إجهادات الاحتكاك



الشكل (8) - تأثيرات سماكة صفيحة النهاية (a)، أقطار البراغي (b)، صنف البراغي (c) والتباعدات بينها (d) على الإجهادات المكافئة



الشكل (9) - تأثيرات سماكة صفيحة النهاية (a)، أقطار البراغي (b)، صنف البراغي (c) والتباعدات بينها (d) على التشوهات المكافئة اللدنة

يُعرّف عامل قوة الرفع (Prying factor) بأنه قيمة عددية تستخدم في التحليل الإنشائي لتوضيح تأثير قوى الرفع في وصلات البراغي، ويؤخذ عادةً كنسبة الحمل (قوة الشد) الكلية في البراغي إلى قوة الشد المطبقة فيها، وتُعطى بالعلاقة:

$$F_p = \frac{F_{t,total}}{F_{t,Ed}} \quad (8)$$

يُظهر الشكل (10) تغيرات عامل قوة الرفع  $F_p$  حسب سماكة صفيحة النهاية، أقطار البراغي، صنف البراغي والتباعدات بينها على التوالي.

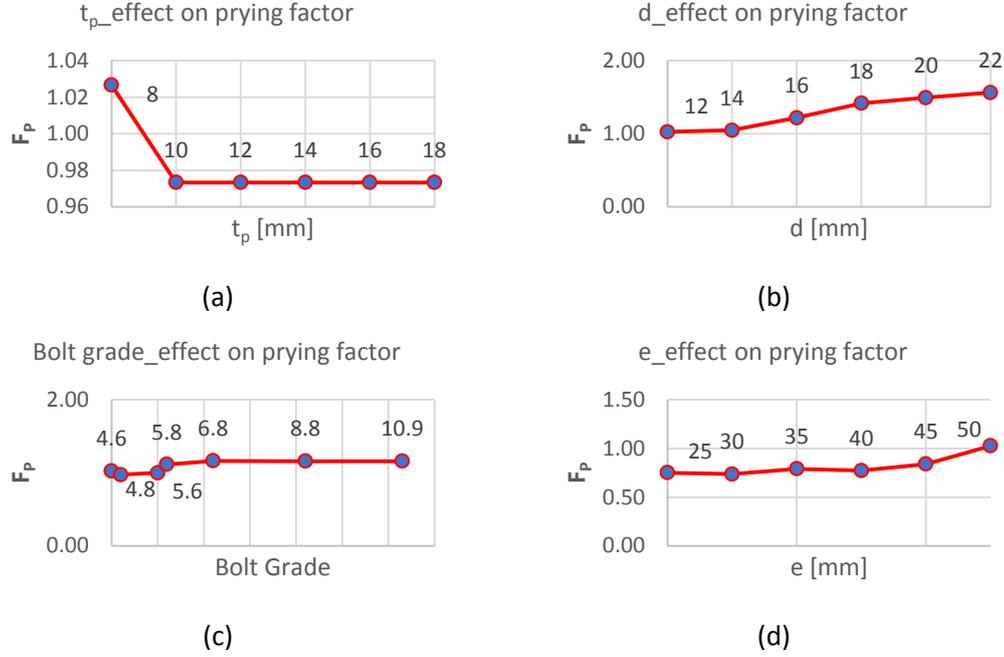
#### إيضاحات على النتائج بالمقارنة مع بعض الكودات والمراجع

نتيجةً للاختلافات في مدخلات العلاقات الواردة في المراجع المذكورة وبسبب تداخل تأثير العوامل المختلفة (سماكة الصفائح وصلاباتها، أقطار البراغي ومقاوماتها، توزيع البراغي وتباعداتها، أنواع الوصلات وحالات التحميل المختلفة المطبقة عليها..)، فإنه سيتم التركيز على مقارنة نتائج الدراسة التحليلية باستخدام طريقة (CBFEM) مع الطرق المتبعة في المراجع [1]، [9]، [10] فقط.

