

Steel Structures 1 Sem. 2 2024-2025

أ.د. نايل محمد حسن

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

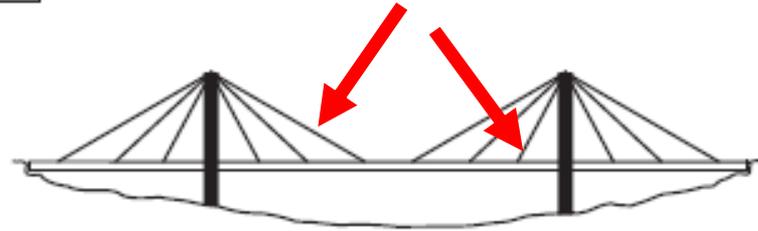
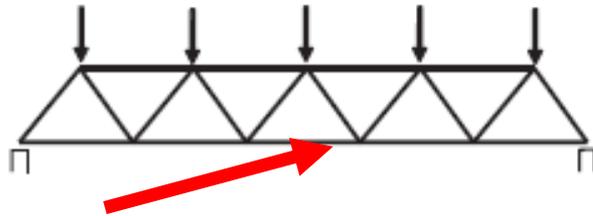
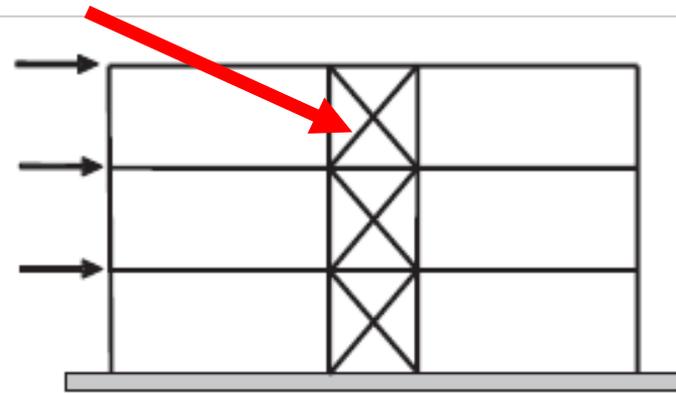
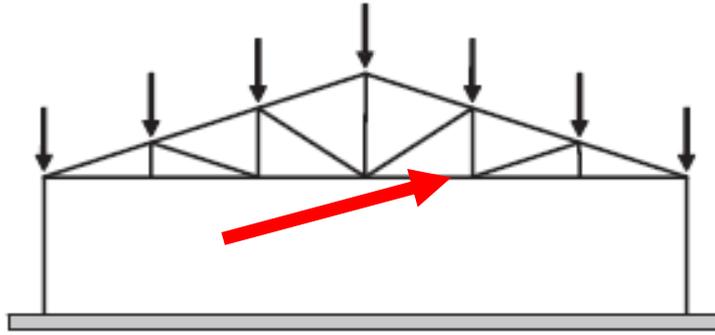
المحاضرة الثالثة: العناصر الخاضعة للشد المركزي Tension Members (عناصر الشد)

2-1- مقدمة

- تعتبر العناصر التي تخضع لقوى شادة مؤثرة مركزياً **أبسط العناصر الإنشائية**،
- 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 الإنشائي** الذي يتم الحصول عليه من نتائج اختبارات الشد
- خلال التحميل يبقى العنصر بشكل أساسي **خطي ومرن** حتى يتم الوصول إلى **حمولة الخضوع** العامة، حتى لو كان لديه إجهادات متبقية وتشوهات أولية.

