



محاضرات مادة خرسانة مسلحة /1/

لطلاب السنة الثالثة

(هندسة مدنية)

الدكتور نزيه يعقوب منصور

2026 - 2025

المحاضرة الثامنة والتاسعة

العناصر الخاضعة لقوى القص والفتل في الخرسانة المسلحة

العناصر الخاضعة لقوى القص في الخرسانة المسلحة :

مقدمة :

رأينا في الفصلين السابقين أن المقاطع تصمم لمقاومة عزوم الانعطاف أو عزوم الانعطاف مع قوى ناظرية في المقاطع المعرضة لأكبر إجهادات ناتجة عن هذه القوى . في حال وجود قوى قص إضافة إلى الانعطاف تتولد إجهادات مائلة رئيسية شادة وضاغطة (الحالة I).

يقاوم البيتون بشكل جيد الإجهادات الضاغطة إلا أن مقاومته على الشد أقل بكثير من مقاومته على الضغط فتتولد في العنصر تشققات مائلة في المقاطع المعرضة لقوى قص كبيرة. مع زيادة الحملات على العنصر تتزايد هذه التشققات مسببة انهيار العنصر على القص (الحالة II) . لذا ينص الكود العربي السوري على :

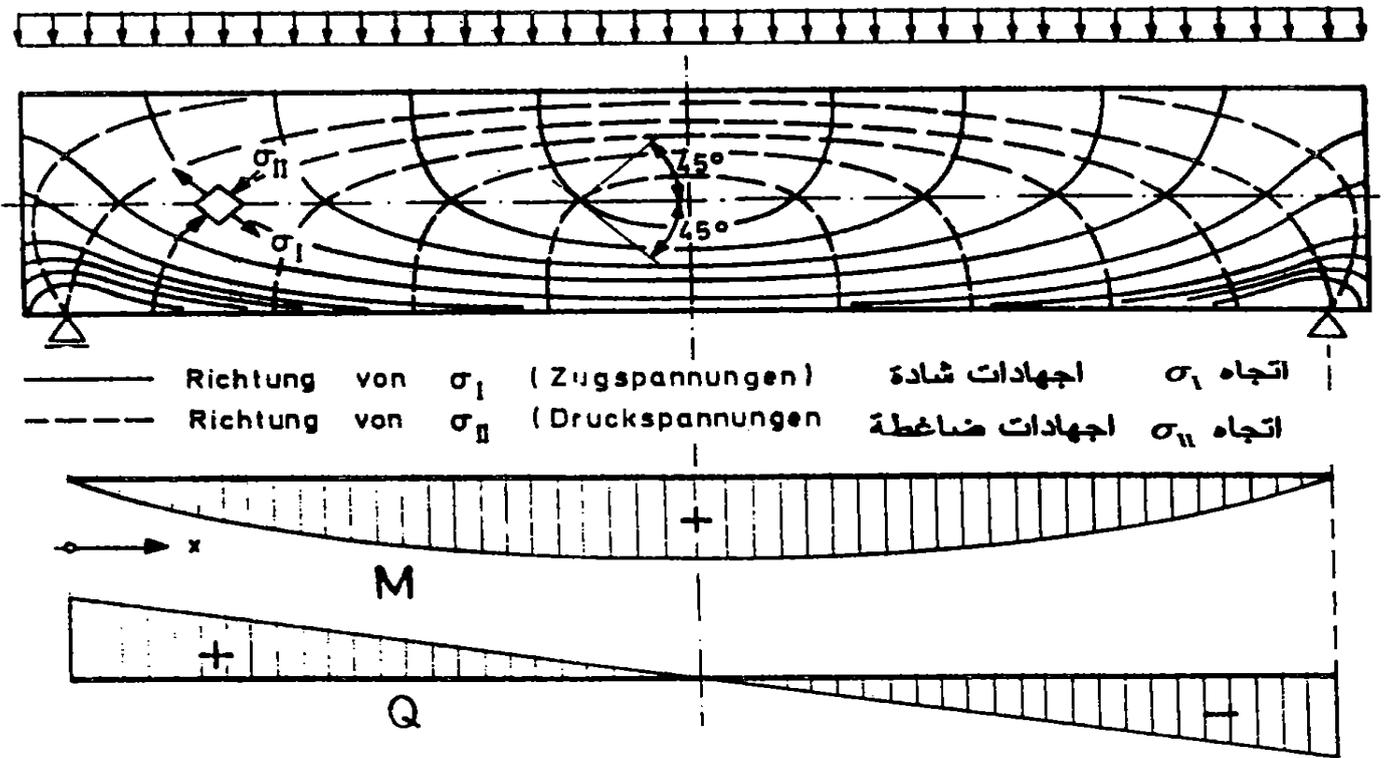
"إن مقاومة عنصر ما خاضع لأفعال مماسية ناتجة عن قوى القص يجب أن تؤمن بمقاومة الخرسانة للإجهادات المماسية بالإضافة إلى تسليح عرضي يخترق المساحات التي تحمل فيها هذه الأفعال المماسية" .
وبالتالي تصمم عناصر البيتون المسلح لمقاومة الإجهادات الشادة المائلة الناتجة عن القص وليس لمقاومة إجهادات القص نفسها (τ) .

6 - 2 - 1 - الإجهادات المماسية المائلة للمقاطع المتجانسة :

ليكن لدينا الجائز البسيط المبين في الشكل (6 - 1) المحمل بحمولة موزعة بانتظام على كامل طوله . يتزايد العزم المتولد في الجائز $M(x)$ من المساند باتجاه منتصف الفتحة و تتزايد معه قيمة الإجهادات الناظرية المتولدة عنه . وفي الوقت نفسه تؤثر على المقطع قوة قص قيمتها :

$$Q(x) = \frac{dM(x)}{dx}$$

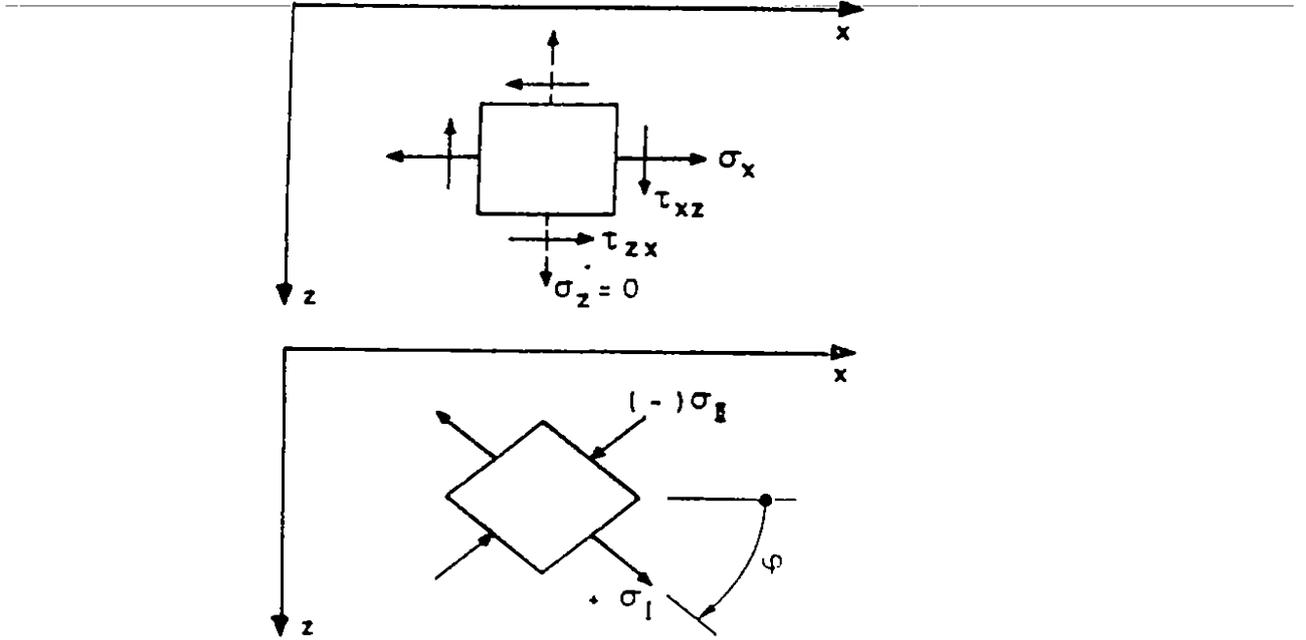
وبالتالي وعلى كامل ارتفاع المقطع البيتوني تؤثر إجهادات رئيسة شداة وضاغطة تميل على المحور بزواوية 45° أو 135° في مستوي المحور المحايد أما في بقية مستويات المقطع فتميل بزواويا مختلفة وعلى مسارات مختلفة نسفيا خطوط الشد والضغط (كما في الشكل السابق) .