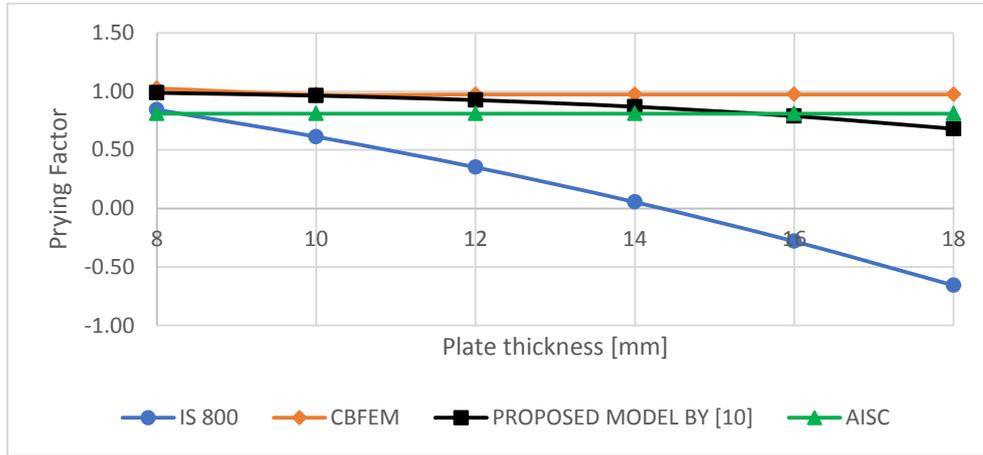
وفقاً للكود الأمريكي [1]، يتم تحديد السماكة المطلوبة للحد من تأثير قوى الرفع الإضافية،  $t_{min}$ ، بالعلاقة (1) والتي تعطي القيمة  $t_{min} = 8.6 \text{ mm}$ ، وهذا يوافق نتائج التحليل باستخدام طريقة (CBFEM)، انظر الجدول (3)، حيث ظهرت إجهادات الاحتكاك والقوى الشاذة الإضافية (قوى الرفع) في البراغي عند استخدام السماكة  $t = 8 \text{ mm}$  فقط، كونها أقل من السماكة المطلوبة والمحددة وفق العلاقة (1).

توضّح الأشكال (11)، (12) و(13) مقارنة قيم عامل قوة الرفع (Prying factor,  $F_p$ ) بالعلاقة مع بارامترات الدراسة (سماكة الصفيحة، أقطار البراغي، صنف البراغي وتباعداتها) على التوالي وفق التحليل باستخدام طريقة (CBFEM)، والكود الأمريكي [1] AISC والكود الهندي [9] IS 800 وكذلك وفق الموديل المقترح من قبل [10]،

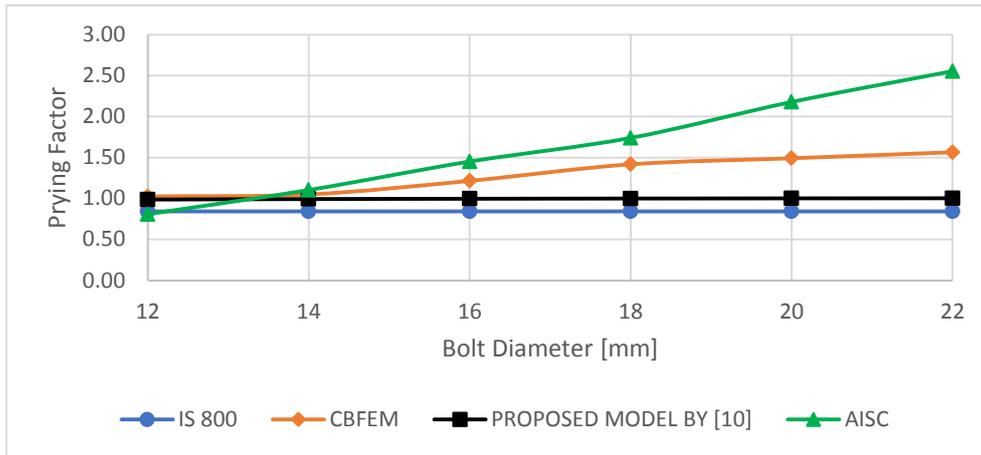
حيث يظهر بوضوح الاختلافات الكبيرة في النتائج لاسيما نتائج العلاقات المذكورة في الكودين الأمريكي والهندي التي يمكن أن تعطي قيماً مخفضة جداً لهذا العامل المهم إلى حد كبير وقد تعطي قيماً أصغر من الواحد وقيماً سالبة له، الأمر الذي يعني ليس فقط تخفيض تأثير قوى الرفع في البراغي بل يصل إلى تخفيض القوى الشاذة المطبقة في البراغي أصلاً.



