

Steel Structures 1

Sem. 2

2023-2024

أ.د. نايل محمد حسن

- ✓ المحاضرة الأولى: مفاهيم أساسية
- ✓ المحاضرة الثانية: مدخل إلى المنشآت الفولاذية
- المحاضرة الثالثة: العناصر الخاضعة للشد центральный**

المحاضرة الثالثة: العناصر الخاضعة للشد المركزي

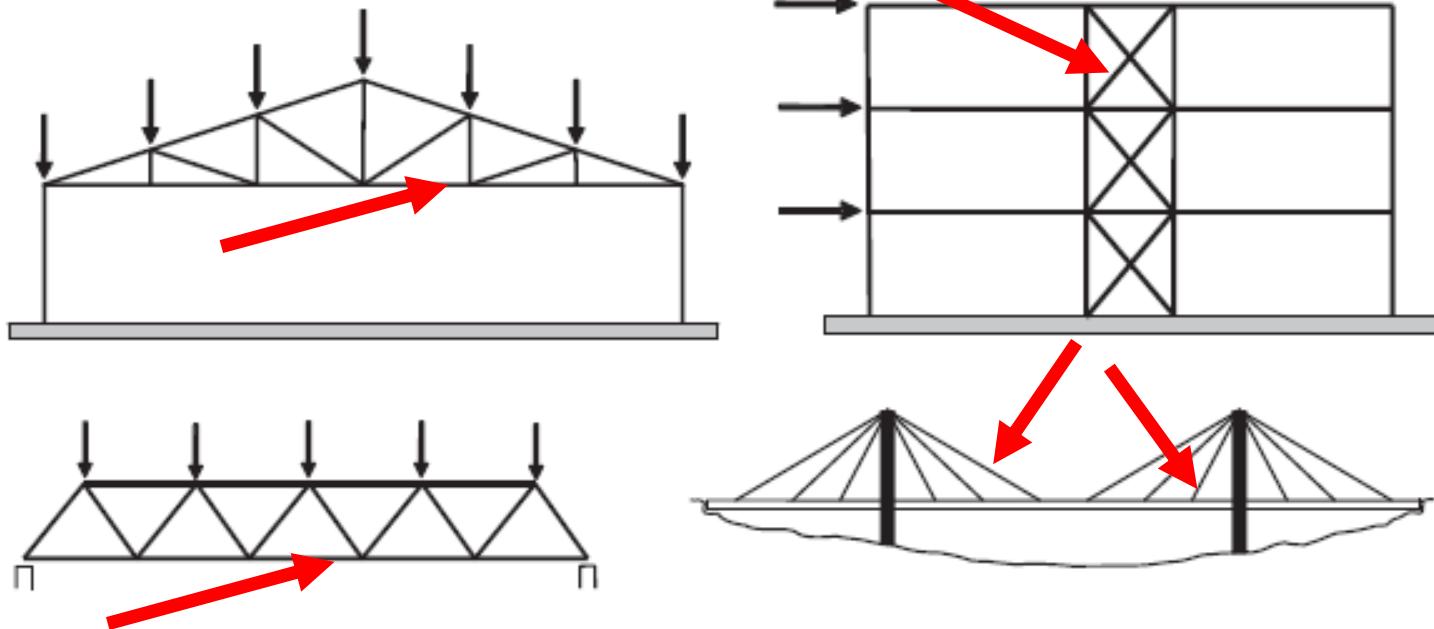
Tension Members (عنصر الشد)

1-2 - مقدمة

- تعتبر العناصر التي تخضع لقوى شادة مؤثرة مركزياً **أبسط العناصر الإنسانية**،
- تكون نظرياً في حالة **إجهاد محوري منتظم**، ولذلك تسمى عناصر الشد.
- في هذه الحالة، يكون سلوك القوة – تشوه مشابه بشكل كبير لسلوك **الإجهاد – تشوه للفولاذ الإنساني** الذي يتم الحصول عليه من نتائج اختبارات الشد
- خلال التحميل يبقى العنصر بشكل أساسي **خطي ومن** حتى يتم الوصول إلى **حملة الخضوع** العامة، حتى لو كان لديه إجهادات متبقية وتشوهات أولية.