الشكل (6-1): الإجهادات الرئيسة المائلة σ_I ، σ_{II} على خطوط الشد والضغط .

فإذا أخذنا عنصرا بيتونيا صغيرا من المنطقة التي تخضع لقوى قص كبيرة وعلى مستوي المحور المحايد فيمكن تحليل الإجهادات المائلة إلى المركبات التالية، كما في الشكل (6-2) :

$$\tau_{xz}, \sigma_z, \sigma_x$$



الشكل (6-2) تحليل الإجهادات المائلة σ_{11} , σ_1 إلى المركبان σ_x , σ_z , τ_{xz} .

وتكون :

σ_x : الإجهادات الناتجة عن الانعطاف .

$$\sigma_x = \pm \frac{M}{w}$$

τ : إجهادات القص :

$$\tau = \tau_{xz} = \tau_{zx} = \frac{Q \cdot S}{I \cdot b}$$

σ_1 : الإجهادات الرئيسية الشادة :

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau^2}$$

σ_{11} : الإجهادات الرئيسية الضاغطة :

$$\sigma_{11} = \frac{\sigma_x}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau^2}$$

φ : زاوية ميل σ_1 على المحور (+x) :

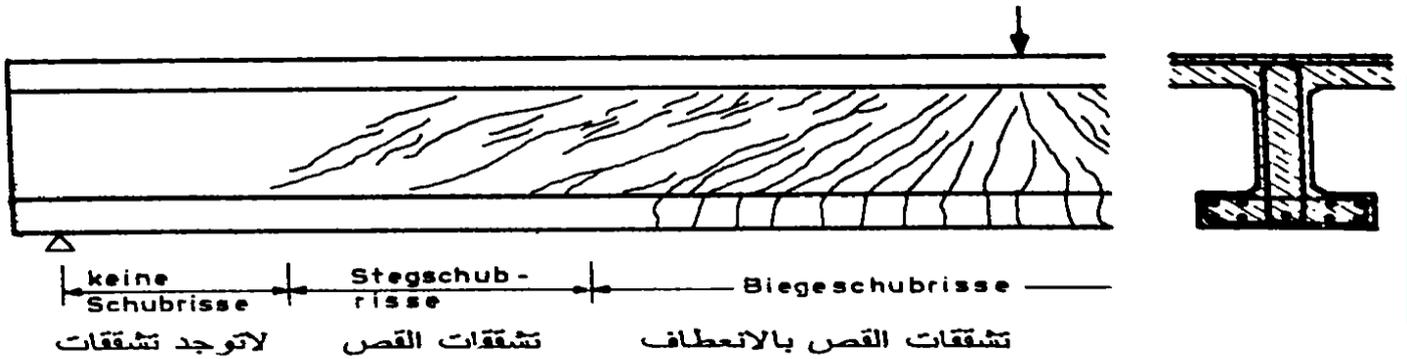
$$\tan \varphi = \frac{\tau}{\sigma_1} = \frac{\tau}{\sigma_x - \sigma_{11}}$$

أو

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2\tau}{\sigma_x}$$

هنا يجب أن يكون واضحا للدارس أن إجهادات القص τ لا تكون مؤثرة على المقطع بالاتجاهات \vec{x} أو \vec{y} وإنما هي كما الإجهادات σ_x, σ_z قيم مساعدة في الحساب . الإجهادات الحقيقية المؤثرة على المقطع هي فقط الإجهادات الرئيسية المائلة σ_{11}, σ_{33} . بما أنه لا يتم استعمال عناصر البيتون المسلح في المرحلة الأولى من عملها نظرا لعدم فعالية التسليح في هذه المرحلة ، وبالتالي فليس هناك أهمية لدراسة عمل الإجهادات الشادة الرئيسية في هذه المرحلة سوى في الحالات التي لا يسمح فيها بحدوث التشققات مثل المنشآت البيتونية المسلحة مسبقة الإجهاد باعتبار أنه يجب التأكد في مرحلة الاستثمار من الإجهادات الرئيسية المائلة بحيث لا تتجاوز قيمها الحدود المسموحة للإجهادات المائلة الرئيسية .

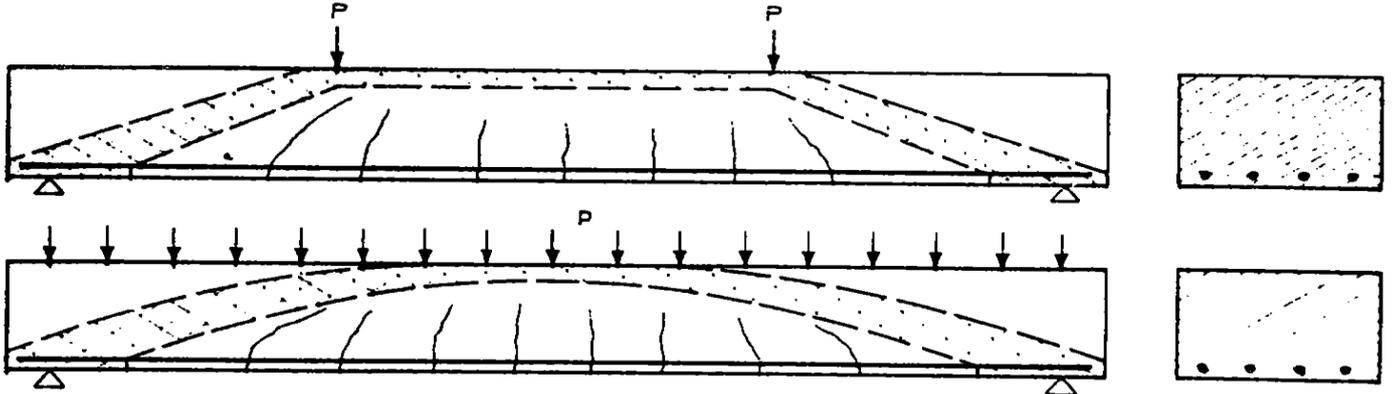
كما رأينا في الفقرة السابقة تبدأ الشقوق نتيجة القص بالظهور عندما تتجاوز الإجهادات المائلة الشادة مقاومة البيتون على الشد وتكون هذه الشقوق في مناطق القص الصافي أو المناطق القريبة منها مائلة (في مستوي المحور المحايد) بزاوية 45° على محور العنصر . وكلما اقتربنا من المناطق التي يكون عزم الانعطاف فيها كبيرا يتأثر منحى هذه الشقوق بشكل كبير نتيجة لتراكب القوى الداخلية الناتجة عن الانعطاف، يظهر الشكل (6 - 5) جائز بسيط مقطعه I محمل بحمولة مركزة وتشققات القص الصافي في جسد المقطع .



الشكل (6 - 5) : التشققات الناتجة عن القص في جسد جائز مقطعه I .

وتكون آلية انتقال القوى في الجائز المعرض لقوى خارجية مركزة أو موزعة بانتظام بتشكيل قوس ضغط في المناطق البيتونية غير المتشققة مع شداد

يعبر عن فولاذ التسليح الطولي أو أن تكون منطقة الضغط بشكل منكسر مع وجود شدداد كما يظهر الشكل (6 - 6) لنوعين مختلفين من الحملات الخارجية على جانز ذو مقطع مستطيل .



الشكل (6 - 6) : آلية انتقال القوى ومقاومة العنصر للقوى الخارجية .

مع زيادة الحملات الخارجية تتزايد التشققات مما يؤدي إلى انهيار العنصر على القص .

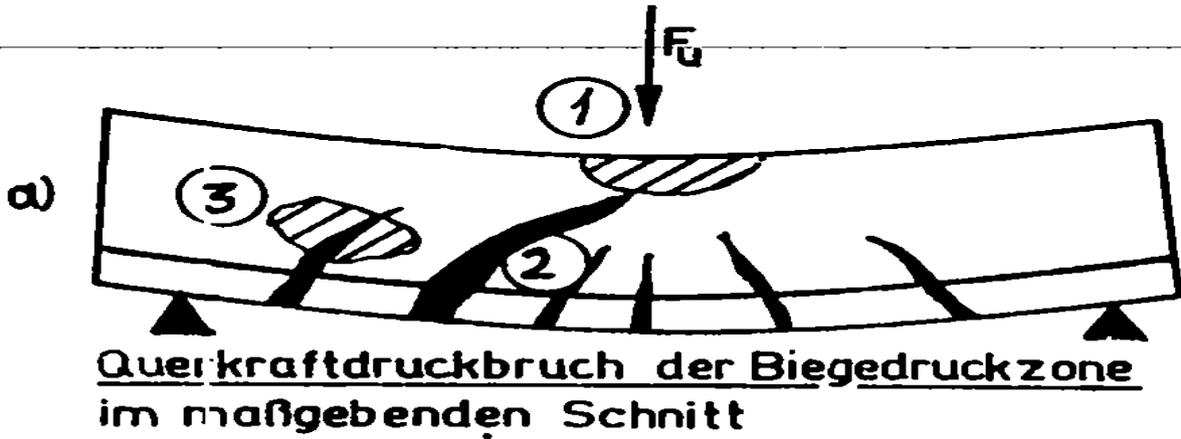
2.5.6 - انكسار العناصر المسلحة على القص :

6 - 5 - 2 - 1 - الانكسار على القص في منطقة الضغط العلوية (منطقة الاجهادات الناعمية الضاغطة) .