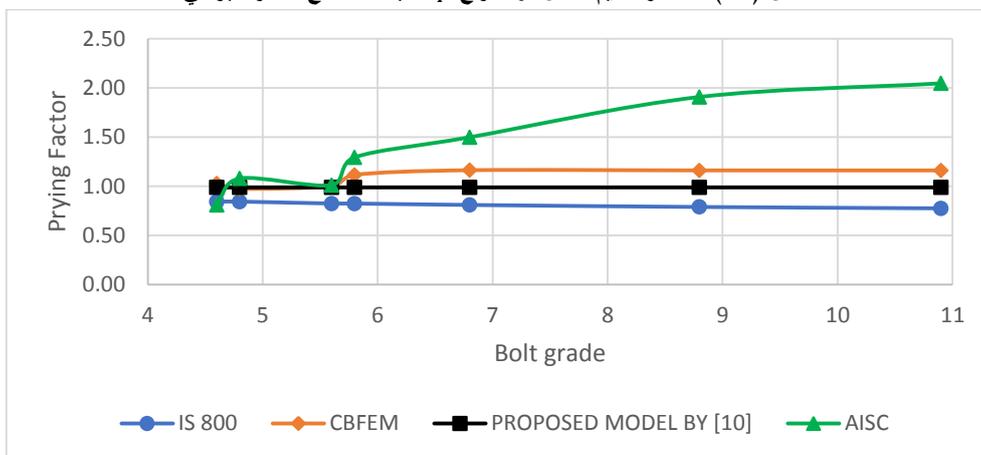
الشكل (10) - تأثيرات سماكة صفيحة النهاية (a)، أقطار البراغي (b)، صنف البراغي (c) والتباعدات بينها (d) على عامل قوة الرفع  $F_p$



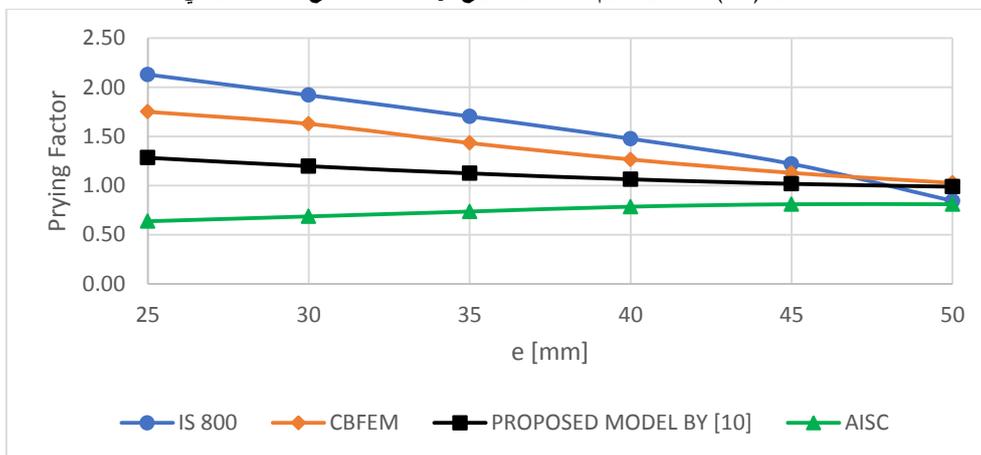
الشكل (11) - مقارنة قيم عامل قوة الرفع  $F_p$  بالعلاقة مع سماكة الصفيحة



الشكل (12) - مقارنة قيم عامل قوة الرفع  $F_p$  بالعلاقة مع أقطار البراغي



الشكل (13) - مقارنة قيم عامل قوة الرفع  $F_p$  بالعلاقة مع صنف البراغي



الشكل (14) - مقارنة قيم عامل قوة الرفع  $F_p$  بالعلاقة مع تباعدات البراغي

### الاستنتاجات والتوصيات:

تتعدم إجهادات الاحتكاك (إجهادات الضغط أو الدهس) بين صفيحة النهاية وجناح العمود عندما تكون سماكة الصفيحة كافية، حيث تظهر هذه الإجهادات عند أطراف الصفيحة وتزداد قيمتها، كما هو مبين في الجدول (3) والشكل (7,a)، عندما تقل سماكة صفيحة النهاية.