2-1- مقدمة

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

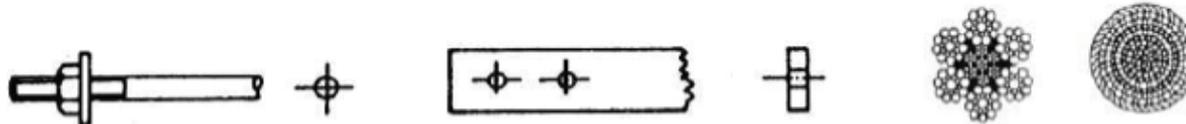


انشاءات تحوي عناصر شد Structures with some members in tension

المقاطع العرضية
لعناصر الشد



Typical cross sections
of members in tension



2-2- عناصر الشد المحملة مركزياً

Concentrically loaded tension members

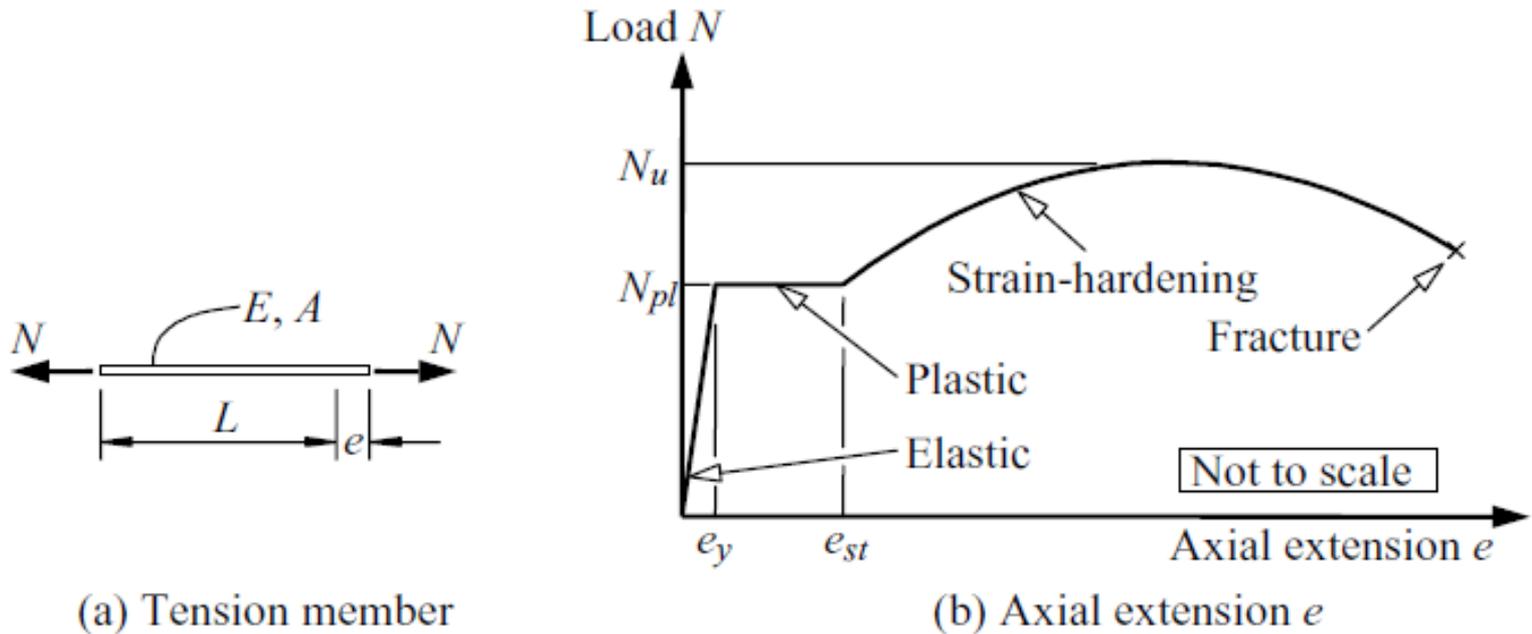
1-2-2 العناصر من دون ثقوب Members without holes

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

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

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

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



تكون علاقة التناول المحوري e للعنصر المتعلقة بـ N مشابهة لعلاقة التشوه المتوسط $\varepsilon = e/L$ المتعلقة بـ الإجهاد المتوسط $\sigma = N/A$ هكذا **يزداد التناول في البداية بشكل خطي** مع الحمولة وهو يساوي