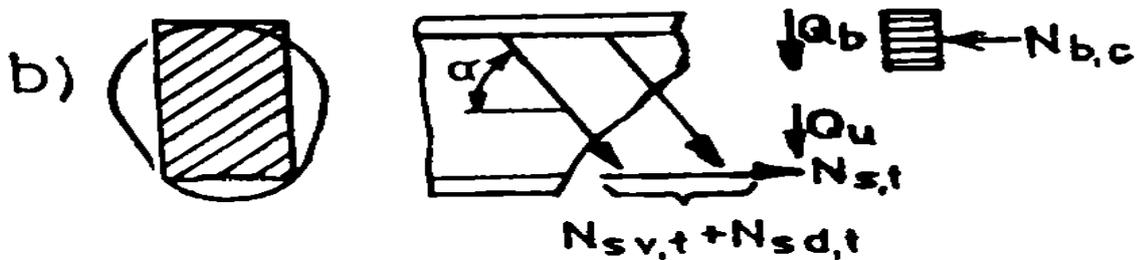
يحدث هذا الانهيار في العناصر المسلحة على القص بشكل جيد ، حيث تتوسع الشقوق الناتجة عن الانعطاف في مناطق القص الأعظمي وتأخذ مساراً موازياً لخطوط الضغط ، مع زيادة الحملات الخارجية تتوسع هذه الشقوق ، وتصل الإجهادات في فولاذ التسليح العرضي إلى الإجهادات الحدية (نسبة تسليح عرضي صغيرة) وكذلك تمتد الشقوق الناتجة عن القص بسرعة نحو الأعلى مسببة تخفيض ارتفاع منطقة الضغط العلوية بشكل كبير مما يؤدي إلى انهيار مفاجيء في العنصر . انظر الشكل (6 - 8) المنطقة رقم (1) و (b) .

وشكل الانهيار هذا هو اساس نموذج الحساب على القص حيث يتم تحقيق القص لهذا الانهيار بتسليح عرضي حسابي وتحديد قيمة قصوى للإجهادات الناتجة عن القص .

6. 5. 2 - 2. الانكسار على القص في منطقة الإجهادات المائلة الشادة :
 يظهر شكل الانهيار هذا في العناصر المسلحة على القص بشكل ضعيف ذات الأجساد الرقيقة حيث تتزايد الإجهادات المائلة مع زيادة القوى الخارجية حتى يصل فولاذ التسليح العرضي إلى حد السييلان مسببة شقوقا كبيرة تمتد نحو الأسفل ويحصل الانهيار في هذه المنطقة عنى الشد كما يظهر الشكل (6 - 9) ، تطور هذه الشقوق في جائز (I) حتى الانهيار ، انظر أيضا الشكل (6 - 8) المنطقة (2). ونوع الانهيار هذا هو الغالب في العناصر البيتونية المسلحة مسبقة الإجهاد .

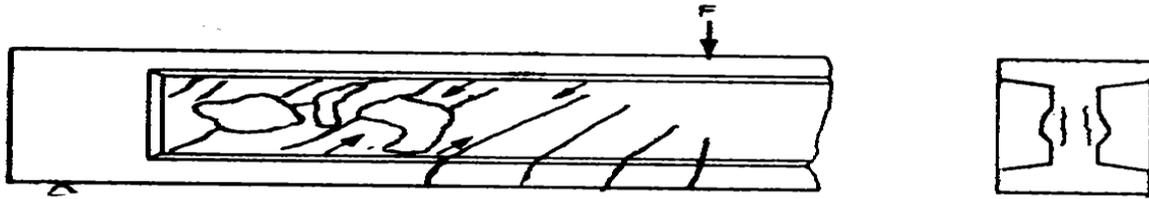


نموذج الحساب في المقطع الحرج



الشكل (8.6) : انكسار العناصر على القص .

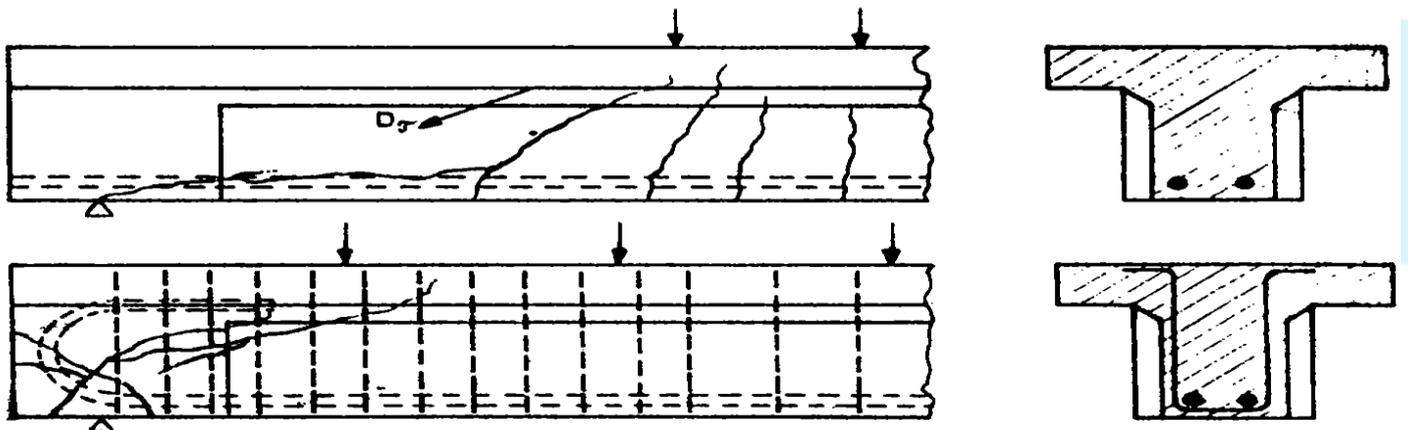
6 - 5 - 2 - 3 - الانكسار على القص نتيجة لانتهيار البيتون على الضغط : يحدث هذا الانتهيار في المقاطع ذات تسليح عرضي كبير في منطقة الجسد بحيث تنشأ شقوق ناتجة عن القص مما يؤدي إلى انقسام العنصر إلى مجموعاً من مواشير الضغط تنقل إجهادات الضغط إلى الجزء السفلي من العنصر وعند زيادة الحملات الخارجية على العنصر تنهار هذه المواشير بشكل مفاجيء قبل أن يصل فولاذ التسليح العرضي إلى حد السيلا . شكل الانتهيار هذا يحدد حمولة الانتهيار القصوى على القص لهذه الجوائز وهي بالتالي تتأثر بمقاومة البيتون على الضغط (f_c') . انظر الشكل (6 - 10) و (6 - 8) المنطقة (3) .



الشكل (6 - 10) : انهيار العنصر على القص بتأثير الإجهادات المائلة على الضغط .

6 - 5 - 2 - 4 - الانتهيار في منطقة الارساء :

بتأثير آلية انتقال القوى في العنصر إلى المساند " الانتقال عبر قوس الضغط " يتعرض فولاذ التسليح الطولي بالقرب من المساند إلى إجهادات كبيرة ولن يستطيع نقل القوى من مواشير الضغط إلى العنصر السفلي في هذا النموذج وهو فولاذ التسليح الطولي إذا لم تكن هناك منطقة ارساء جيدة لفولاذ التسليح الطولي ويكون هذا الانتهيار فجائي . ويجدر بالذكر هنا أن انقلاع فولاذ التسليح الطولي وتخراب منطقة الارساء لايعتبر انهياراً ناتجاً عن القص . انظر الشكل (6 - 11)



الشكل (6 - 11) : الانتهيار في منطقة الإرساء .