تلعب زيادة سماكة الصفيحة دوراً إيجابياً في تخفيض الاجهادات والتشوهات اللدنة المكافئة فيها، الشكلان (8,a) و (9,a) على التوالي. عندما تكون هذه السماكة كبيرة وكافية (في مثالنا  $t \geq 12 \text{ mm}$ )، فإن الصفيحة تحافظ على سلوكها المرن، حيث لا تصل الإجهادات فيها إلى حد الخضوع، وستكون التشوهات في الصفيحة ضمن المجال المرن فقط، انظر الجدول (3).

من خلال الشكل (10,a)، يظهر بوضوح الدور الإيجابي لزيادة سماكة الصفيحة في تقليل قيمة معامل قوة الرفع  $F_p$  إلى قيم أصغر من الواحد، أي تخفيض قيم القوى الشادة المؤثرة في براغي الوصل. عند زيادة أقطار براغي الوصل فإن مناطق التأثر بإجهادات الاحتكاك تنتقل من أطراف الصفيحة إلى محيط ثقب البراغي مع زيادة ملحوظة في قيم هذه الإجهادات، الشكل (7,b). في حين ومن الجدول (4) يتضح أنه تتحسر مناطق الإجهادات والتشوهات اللدنة المكافئة إلى وسط الصفيحة (منطقة اتصال الصفيحة مع جسد الجائز) وتتنخفض قيم هذه الإجهادات والتشوهات بزيادة الأقطار المستخدمة، الشكلان (8,b) و (9,b). ويبين الشكل (10,b) أن زيادة أقطار البراغي المستخدمة يؤثر سلباً على عامل قوة الرفع أي يؤدي إلى زيادة القوى الشادة المؤثرة في البراغي.

من خلال الشكل (7,c) نجد أنه مع زيادة صنف البراغي المستخدمة ستزداد قيم إجهادات الاحتكاك بشكل ملحوظ وتبقى هذه الإجهادات متركزة في أطراف الصفيحة حصراً، انظر الجدول (5)، كما يُظهر الشكلان (8,c) و (9,c) أيضاً انخفاض قيم الإجهادات والتشوهات اللدنة المكافئة على التوالي من أجل أصناف البراغي الأعلى. ومن الشكل (10,c)، نجد أنه كلما زاد صنف البراغي المستخدمة كلما زادت قيم القوى الشادة المؤثرة في البراغي. يؤثر توزيع البراغي بشكل ملحوظ على نتائج القيم المرصودة، حيث يؤدي تقليل التباعد بين البراغي الطرفي وحافة الصفيحة (البعد  $e$ ) إلى زيادة تركيز إجهادات الاحتكاك في أطراف الصفيحة حصراً، في حين تنخفض قيمة عامل قوة الرفع  $F_p$  وبالتالي القوى الشادة المؤثرة في البراغي مع تقليل البعد الطرفي المذكور، الشكل (10,d).

تشكل المفاصل اللدنة في الصفيحة عند منطقة اتصالها بجسد الجائز وفي محيط ثقب البراغي، ويمكن من خلال الشكلين (8,d) و (9,d) ملاحظة انخفاض قيم الاجهادات والتشوهات اللدنة المكافئة وازدياد عرض منطقة التلدن عند تقليل البعد الطرفي  $e$ ، انظر الجدول (6).

وبالتالي يمكن تلخيص نتائج الدراسة العددية التحليلية كما يلي:

- إن زيادة سماكة الصفيحة النهائية يلعب دوراً إيجابياً في جميع قيم النتائج المرصودة أي يؤدي إلى تخفيض إجهادات الاحتكاك بين الصفيحة وجناح العمود، والإجهادات والتشوهات المتشكلة في الصفيحة نفسها، وكذلك تخفيض تأثير القوى الشادة في براغي الوصل.
- إن زيادة أقطار براغي الوصل بين صفيحة النهاية وجناح العمود تسبب زيادة إجهادات الاحتكاك بين الصفيحة وجناح العمود، وكذلك زيادة تأثير القوى الشادة في براغي الوصل نتيجة قوى الرفع الناتجة عن الانفلاق، ولكنها تلعب دوراً إيجابياً في تخفيض الإجهادات والتشوهات المتشكلة في الصفيحة نفسها.
- إن زيادة صنف براغي الوصل المستخدمة لها نفس تأثير زيادة أقطار البراغي حيث تسبب أيضاً زيادة إجهادات الاحتكاك بين الصفيحة وجناح العمود، وكذلك زيادة تأثير القوى الشادة في براغي الوصل نتيجة قوى الرفع الناتجة عن الانفلاق، ولكنها تلعب دوراً إيجابياً في تخفيض الإجهادات والتشوهات المتشكلة في الصفيحة نفسها.