1-2 - مقدمة

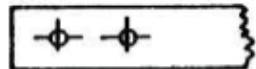
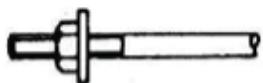
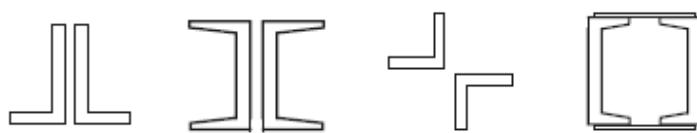
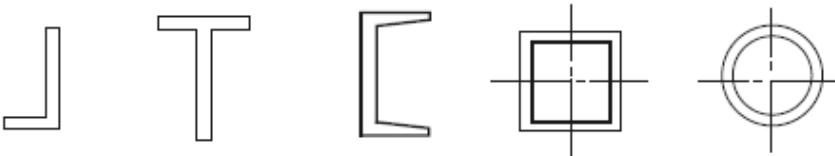
- في كثير من الحالات لا تخضع عناصر الشد لقوى مركزية، ويمكن أن **تُخْضَع لحمولات عرضية**، تنتج أفعال (جهود) انعطاف وأيضاً أفعال شد محورية.
- تهم إجراءات التصميم **ببساطة أفعال الانعطاف** في بعض العناصر التي تملك اتصالات لامركزية، لكن بصفة عامة يجبأخذ أفعال الانعطاف بالاعتبار في التصميم.
- تملك عناصر الشد غالباً إجهادات متوسطة عالية نسبياً، وفي بعض الحالات تكون **تأثيرات تركز الإجهادات الموضعية كبيرة** يجب في مثل هذه الحالات أن يتم تقليل آثار تركز الإجهادات، ويجب تقدير الإجهادات الموضعية **وأخذها بالاعتبار**.