تتشكل مقاومة العنصر على القص من المقادير التالية :

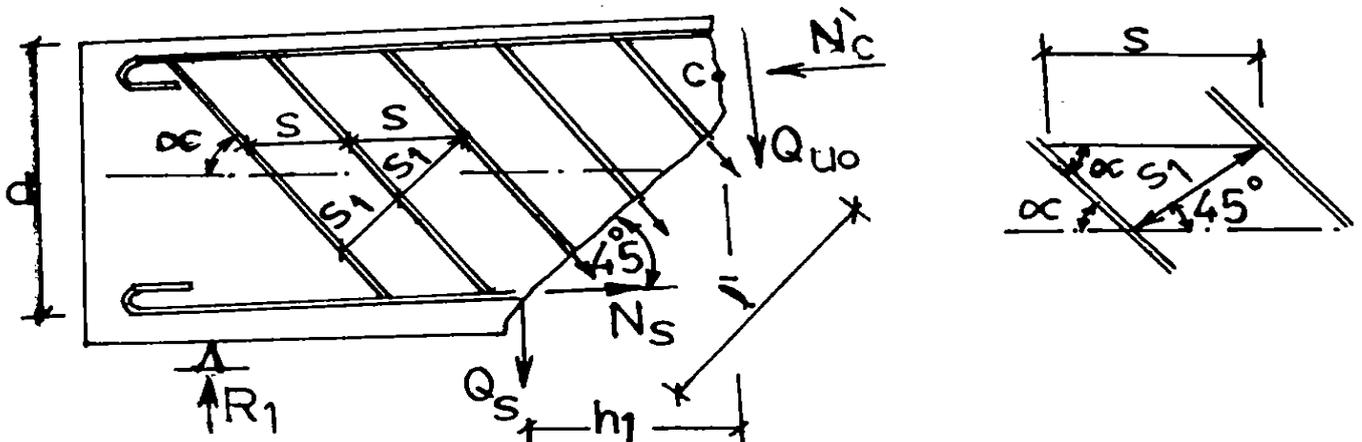
- مقاومة البيتون في منطقة الضغط (غير المتشققة) على القص Q_{uo} .
 - مقاومة فولاذ التسليح العرضي (الاساور والقضبان المائلة) Q_{Ab} ، Q_{st} .
 - مقاومة فولاذ التسليح الطولي .
 - مقاومة العنصر في الشق نفسه نتيجة الاحتكاك بين طرفي الشق الخشنيين .
- وبشكل عام يمكن إهمال هذا المقدار لمصلحة الامان .
- نكتب معادلة توازن القوى الشاقولية على هذا النموذج :

$$Q_{(ext)c} = Q_{uo} + \sum_1^m A_b f_y \sin \alpha + Q_s$$

6.6. نموذج الحساب على القص (للقوى والإجهادات) :

سنستعرض فيما يلي أهم النماذج الحسابية للقص لعناصر مسلحة بشكل جيد على القص فبالاعتماد على أشكال انكسار العناصر على القص وآلية انتقال القوى في العناصر تم تطوير النموذجين التاليين :

- 1 - النموذج الحسابي انطلاقا من شكل الانكسار في منطقة الضغط (الفقرة 6 - 5 - 2 - 1) بوجود تسليح قص مائل بزاوية (α) على محور العنصر مساحته (A_b) في كل مستو على تباعد ثابت (S) انظر الشكل (6 - 12) .



الشكل (6.12) : النموذج الحسابي على القص .

باعتبار أن الشق قد ولد في فولاذ التسليح العرضي إجهادات كبيرة أوصلته حتى السيلان .

حيث : m - عدد مستويات القضبان التي تمر بمستوي الانكسار S_1 $m = \ell' / S_1$
 ℓ' - طول الشق العمودي على القضبان المائلة $\ell' = d\sqrt{2}$
 S_1 - تباعد مستويات القضبان

$$S_1 = \frac{S \cdot \sin \alpha}{\sin(\alpha + 45)}$$

$$m = \frac{d(\sin \alpha + \cos \alpha)}{S \cdot \sin \alpha}$$

- باهمال Q_s تصبح المعادلة بالشكل التالي :

$$Q_{(ext)t} = Q_{\infty} + \frac{d}{S} A_b \cdot f_y (\sin \alpha + \cos \alpha) \dots$$

وبما أن تصميم القص يكون في مرحلة الإنكسار فإننا نخفض طاقة تحمل للعنصر ، الطرف اليميني من المعادلة ، بالمقدار Ω وبتقسيم طرفي العلاقة على $\Omega b.d$ نحصل على معادلة الإجهادات التالية :

$$\tau_u = \tau_{\infty} + \frac{A_b \cdot f_y}{b \cdot s} (\sin \alpha + \cos \alpha) = \tau_{\infty} + \tau_{su} = \tau_{\infty} + \tau_{st} + \tau_{Ab}$$

- حيث : τ_{ou} - مساهمة البيتون في تحمل قوى القص .
 τ_{su} - مساهمة الفولاذ بشكل عام في تحمل قوى القص .
 τ_{st} - مساهمة التسليح الشاقولي في تحمل قوى القص .
 τ_{Ab} - مساهمة التسليح المائل في تحمل قوى القص .

إذا كان لدينا فقط تسليح شاقولي (أساور) أي $\alpha = 90^\circ$

ذو مساحة إجمالية في مستوى واحد $A_s = n \cdot a_s$

n - عدد فروع الأسوارة

a_s مساحة مقطع فرع الاسوارة، تكون مساهمة هذا التسليح τ_{st} :

$$\tau_{st} = \frac{n \cdot a_s \cdot f_y}{b \cdot s}$$

في حالة وجود قضبان مائلة بزاوية 45° :

$$\tau_b = \frac{A_b \cdot f_y \cdot \sqrt{2}}{b \cdot s}$$

ينص الكود العربي السوري في فقرته 9-2-7 على الافتراضات الأساسية لحالة حد الانهيار بتأثير الاجهادات المماسية كما يلي
9-2-7- الافتراضات الأساسية لحالة حد الانهيار بتأثير الإجهادات المماسية:
(الانهيار في مستوى مائل).

9-2-7-1- إن مقاومة عنصر ما خاضع لإجهادات مماسية ناتجة عن قوى القص، يجب أن تؤمن بمقاومة الخرسانة للإجهادات المماسية، بالإضافة إلى تسليح عرضي، يخترق المساحات التي تعمل فيها هذه الإجهادات المماسية.

يجب أن تحتوي العناصر المعرضة لإجهادات مماسية، على تسليح أدنى لمقاومة هذه الإجهادات، باستثناء العناصر الآتية:

أ - البلاطات العادية وقواعد الأساسات.

ب- الجوائز التي لا يزيد عمقها على 250mm أو 2.5 مرة سمك جناحها في حالة القطاعات بشكل (T)، ويشترط ألا يزيد إجهاد القص الحدّي فيها على 0.75 الإجهاد τ_{cu} الذي تستطيع الخرسانة تحمّله.

ج- الأعصاب التي لا يزيد إجهاد القص الحدّي فيها على 0.4 من الإجهاد الحدّي الذي تستطيع الخرسانة تحمّله.

9-2-7-2- تقاوم الإجهادات المماسية في عنصر ما، بتسليح عرضي من الأنواع الآتية:

أ - أساور عمودية على التسليح الرئيسي الطولي للعنصر.

ب- أساور مائلة بزواوية لا تقلّ عن 30° مع تسليح الشدّ الرئيسي.

ج- أساور حلزونية، أي متواصلة على طول العنصر، ومطوّقة لكامل قطاعاته.

د - قضبان طويلة مكسحة بزواوية لا تقلّ عن 30° مع تسليح الشدّ الرئيسي، على أنه يجب استعمال الأساور معه.

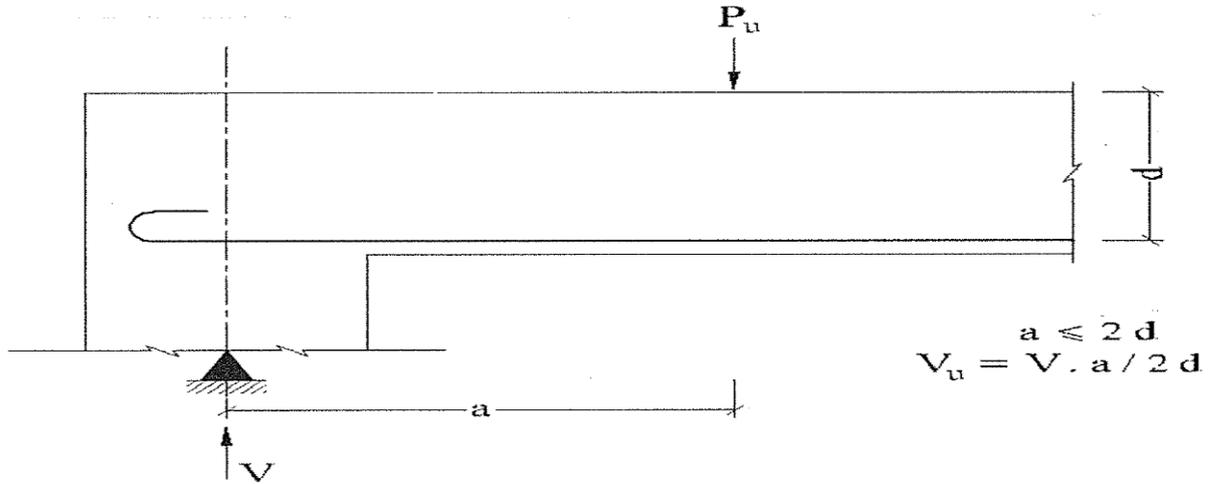
هـ- أو باستعمال اثنين أو أكثر من الأنواع السابقة.