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

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

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

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

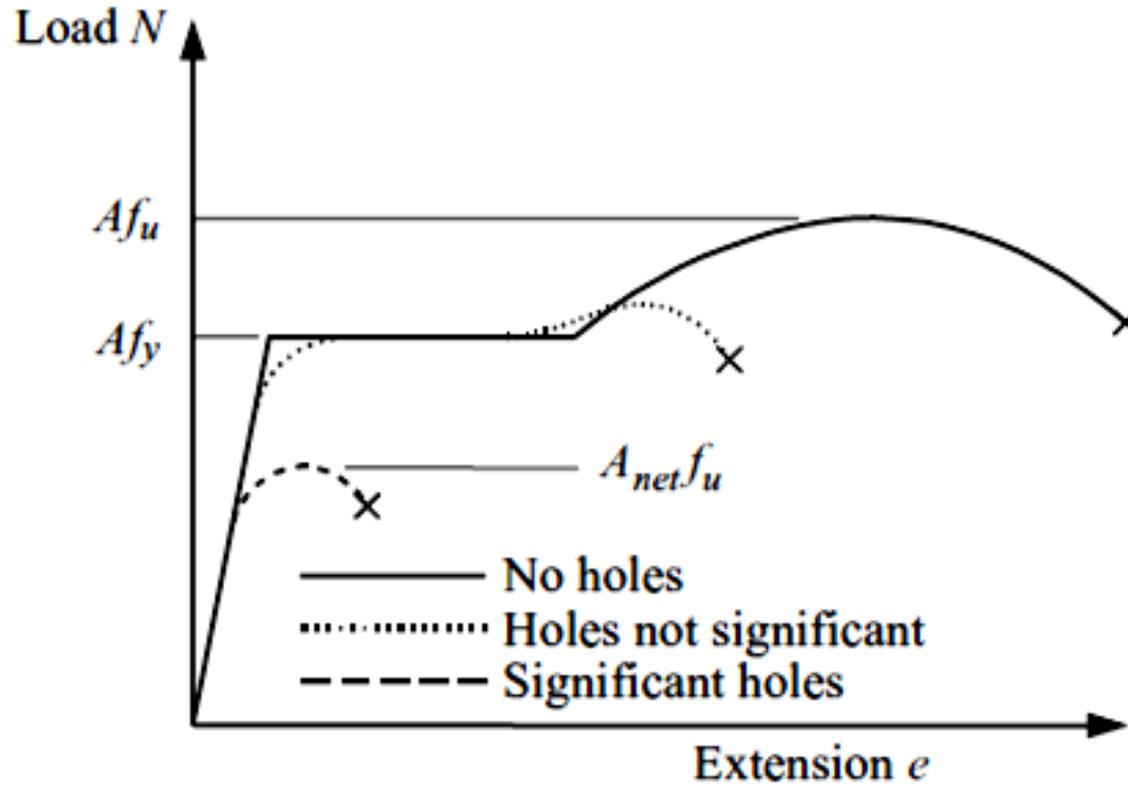
$$N_u = Af_u \quad (2.3)$$

(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

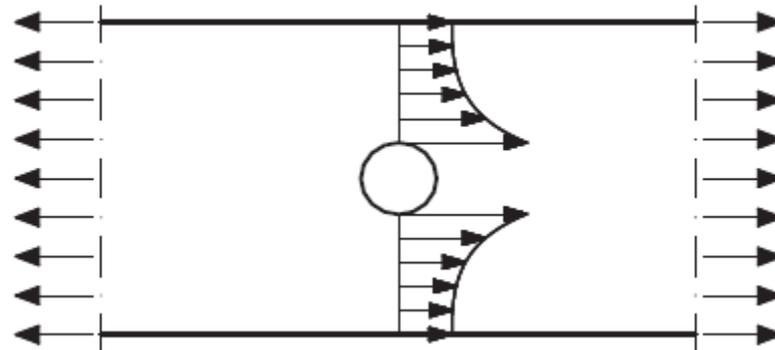
- يسبب وجود **ثقوب محلية صغيرة** في عنصر شد (مثل ثقوب البراغي الصغيرة المستخدمة في الوصلات) **خضوع مبكر** حول الثقوب،
- يصبح سلوك الحموله - انتقال **غير خطي**.
- عندما تكون الثقوب صغيرة فإنه يمكن للعنصر أن يصل **لحمولة الخضوع الكاملة** (انظر المعادلة 2.2) التي تحسب على كامل المساحة A ، كما هو مبين في الشكل (2-4)، وذلك بسبب تأثيرات التصلب التشوهي حول الثقوب.
- عندما يكون سلوك العنصر مطاوع، يمكن إهمال **السلوك غير الخطي**
- حيث التطاول المحوري للعنصر تحت تأثير الحموله 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