انشاءات تحوي عناصر شد Structures with some members in tension

المقاطع العرضية لعناصر الشد

Typical cross sections
of members in tension



2-2-عناصر الشد المحمولة مركزياً

Concentrically loaded tension members

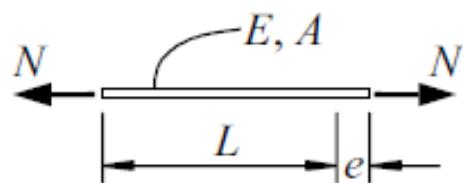
1-2-2 العناصر من دون ثقوب

2-2-2 العناصر ذات ثقوب صغيرة

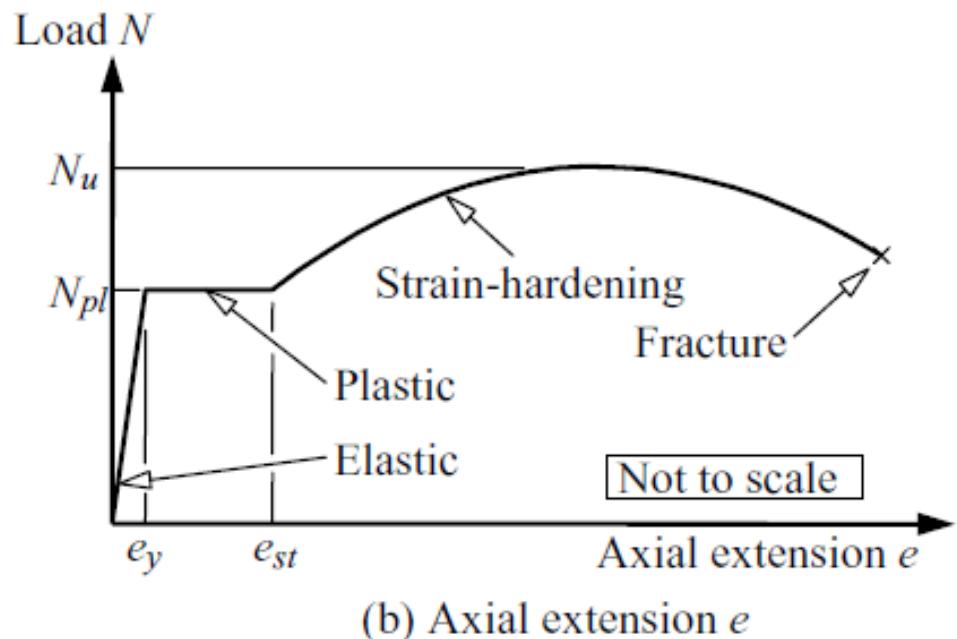
3-2-2 العناصر ذات ثقوب كبيرة

1-2-2 العناصر من دون ثقوب Members without holes

يبين الشكل عنصر شد فولاذی لا يحوي ثقوب ولا يملك إجهادات متبقية
 محمل بشكل مركزي



(a) Tension member



(b) Axial extension e

تكون علاقة التطاول المحوري e للعنصر المتعلقة بـ N مشابهة لعلاقة التشوه المتوسط $e/L = \epsilon$ المتعلقة بـ الإجهاد المتوسط $N/A = \sigma$. هكذا يزداد التطاول في البداية بشكل خطٍ مع الحمولة وهو يساوي

$$e = \frac{NL}{EA}, \quad (2.1)$$

حيث E عامل يونغ للمرونة. يستمر هذا التزايد الخطٍ حتى يتم الوصول لإجهاد الخضوع للفولاذ f_y عند حمولة الخضوع (الدونة) التالية:

$$N_{pl} = Af_y \quad (2.2)$$

يزداد التطاول دون زيادة بالحمولة (أو عند زيادة صغيرة جداً) وتبعد مرحلة التصلب التشوهي. بعد ذلك، تزداد الحمولة ببطء حتى يتم الوصول إلى القيمة الأعظمية

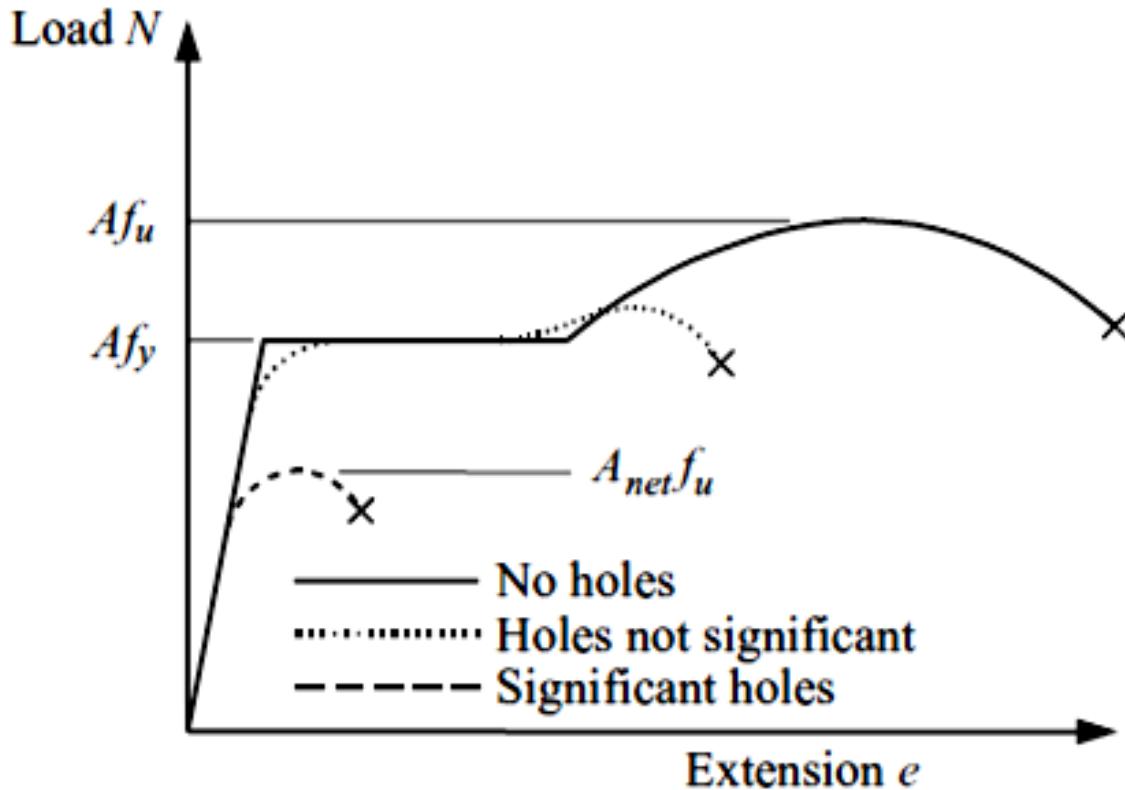
$$N_u = Af_u \quad (2.3)$$

(بعد ذلك يظهر يضيق (يظهر عنق) المقطع العرضي موضعياً وتتناقص الحمولة N حتى يحدث الانقطاع.)