9-2-8- تصميم القطاعات المعرضة لقوى القص الحديدية:

9-2-8-1- قوة القصّ المؤثرة لحساب إجهادات القصّ الحدّي:

أ - لحساب إجهادات القصّ، يُؤخذ في الحسبان عامّة أن أكبر قوة قصّ مؤثرة، هي تلك المحسوبة عند أوجه الركائز. أما في حالات الركائز المباشرة تحت الجوائز، حيث يتولد نتيجة هذا الارتكاز انضغاط عمودي على الحافة السفلى للجائز، فيُسمح بتصميم التسليح العرضي اللازم (وليس حساب إجهاد القصّ الأعظمي) على قيمة القصّ المؤثرة على الجائز، على مسافة من وجه الركيزة الداخلي، تساوي نصف الارتفاع الفعّال للجائز (0.5d).

ب- عند وجود حمل مركز P_u على مسافة (a) من الركيزة، تساوي أو تقل عن ضعف الارتفاع الفعال للجائز $(a \leq 2d)$ يُسمح في حساب إجهاد القص الناتج عن هذا الحمل، بأخذ قوة قص V_u مؤثرة، تساوي قوة القص الحسابية مضروبة في $\frac{a}{2d}$ (الشكل ٩-١٥).



الشكل (٩-١٥): حالة حمل مركز لا يبعد عن الركيزة أكثر من ضعف ارتفاع الجائز

ج- يمكن تثبيت قيمة قوة القص المؤثرة في المسافة بين أكبر قوة قص مؤثرة وبين الركيزة، تبعاً لخط مستقيم، يبدأ بقيمة أكبر قوة عند القطاع المحدد في الفقرة (أ) من هذا البند، ويستمر بالقيمة ذاتها حتى وجه الركيزة.

٢-٨-٢- الحساب الافتراضي لإجهاد القص الحدي:

أ- في حالة الجوائز الثابتة العمق، يُحسب إجهاد القص τ_u في قطاع ما، من العلاقة:

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.85 b_w d}$$

حيث: V_u = قوة القص المؤثرة على القطاع، والمحسوبة على أساس البند (٩-٢-٨-١).

b_w = عرض جذع القطاع.

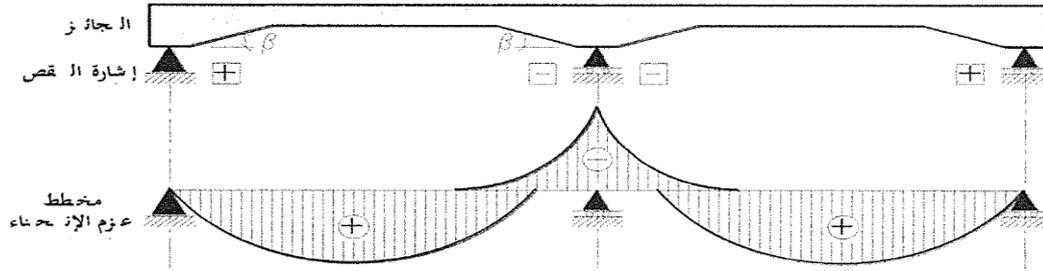
d = العمق الفعال للقطاع.

ب- في حالة الجوائز متغيرة العمق:

يُستعاض عن قوة القص V_{ur} بالقيمة V_u ، وفقاً للشكل (٩-١٥-أ).

حيث: $V_{ur} = V_u - M_u \tan \beta / d$

وحيث: $\tan \beta$ = ميل الشطفة $(\tan \beta \leq \frac{1}{3})$ مهما بلغت قيمة β .



الشكل (١٥-٩-أ): جائر مستمر ومتغير الارتفاع

يُفترض في هذه المعادلة أن عمق القطاع يزيد مع زيادة عزوم الانحناء، أما في حالة صغر عمق القطاع مع زيادة عزوم الانحناء، فيستعاض عن إشارة (-) بإشارة (+).

٩-٢-٨-٣- الحد الأدنى للتسليح العرضي في حالة القص الحدي:

في حال وجوب تسليح عرضي، حسب ما ورد في البند (١-٧-٢-٩)، للقطاعات المعرضة لقوى قص، فإن نسبة التسليح العرضي الدنيا يجب ألا تقل عن ما ورد في البندين (١-٤-٧) للأعمدة و(٧-٢-١-٧) للجوائز (الكمرات).

٩-٢-٨-٤- الإجهاد المماسي المسموح مقاومته بالخرسانة τ_{cu} الناتج عن القص الحدي:

أ- في العناصر المعرضة للانحناء والقص معاً، سواء كانت في العناصر الخطية أو البلاطات التي يزيد سمكها على 200 mm (ما عدا البلاطات أو الأساسات المعرضة لحمل أو رد فعل مركز (الفقرة ب أدناه))، وغير معرض لعزم قتل رئيسي أو قوة ناظرية، يُسمح للخرسانة مقاومة إجهادات مماسية τ_{cu} تساوي:

$$\tau_{cu} = 0.16\sqrt{f'_c} + 18 \mu_w \frac{V_u d}{M_u} \leq 0.31\sqrt{f'_c}$$

حيث: τ_{cu} = الإجهاد المماسي الذي تقاومه الخرسانة، والناتج عن القص الحدي مقدراً بـ (MPa).

f'_c = المقاومة المميزة للخرسانة في الضغط مقدرة بـ (MPa).

μ_w = نسبة التسليح الطولي المشدود في القطاع، محسوبة على أساس عرض الجسد.

d = الارتفاع الفعال للقطاع.

$M_u; V_u$ = قوة القص القصوى وعزم الانحناء الأقصى على القطاع، شرط ألا يزيد $\frac{V_u d}{M_u}$ على

1.0 وإلا يُؤخذ مساوياً 1.0

$$(\tau_{cu} = 0.5 \sqrt{f'_c} + 176 \mu_w \frac{V_u d}{M_u} \leq \sqrt{f'_c} \text{ بالوحدات المترية})$$

ويمكن للتبسيط الاستغناء عن حساب قيمة الإجهاد τ_{cu} من العلاقة السابقة واعتماد قيمة

عظمى له مساوية $\tau_{cu} = 0.23 \sqrt{f'_c}$ (بالوحدات المترية $\tau_{cu} = 0.72 \sqrt{f'_c}$).

ب- في البلاطات المليئة والأساسات بجوار الحمل أو رد الفعل المركز، يُسمح للخرسانة مقاومة

$$\tau_{cu} = \left(0.16 + \frac{a}{3b}\right) \cdot \sqrt{f'_c} \leq 0.31\sqrt{f'_c} \quad \text{تساوي: } \tau_{cu} \text{ مماسية}$$

$$(\tau_{cu} = \left(0.5 + \frac{a}{b}\right) \cdot \sqrt{f'_c} \leq \sqrt{f'_c} \quad \text{المنظّم المتري})$$

حيث: a طول الضلع الأقصر لمساحة الحمل أو رد الفعل المركز.

b طول الضلع الأطول لمساحة الحمل أو رد الفعل المركز.

ويمكن بدلاً عن العلاقات أعلاه حساب تحمل البلاطات والأساسات V_c من العلاقات (أ) إلى

(ج) الواردة في الملحق (ز) صفحة رقم (٣٦٢).

ج- عند ترافق القصّ مع قوة ضغط حدّية مقدارها N_u ، يُسمح للخرسانة مقاومة إجهادات مماسية

$$\tau_{cu} = \left(1 + 0.07 \cdot \frac{N_u}{A_c}\right) \times 0.16\sqrt{f'_c} \quad \text{افتراضية تساوي:}$$

$$(\tau_{cu} = (1 + 0.007 \cdot \frac{N_u}{A_c}) \cdot 0.5\sqrt{f'_c} \quad \text{المنظّم المتري})$$

حيث: A_c مساحة القطاع الخرساني الإجمالية.

د- عند ترافق القصّ مع قوة شدّ ناظرية حدّية مقدارها N_u ، يُسمح للخرسانة مقاومة إجهادات

$$\tau_{cu} = \left(1 - 0.3 \cdot \frac{N_u}{A_c}\right) \times 0.16\sqrt{f'_c} \geq 0 \quad \text{مماسية افتراضية تساوي:}$$

$$(\tau_{cu} = \left(1 - 0.03 \cdot \frac{N_u}{A_c}\right) \times 0.5\sqrt{f'_c} \geq 0 \quad \text{المنظّم المتري})$$

حيث: A_c مساحة القطاع الخرساني الإجمالية.