- يلعب توزيع البراغي وتباعدها دوراً مهماً أيضاً حيث تسبب زيادة البعد بين البرغي الطرفي وحافة الصفيحة تخفيض إجهادات الاحتكاك، لكنها تعمل على زيادة تأثير القوى الشاذة في براغي الوصل نتيجة قوى الرفع الناتجة عن الانفلاق، وكذلك تزيد من الإجهادات والتشوهات المتشكلة في الصفيحة.
- يجب على المصمم التحقق من تأثير الإجهادات الإضافية الناتجة عن زيادة إجهادات الاحتكاك وهي إجهادات ضاغطة على كل من الصفيحة وجناح العمود، وكذلك التحقق من تأثير قوى الشد الإضافية في البراغي نتيجة تولد قوى الرفع الناتجة عن انفلاق الصفيحة وتباعدها عن جناح العمود.
- يجب إجراء دراسات موسعة أكثر لدراسة تأثير قوى الرفع للوصول إلى علاقات حسابية أكثر دقة تسهم في تبسيط حساب التأثيرات المذكورة وتأخذ بعين الاعتبار مختلف أنواع التحميل المتوقعة في الوصلات وطبيعة تأثيرها وكذلك تأثير بارامترات أخرى كالتباعد بين البراغي نفسها في الاتجاهين الأفقي والشاقولي، ويعتبر التأثير المشترك لكل البارامترات موضوع معقد لكنه مهم جداً لتحقيق الهدف المنشود.

## References:

- [1] American Institute of Steel Construction. (2011). Steel Construction Manual, 14th Edition. Chicago, IL: American Institute of Steel Construction.
- [2] American Institute of Steel Construction. (2005). Steel Construction Manual, 13th Edition. Chicago, IL: American Institute of Steel Construction.
- [3] Thornton, W.A. (1992), "Strength and Serviceability of Hanger Connections," Engineering Journal, AISC, Vol. 29, No. 4, 4th Quarter, pp. 145–149, Chicago, IL.
- [4] Swanson, J.A. (2002), "Ultimate Strength Prying Models for Bolted T-Stub Connections," Engineering Journal, Vol. 39, No. 3, 3rd Quarter, pp. 136–147, AISC, Chicago, IL.
- [5] BS EN 1993-1-8:2005, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints, 2005, European Committee for Standardization.
- [6] BS 5950: Part 1: 1990, Structural use of steelwork in building - Part 1, Code of practice for design in simple and continuous construction: hot rolled sections, Published in 1990.
- [7] The Syrian Arab Code for Designing and Implementing Steel Structures, First Edition, 2020, Damascus.
- [8] Sahellie, S. (2024): Shear Lag in Slotted Welded Steel CHS Connections, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies. Engineering Sciences Series, Print ISSN: 2079-3081, Volume (46), Issue (4).
- [9] Indian Standard IS 800 (2007): General Construction In Steel - Code of Practice, CED 7: Structural Engineering and structural sections, 3<sup>rd</sup> Revision, ICS 77.140.01.
- [10] Abdel Fattah F. A., Soliman M.S. (2000): Simple model for prying forces in T-hanger connections with snug tightened bolts, Civil Engineering Research Magazine, Al Azhar University, Banha Branch, <https://bu.edu.eg/staff/fathyaboelala3-publications/31984>.
- [11] IDEA StatiCa, Theoretical background of IDEA STATICA - MANUAL GUIDE, October 2017, [www.ideastatica.com](http://www.ideastatica.com).
- [12] SCI P358 (2014): Joints in Steel Construction Simple Joints to Eurocode 3, The Steel Construction Institute (SCI) and The British Constructional Steelwork Association (BCSA), ISBN: 978-1-85942-201-4. [13] P212 (2009): Joints in Steel Construction Simple Connections, The Steel Construction Institute (SCI) and The British Constructional Steelwork Association (BCSA), ISBN: 978-1-85942-072-0.