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

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) الموضوعي 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 ينهار بالانقطاع قبل الوصول لحمولة الخضوع الكلي **غير مطاوع**، ويكون هناك تحذير قليل بالانهيار.

3-2 تصميم عناصر الشد Design of tension members

1-3-2 عناصر الشد المحملة مركزياً *Concentrically loaded*

تتبع طريقة تصميم المقاومة لعناصر الشد المحملة مركزياً في كود EC3، حيث تمثل حالتها الحد المنفصلتين لخضوع المقطع الكلي وانهايار 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 Design of tension members

حيث $N_{t,Rd}$ مقاومة الشد التصميمية وهي تؤخذ القيمة الاصغر 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 $EC3$ كمايلي

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

حيث A المساحة الاجمالية للمقطع العرضي،

و γ_{M0} العامل الجزئي لمقاومة المقطع العرضي، وهو يأخذ القيمة 1.0 ، او حسب القيم المفروضة

3-2 تصميم عناصر الشد Design of tension members

تعطى **المقاومة الحدية** (حالة حد الانهيار) للمقطع العرضي

الحاوي على ثقوب للمعادلة في كود *EC3* كمايلي:

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

- 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 $(N_u = A_{net,eff} f_u)$:

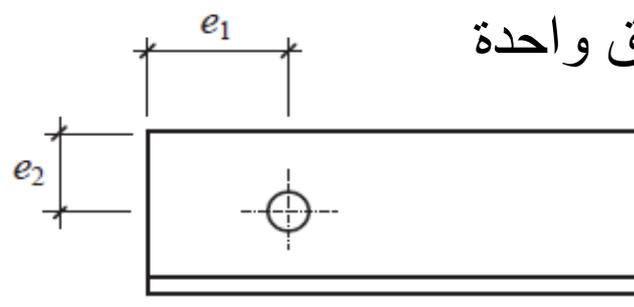
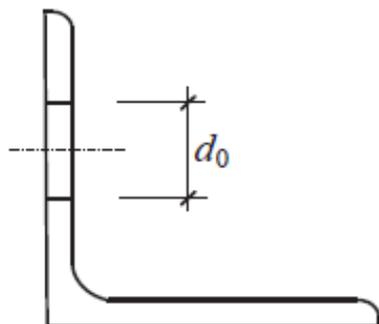
$$N_{u,Rd} = \frac{2.0(e_2 - 0.5d_0)t f_u}{\gamma_{M2}} ; \quad (1 \text{ bolt}) \quad \text{من أجل برغي واحد}$$

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

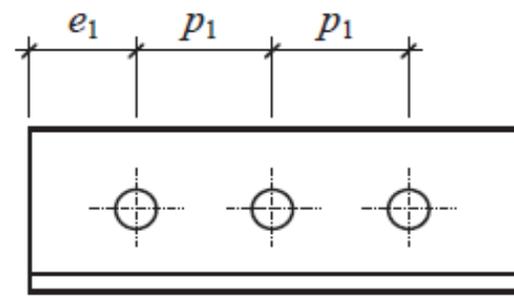
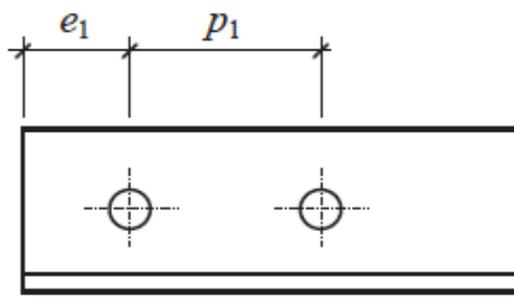
$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} . \quad (3 \text{ bolts or more}) \quad \text{من أجل 3 لراغي أو أكثر}$$