هـ- إذا كان الإجهاد المماسي المحسوب الحدّي τ_u في قطاع ما أصغر من τ_{cu} أو يساويه، لا

يُحسب التسليح العرضي، ويكتفى باستعمال نسبة التسليح الدنيا. أما إذا زادت قيمة

τ_u على τ_{cu} فتؤخذ قيمة الإجهاد المماسي الافتراضي الحدّي τ_{ou} الذي تقاومه الخرسانة

في هذا القطاع، بقيمة عظمية تحدد كما يلي:

(١) تساوي الصفر، إذا كان القطاع المدروس يتقاطع أو ينطبق مع فاصل صب أفقي أو

شاقولي أو مائل، وعندما يكون جزء من تسليح الشدّ الطولي الرئيسي الموجب منتهياً

ضمن المجاز وفي منطقة الشدّ ($\tau_{ou} = 0$).

(٢) في حال غياب أحد الشرطين السابقين، يمكن أخذ قيمة τ_{ou} بحيث لا تزيد على:

$$(\tau_{ou} = 0.35 \tau_{cu})$$

(٣) في حال غياب الشرطين السابقين (أي في الحالة المثالية للتصميم والتنفيذ)، تؤخذ قيمة

$$\tau_{ou} \text{ بحيث لا تزيد عن } (\tau_{ou} = 0.7 \tau_{cu}).$$

و- عند ترافق القصّ مع عزم فتل رئيسي، ينتج عنه إجهاد فتل τ_{tu} تزيد قيمته على $0.13\sqrt{f'_c}$ (بالنظام المتري $0.4\sqrt{f'_c}$) يُسمح للخرسانة في الحالة المثالية للتصميم والتنفيذ (أي وفق الفقرة ه- ٣ أعلاه)، مقاومة إجهادات مماسية افتراضية τ_{ou} تساوي:

$$\left(\tau_{ou} = \tau_{cu} = \frac{0.5 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\tau_{tu}}{1.2\tau_u}\right)^2}} \text{ (بالنظام المتري)} \right) \quad \tau_{ou} = \tau_{cu} = \frac{0.16 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\tau_{tu}}{1.2\tau_u}\right)^2}}$$

حيث: τ_{tu} = الإجهاد المماسي الحدّي المحسوب على القطاع المدروس.

τ_{tu} = الإجهاد المماسي الحدّي الناجم عن الفتل.

(١) أما في الحالة (ه- ١) أعلاه، فتؤخذ قيمة τ_{ou} مساوية الصفر.

(٢) أما في الحالة (ه- ٢) أعلاه، فتؤخذ قيمة τ_{ou} بحيث لا تزيد على القيمة الآتية:

$$\left(\tau_{ou} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\tau_{tu}}{1.2\tau_u}\right)^2}} \text{ (بالنظام المتري)} \right) \quad \tau_{ou} = \frac{0.08 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\tau_{tu}}{1.2\tau_u}\right)^2}}$$

ز- في حالة تعرّض العنصر إلى قوى شدّ تتسبب في وقوع المحور السليم خارج القطاع، يُصمم التسليح لمقاومة الإجهادات المماسية المحسوبة τ_{u} كاملة.

ح- لا يجوز، في حال من الأحوال، أن تزيد قيمة الإجهادات المماسية المحسوبة τ_u على

$\tau_{u \max} = 0.65 \sqrt{f'_c}$ (بالنظام المتري $2 \sqrt{f'_c}$) في حال استعمال أساور في اتجاه عمودي،

أو غير مقرونة بتسليح طولي مُكسّح، وعلى $\tau_{u \max} = 0.8 \sqrt{f'_c}$

($2.5 \sqrt{f'_c}$ بالنظام المتري) في حال استعمال أساور شاقولية وقضبان تسليح مائلة (أو أساور

شاقولية وأساور مائلة) بزاوية 45° مع التسليح الطولي.

ويُوضح الشكل (١٦-٩)، كيفية افتراض إجهادات القصّ التصميمية اللازمة لحساب تسليح

خاص لمقاومتها على الشدّ.

٩-٢-٨-٥- تصميم التسليح العرضي لمقاومة القصّ الحدّي:

أ- في حال استعمال أساور عرضية عمودية على التسليح الطولي يؤخذ الحد الأدنى لقطاعها:

$$A_{st} = \frac{(\tau_u - \tau_{ou}) \cdot b_w \cdot s}{f_y}$$

ب- في حال استعمال أساور مائلة أو تسليح مُكسّح يميل على محور التسليح الرئيسي بزاوية α

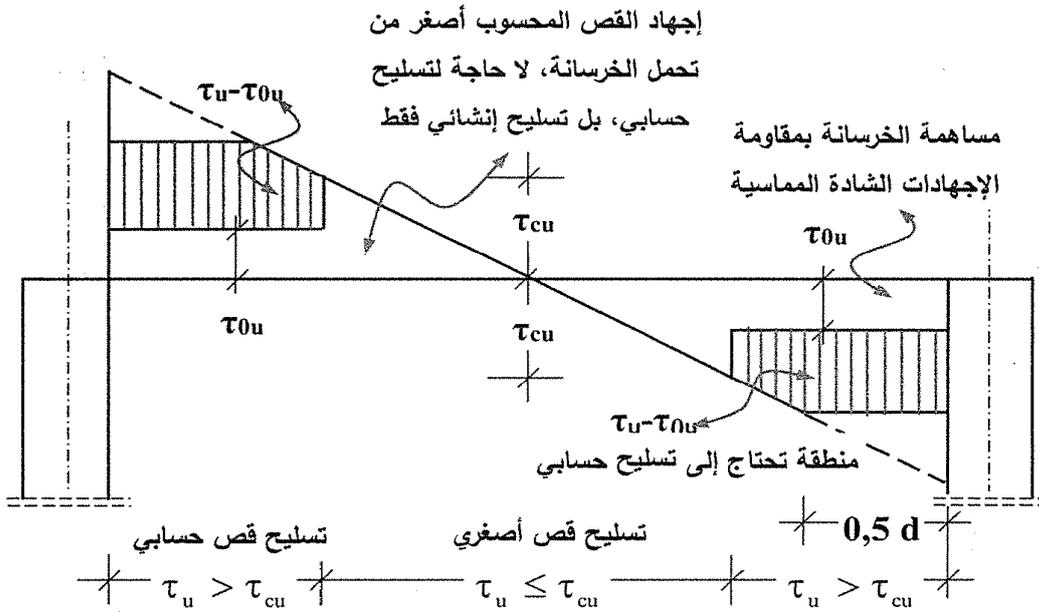
يؤخذ الحد الأدنى لقطاعها:

$$A_{st} = \frac{(\tau_u - \tau_{ou}) \cdot b_w \cdot s}{f_y (\sin \alpha + \cos \alpha)}$$

إذا كانت $\alpha = 45^\circ$ فتكون:

$$A_{st} = \frac{(\tau_u - \tau_{ou}) \cdot b_w \cdot s}{\sqrt{2} \cdot f_y}$$

ج- إذا كان التسليح العرضي مؤلفاً من عدة أنواع، يكون قطاع التسليح الأدنى، مساوياً لمجموع قطاعات الأنواع المختلفة، على أن تؤخذ مقاومة الخرسانة الافتراضية τ_{ou} مرة واحدة في هذه الحسابات.



τ_{ou} = الإجهاد المماسي الحدّي الافتراضي الذي تقاومه الخرسانة.

τ_{cu} = الإجهاد المماسي الحدّي المسموح بالخرسانة، ويحتاج لنسبة تسليح دنيا.

τ_u = الإجهاد المماسي الحدّي المحسوب.