- يوصف سلوك عنصر الشد بأنه **مطاوع**,
- أي أنه يصل لحمولة الخضوع العامة ويحافظ عليها في الوقت الذي تحدث فيه تطاولات كبيرة قبل أن يتم الانقطاع.
- عادة تعرف حمولة الخضوع N_{pl} بأنها **الحمولة التصميمية** (قدرة التحمل التصميمية) للعنصر.

2-2-2 العناصر ذات ثقوب صغيرة Members with small holes

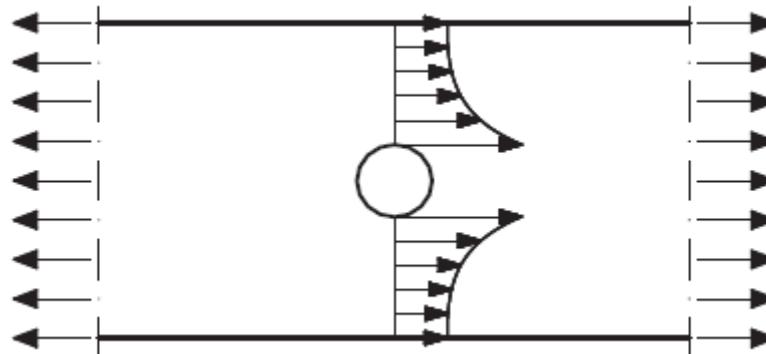
- يسبب وجود **ثقب محلية صغيرة** في عنصر شد (مثل ثقوب البراغي الصغيرة المستخدمة في الوصلات) **خضوع مبكر** حول الثقوب، يصبح سلوك الحمولة - انتقال **غير خطى**.
- عندما تكون الثقوب صغيرة فإنه يمكن للعنصر أن يصل **لحمولة الخضوع الكاملة** (انظر المعادلة 2.2) التي تحسب على كامل المساحة A ، كما هو مبين في الشكل (4-2)، وذلك بسبب تأثيرات التصلب التشوهية حول الثقوب.
- عندما يكون سلوك العنصر مطاوع، يمكن إهمال **السلوك غير الخطى** حيث التطاول المحوري للعنصر تحت تأثير الحمولة لم يتزايد بشكل كبير، باستثناء الحالة عندما يكون هناك ثقوب عديدة على طول العنصر حيث تنخفض مساحة المقطع العرضي المتوسط بشكل كبير.



سلوك الثقوب على سلوك حمولة – تطاول

2-2-3 العناصر ذات ثقوب كبيرة Members with significant holes

عندما تكون الثقوب كبيرة، يمكن للعنصر أن ينهار قبل الوصول لحمولة الخضوع الكلية N_{pl} بسبب التمزق عند الثقب كما هو مبين في الشكل (4-2).



تركيز الاجهادات عند الثقب

Concentration of tension next to hole

تحسب حمولة الانقطاع (التمزق) الموضعي N_u :

$$N_u = A_{net} f_u \quad (2.4)$$

على المساحة الصافية من المقطع العرضي A_{net} مقاسة بشكل عمودي على خط عمل القوة، وتعطى بالعلاقة:

$$A_{net} = A - \sum d_0 t, \quad (2.5)$$

- d_0 قطر الثقب،
- t سماكة العنصر عند الثقب،
- ويجري المجموع لكل الثقوب في المقطع العرضي المدروس.
- تحسب حمولة الانقطاع (التمزق) N_u تبعاً للمقطع العرضي الأضعف،
- وبالتالي حسب المساحة الصافية الصغرى A_{net} .
- يكون العنصر الذي ينهاه بالانقطاع قبل الوصول لحمولة الخضوع الكلي غير مطاوع، ويكون هناك تحذير قليل بالانهيار.