عوامل التخفيض β_2 β_3

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



زويا متصلة بساق واحدة



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

تنخفض 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 الأصغري للتعرج s_m الذي من أجله لاتنقص مساحة الثقب من مساحة العنصر، على قطر الثقب d_0 والميل p/s 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 تقريبا من العلاقة:

ويمكن حساب ذلك تقريبا من العلاقة

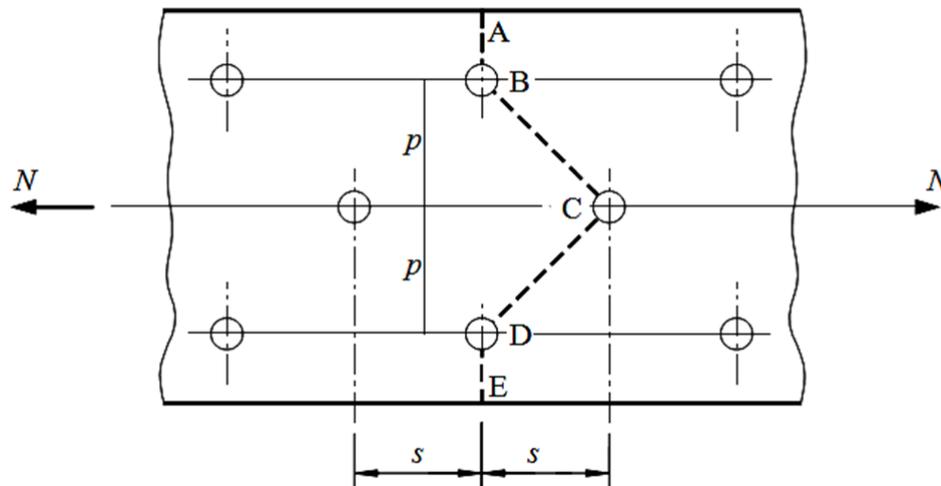
If $S < S_m$ -----> calculate A_h

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

حيث:

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

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



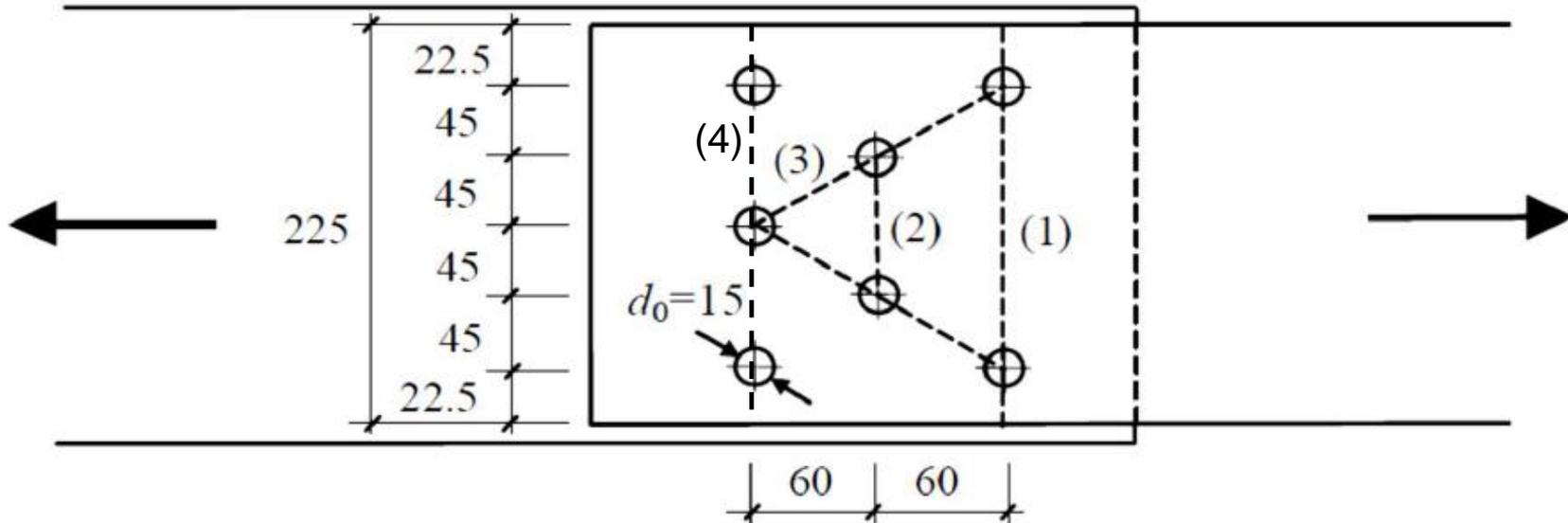
مسار الانهيار الممكن مع توضع ثقوب متعرجة