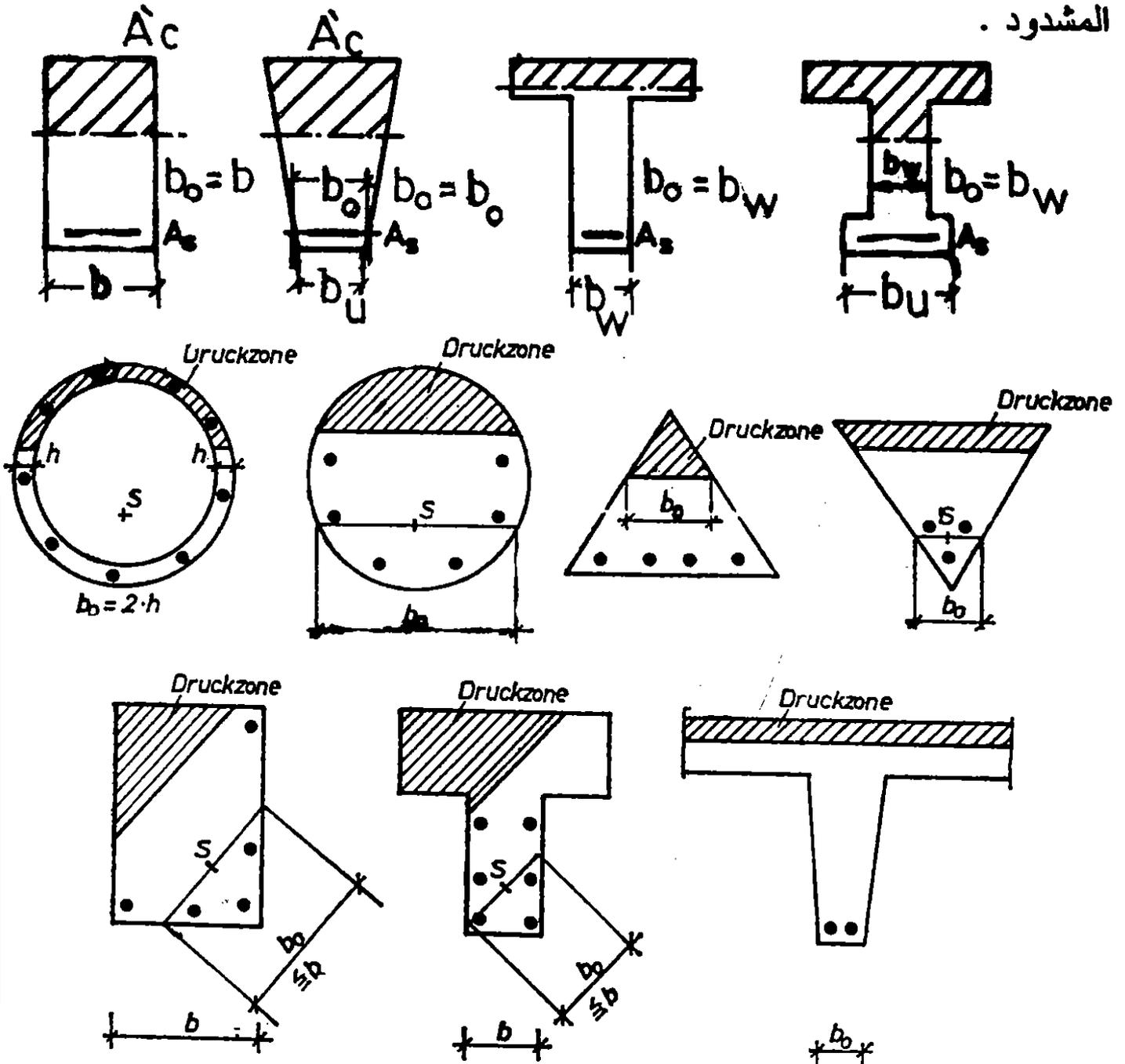
الشكل (١٦-٩): إجهادات القص الحدية التصميمية لحساب التسليح العرضي

- إذا كان الإجهاد المماسي الحدّي المحسوب τ_u في مقطع ما أصغر من τ_{cu} أو يساويه فلا يحسب التسليح العرضي ويكتفى باستعمال نسبة التسليح الدنيا كما يلي:

$$(A_s)_{min} = \frac{0,35}{f_y} \cdot b_w \cdot s$$

حيث - s : التباعد بين مستويات الأساور .

- عرض جزع المقطع ويمكن استنتاجه من الشكل (6 - 17) ،
حيث : ($b_o = b_w$) و b_o هو العرض في مستوى مركز ثقل فولاذ التسليح
المشدود .



الشكل (6 - 17) : عرض المقطع الحسابي لتحديد إجهادات القص في المقطع .

اما ترتيبات التسليح العرضي فقد ذكرت في ترتيبات التسليح في الجوائز ونعيد تلخيصها فيما يلي :

بعد حساب التسليح اللازم الطولي والعرضي يجب مراعاة الترتيبات التالية الخاصة بتسليح القص :

- لا يقل قطر التسليح العرضي عن ثلث أكبر قطر للتسليح الطولي المرتبط به إذا كان مضغوطا .

- لا تزيد المسافة بين كل فرعين متجاورين للتسليح العرضي عن 300 mm .

- يجب ألا تتجاوز المسافة بين الأربطة العرضية (الأساور) نصف العمق الفعال للمقطع $d/2$ مع حد أقصى 300 mm ، عدا في الجوائز المخفية الحاملة لبلاطات الهوردي المفرغة والجوائز التي يزيد عرضها عن 3 أمثال ارتفاعها حيث يسمح أن تصل إلى d .

- في حالة الجوائز التي لها تسليح ضغط يجب أن تطوق الأساور كامل المقطع و إلا تزيد المسافة بينها عن 15 مرة قطر السيخ المضغوط أو 200 mm أيهما أقل ، وذلك ضمانا لعدم تحنيط قضبان التسليح .

. يثبت التسليح العرضي في أطرافه وفقا لقواعد التثبيت الخاصة .

- في حال استعمال أساور مائلة أو أسياخ طولية مكسحة ، يجب أن يحتوي الخط المائل بزاوية 45° على محور العنصر والمرسوم من أسفل الوجه الداخلي للركيزة على أسوار أو سيخ مكسح .

- في حال استخدام قضبان مكسحة لمقاومة القص فيجب ألا تزيد المسافة بين كل صفيين من القضبان المكسحة عن عمق الكمره الفعال d ، إذا كانت إجهادات القص $(\tau_{cu} \geq 1,5\tau_{cu})$ ، أما إذا قلت إجهادات القص عن ذلك فيمكن زيادة المسافة بين القضبان المكسحة إلى مرة ونصف العمق الفعال $(1,5 \cdot d)$.

- يراعى قدر الإمكان أن تكون قضبان التسليح المكسحة من الأسياخ الداخلية ، وأن تكون متماثلة بالنسبة للمقطع العرضي للعنصر وألا تقاوم أكثر من نصف الإجهادات المماسية .

- يراعى في الجوائز الطرفية ذات المقطع (L) باستخدام أساور مطوقة للجسد .

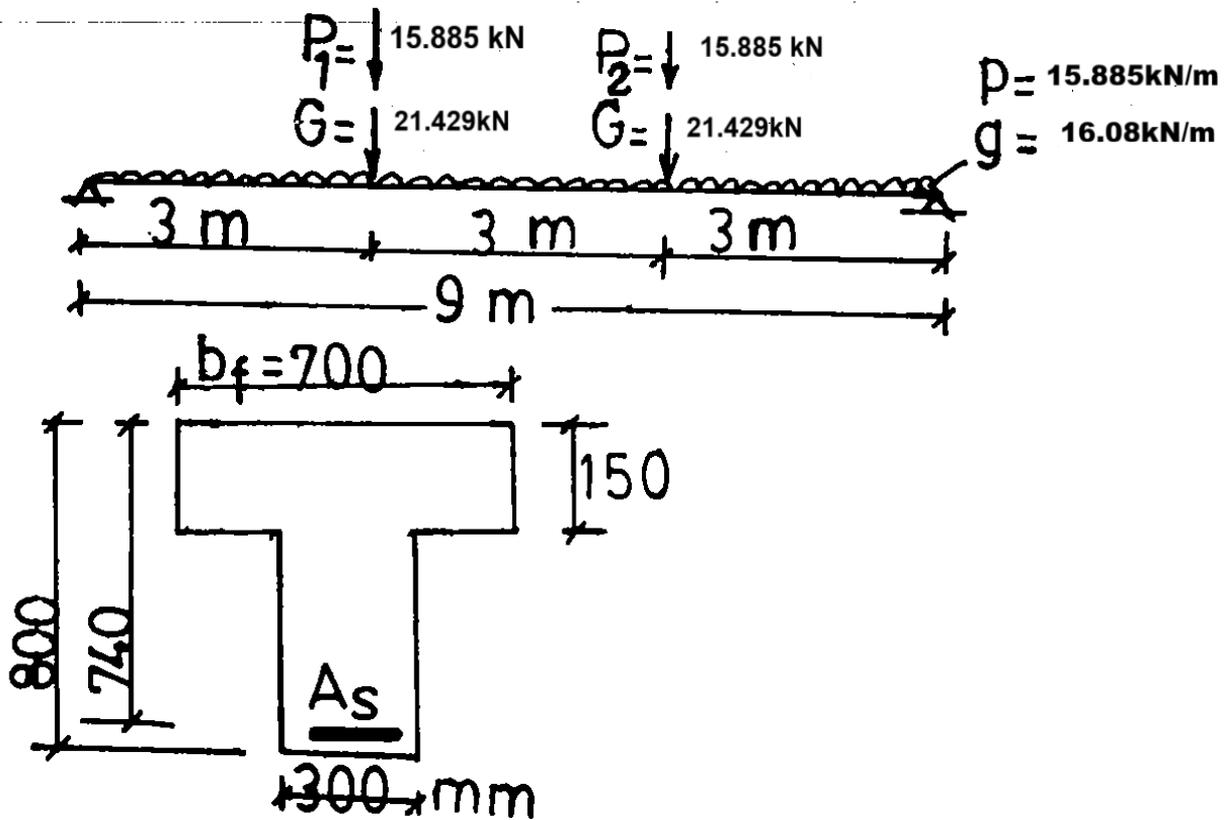
أمثلة في الحساب على القص :