3-2 تصميم عناصر الشد

1-3-2 عناصر الشد المحمولة مركزياً

تبعد طريقة تصميم المقاومة لعناصر الشد المحمولة مركزياً في كود EC3، حيث تمثل حالي الحد المنفصلتين لخضوع المقطع الكلي وانهيار المقطع الصافي بمعادلة واحدة هي:

$$N_{t,Ed} \leq N_{t,Rd}$$

- يتم الحصول على **قوة الشد التصميمية** $N_{t,Ed}$ في كل مقطع عرضي من العنصر، من أجل تصميم أو تحقيق عنصر الشد، عن طريق **التحليل الإنشائي**،
- مع استخدام الحمولات المناسبة وعوامل الحمولة الجزئية γ_G, γ_Q

3-2 تصميم عناصر الشد

حيث $N_{t,Rd}$ مقاومة الشد التصميمية وهي تؤخذ القيمة الأصغر من:
 مقاومة الخضوع (أو اللدنة) للمقطع العرضي $N_{pl,Rd}$
 و المقاومة الحدية (أو الانهيار) للمقطع العرضي الحاوي على ثقوب $N_{u,Rd}$.

$$N_{t,Rd} = \min \{N_{u,Rd}, N_{pl,Rd}\}$$

تعطى مقاومة الخضوع (حالة حد الخضوع) في كود EC3 كما يلي

$$N_{pl,Rd} = Af_y / \gamma_{M0}$$

حيث A المساحة الإجمالية للمقطع العرضي،
 و γ_{M0} العامل الجزئي لمقاومة المقطع العرضي، وهو يأخذ القيمة 1.0، او حسب القيم المفروضة

3-2 تصميم عناصر الشد

تعطى المقاومة الحدية (حالة حد الانهيار) للمقطع العرضي
 الحاوي على ثقوب لالمعادلة في كود EC3 كما يلي:

$$N_{u,Rd} = 0.9 A_{net} f_u / \gamma_{M2},$$

- حيث A_{net} هي المساحة الصافية للمقطع العرضي
- γ_{M2} عامل جزئي للمقاومة على الانهيار بالشد، وتعطى قيمته (حسب الملحق البريطاني) بـ 1.1 في كود EC3.
- يضمن العامل 0.9 في المعادلة أن العامل الجزئي الفعال $\gamma_{M2}/0.9$ (≈1.22) لحالة حد انهيار المادة ($N_{u,Rd}$) هو أعلى من قيمة γ_{M0} (=1.0) لحالة حد الخضوع ($N_{pl,Rd}$)

تعرف $A_{net,eff}$ لزاوية مفردة على الشد متصلة بصف واحد من البراغي في ساق واحدة والتي ستستخدم مكان المساحة الصافية A_{net} في المعادلة 2.4. إنها تعتمد على عدد البراغي والخطوة p_1 ,

وتعطى المقاومة الحدية التصميمية بالعلاقات التالية ($N_u = A_{net,eff} f_u$) :