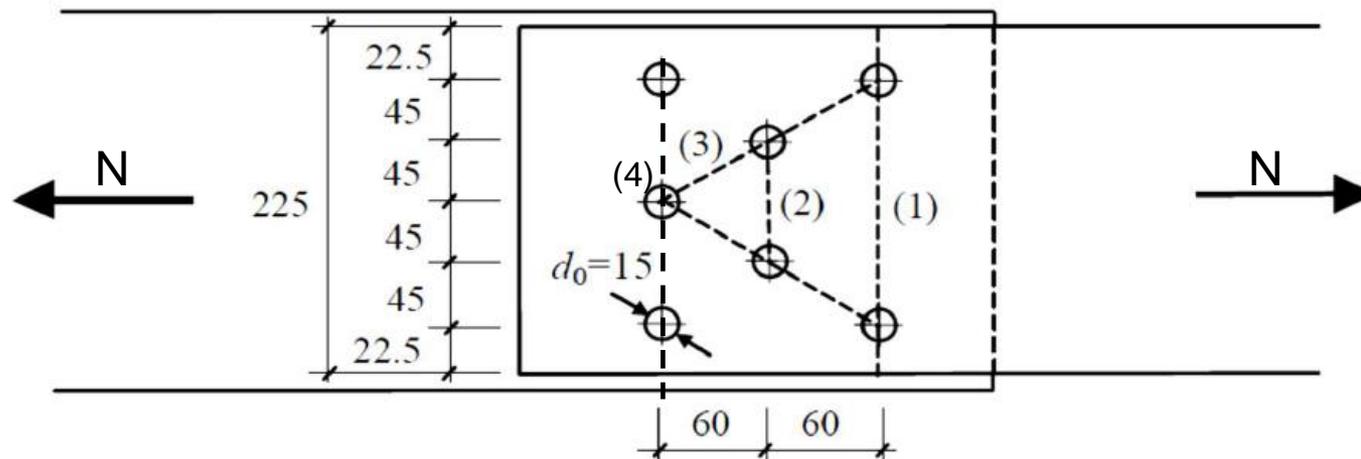
- تؤخذ المجاميع لكل الثقوب على المسار المتعرج المدروس ولكل مسافات التعرج في المسار.
- سمح كود $EC3$ في الفقرة 6.2.2.2 باستخدام علاقة A_{net} السابقة،
- تسبب الثقوب في عناصر الشد إجهاد موضعي يتزايد عند حدود الثقب،
- وايضاً تزايد في الإجهاد المتوسط N / A_{net} الذي تم مناقشته أعلاه.

- 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 مناقشته أعلاه.

Worked examples أمثلة عملية

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

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

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

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

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

- Taking fracture section 4 into Account, We get

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

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