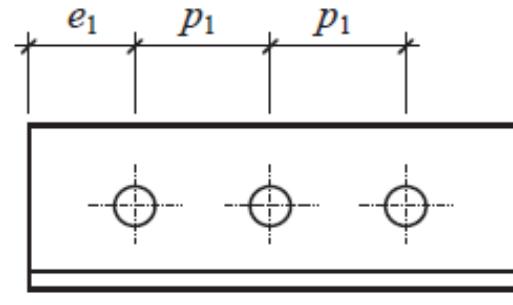
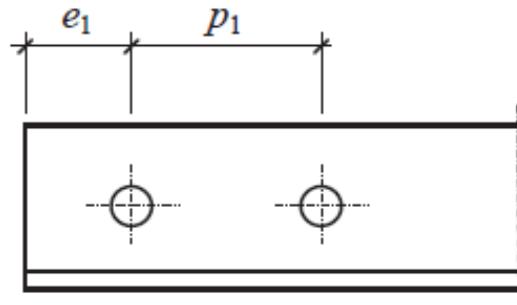
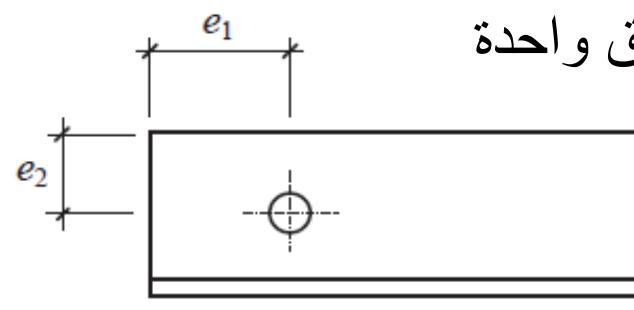
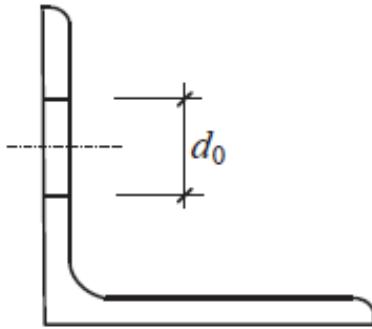
$$N_{u,Rd} = \frac{2.0(e_2 - 0.5d_0)t f_u}{\gamma_{M2}} ; \quad (1 \text{ bolt}) \quad \text{من أجل برغي واحد}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} ; \quad (2 \text{ bolts}) \quad \text{من أجل براغيين}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} . \quad (3 \text{ bolts or more}) \quad \text{من أجل 3 لراغي أو أكثر}$$

عوامل التخفيض β_3 β_2

Distance	p_1	$\leq 2.5 d_0$	$\geq 5.0 d_0$
2 bolts	β_2	0.4	0.7
3 bolts or more	β_3	0.5	0.7



- تعرف الرموز الداخلة في المعادلات كما في الشكل،
- و A_{net} هي **المساحة الصافية للزاوية**.
- تؤخذ A_{net} للزاوية مختلفة الساقين والمتعلقة بالساق الأصغر مساوية للمقطع الصافي لزاوية مكافئة **متاوية الساقين** طول ساقها مساو **لساق الأصغر** للزاوية المختلفة الساقين.
- عندما تكون وصلات النهاية **ملحومة**، وتكون الزاوية متساوية الساقين، أو الزاوية مختلفة الساقين متصلة بساقها الأكبر، يمكن اهمال اللامركزية،
 وتحسب المساحة الفعالة A_{net} مساوية ل المساحة الكلية A

تتحفظ مساحة المقطع العرضي للعديد من عناصر الشد الحاوية على أكثر من صف واحد من البراغي بواسطة تعرج صفوف الثقوب، الشكل أدناه

- يجب في هذه الحالة اخذ مسار الانهيار المتعرج zig-zag مثل ABCDE في الشكل، بدلاً من المقطع العمودي على الحمولة.
- يعتمد المقدار الأصغرى للتعرج s_m الذى من أجله لاتنقص مساحة الثقب من مساحة العنصر، على قطر الثقب d_0 والميل s / p لمسار الانهيار،
- حيث p مقدار المسافة بين صفوف الثقوب. تعطى مسافة التعرج بعلاقة تقريبية هي:

$$s_m \approx (4pd_0)^{1/2}.$$

عندما تكون قيمة **مسافة التعرج الفعلية (S)** أقل من s_m ، يجب طرح جزء من مساحة الثقب A_h من المساحة الكلية A ، ويمكن حساب ذلك تقريبياً من العلاقة:

ويمكن حساب ذلك تقربياً من العلاقة

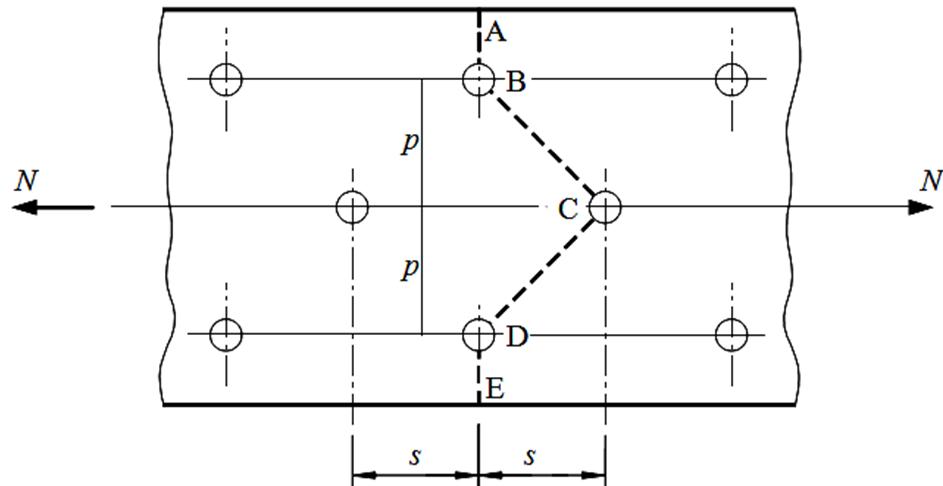
If $S < S_m$ -----> calculate A_h

$$A_h = d_0 t (1 - s^2 / s^2 m),$$

حيث:

$$A_h = d_0 t (1 - s^2 / 4 p d_0),$$

$$A_{net} = A - \sum d_0 t + \sum s^2 t / 4 p,$$



مسار الانهيار الممكن مع توضع ثقوب متعرجة

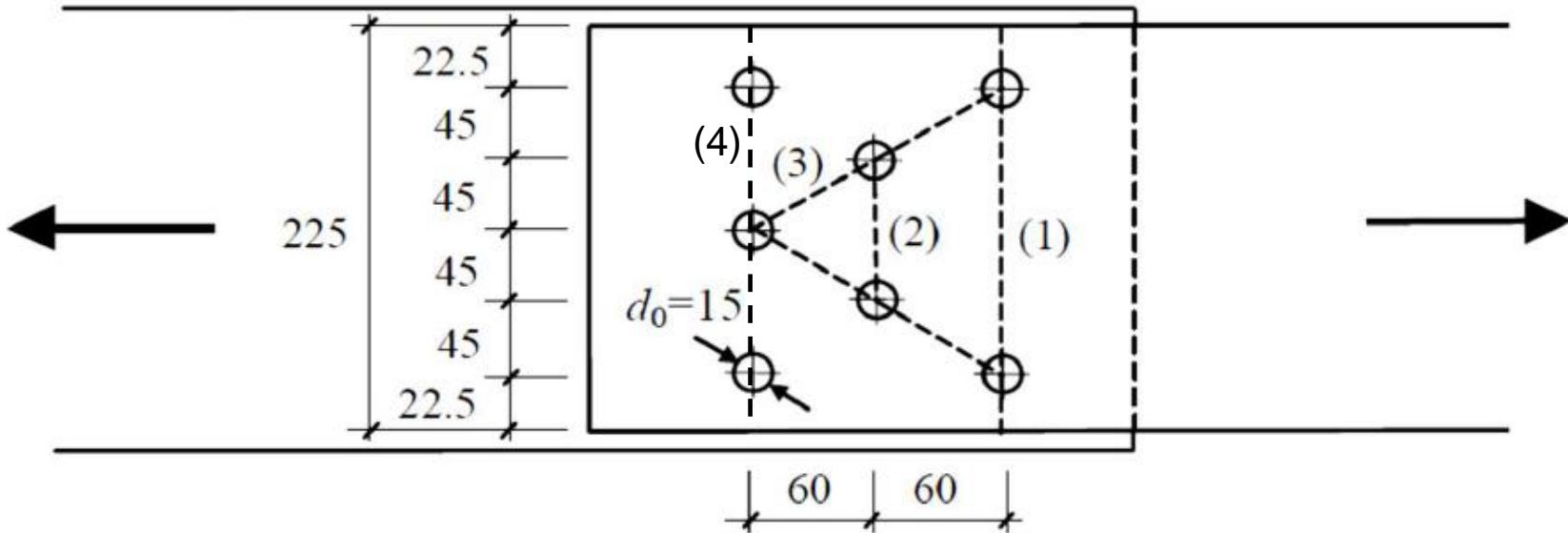
- تؤخذ المجاميع لكل الثقوب على المسار المتعرج المدروس ولكل مسافات التعرج في المسار.
- سمح كود EC3 في الفقرة 6.2.2.2 باستخدام علاقة A_{net} السابقة،
- تسبب الثقوب في عناصر الشد إجهاد موضعي يتزايد عند حدود الثقب،
- وايضاً تزايد في الإجهاد المتوسط N / A_{net} الذي تم مناقشه أعلاه.

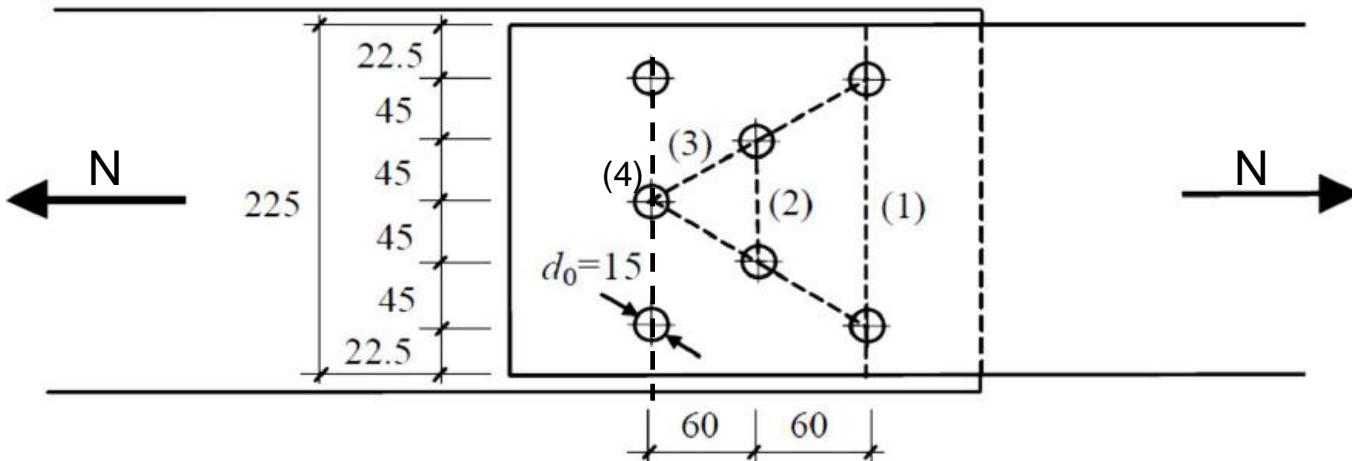
- تؤخذ المجاميع لكل الثقوب على المسار المتدرج المدروس ولكل مسافات التدرج في المسار.
- سمح كود EC3 في الفقرة 6.2.2.2 باستخدام علاقة A_{net} السابقة،
- تسبب الثقوب في عناصر الشد إجهاد موضعي يتزايد عند حدود الثقب،
- وايضاً تزايد في الإجهاد المتوسط N/A_{net} الذي تم مناقشته أعلاه.

أمثلة عملية

Worked examples

Example 2.1: Calculate the net area A_{net} of the bolted section of the plate represented in Figure. Assume a plate with thickness t and the remaining dimensions (in mm), as indicated in Figure





- Taking fracture section 1-3 into Account, We get

$$\text{Fracture section 1} \rightarrow A_{net}^{(1)} = 225 \times t - 2 \times t \times 15 = 195t.$$

$$\text{Fracture section 2} \rightarrow A_{net}^{(2)} = 225 \times t - 4 \times t \times 15 + 2 \times t \times \frac{60^2}{4 \times 45} = 205t.$$

$$\text{Fracture section 3} \rightarrow A_{net}^{(3)} = 225 \times t - 5 \times t \times 15 + 4 \times t \times \frac{60^2}{4 \times 45} = 230t.$$

The net area of the plate is given by the minimum value, $A_{net} = 195t$.

- Taking fracture section 4 into Account, We get

$$\text{Fracture section 4} \quad A_{net}^{(4)} = 225 \times t - 3 \times t \times 15 = 180t$$

The net area of plate is given by the minimum value, $A_{net} = 180t$