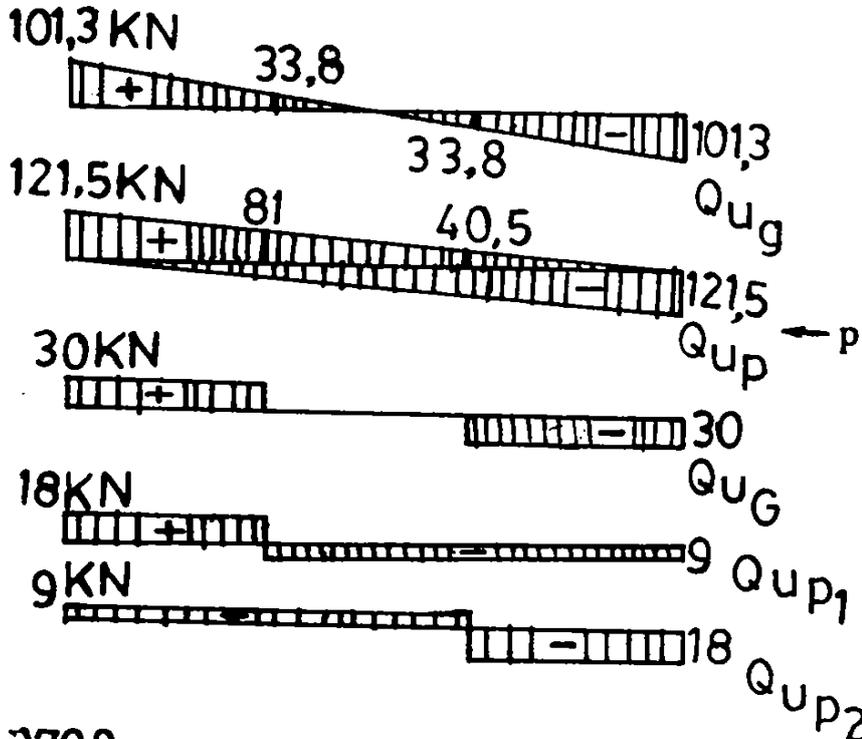
مثال 1 :

جائز بسيط مقطعه العرضي T أبعاده مبينة على الشكل ومحمل بحمولة موزعة بانتظام مبيتة بما فيها الوزن الذاتي $g = 16.08 \text{ KN/m}$ وحمولة حية $p = 15.885 \text{ KN/m}$ وحمولات مركزة متوضعة على الجائز كما في الشكل مقدارها مبيتة $G = 21.429 \text{ KN}$ وحية $P = 15.885 \text{ KN}$. اذا كان عرض عمود الاستناد 400 mm و $f'_c = 15 \text{ N/mm}^2$ و $f_y = 240 \text{ N/mm}^2$. المطلوب تصميم الجائز على القص.

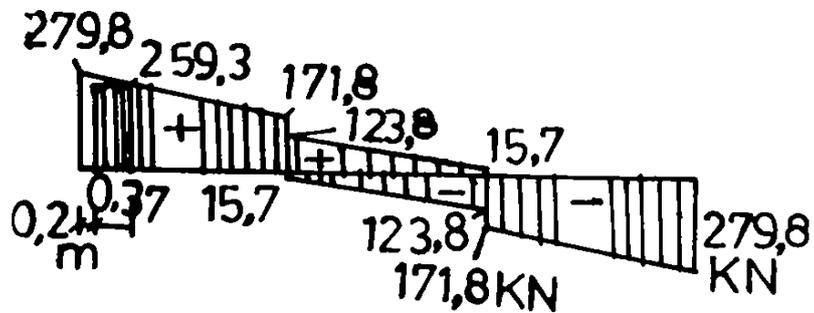
الحل :

ملاحظة: معامل خفض المقاومة على القص والفتل او احدهما Ω يساوي 0.75 وتساوي 0.85 اذا كانت القوة او الفتل من الاحمال الشاقولية فقط. حسب الفقرة 6-3-3 من الكود وهي حالتنا في هذا المثال.

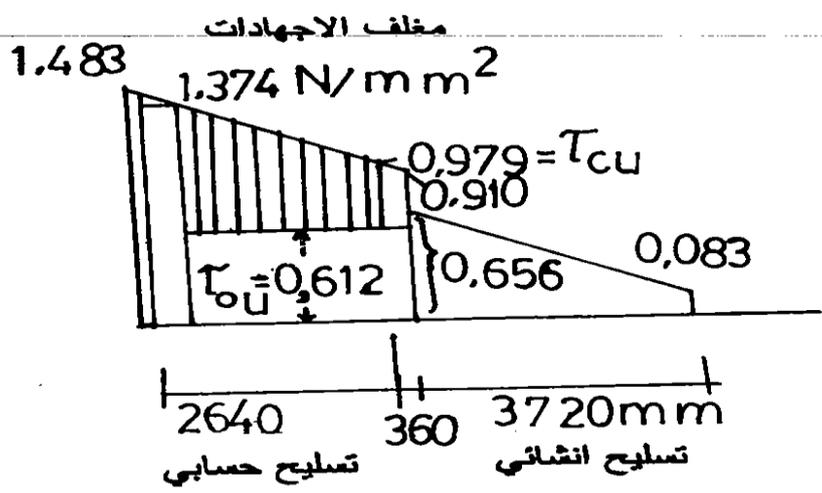




نوجد مغلف القص ومن ثم
مغلف إجهادات القص .
مغلف القص للحمولة الحية p



مغلف القص الأقصى النهائي
 Q_u



$$\tau_u = \frac{Q_u}{0,85 \cdot b_w \cdot d}$$

$$\tau_u = \frac{Q_u}{0,85 \cdot 300 \cdot 740}$$

$$\tau_{u \max} = 0,65 \sqrt{f'_c} = 0,65 \sqrt{15} = 2,51 \text{ N/mm}^2 >$$

$$> \tau_u = 1,374 \text{ N/mm}^2$$

المقطع مقبول .

$$\tau_{ou} = 0,23\sqrt{f'_c} = 0,23\sqrt{15} = 0,89 \text{ N/mm}^2 < 1,374 \text{ N/mm}^2$$

يلزم تسليح حسابي للقص في الثلثين الطرفين من الجانز .

$$\tau_{ou} = 0,16\sqrt{f'_c} = 0,16\sqrt{15} = 0,619 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\alpha} = \tau_u - \tau_{ou} = 1,374 - 0,619 = 0,755 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\alpha} = \frac{n \cdot a_s \cdot f_y}{b \cdot S}$$

بفرض استخدام أساور $\phi 8 \text{ mm}$ بفرعين يكون التباعد S مساويا :

$$S = \frac{n \cdot a_s \cdot f_y}{b \cdot \tau_{\alpha}} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 240}{300 \cdot 0,755} = 105 \text{ mm}$$

نأخذ $S = 100 \text{ mm}$ نبداً عند المسند بتباعد $s = 100 \text{ mm}$ ويمكن زيادة التباعد بالتدرج إلى أن يصل التباعد عند منطقة التسليح الإنشائي بالتباعد اللازم للتسليح الإنشائي .

نسبة التسليح الدنيا :

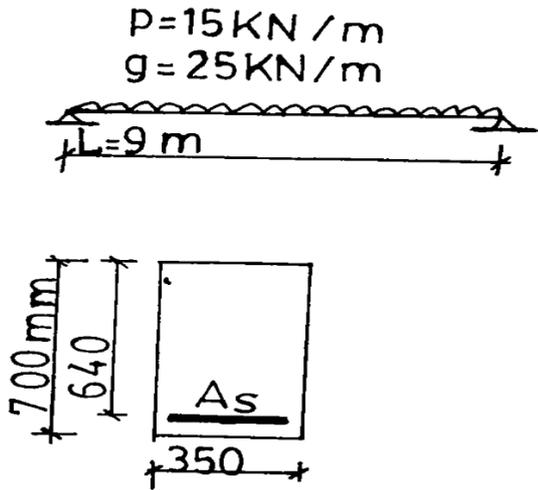
$$\mu_{\min} = \frac{n \cdot a_s}{b_w \cdot s} = \frac{0,35}{f_y}$$

باستخدام أساور $\phi 8 \text{ mm}$ بفرعين :

$$S = \frac{n \cdot a_s \cdot f_y}{0,35 \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 240}{0,35 \cdot 300} = 228,5 \text{ mm}$$

نأخذ $S = 200 \text{ mm}$ ونستخدم كتسليح إنشائي $\phi 8 \text{ mm} / 200 \text{ mm}$

مثال 2 :



جائز بسيط مجازه $L = 9 \text{ m}$
يتعرض لحمولات موزعة بانتظام $g = 25 \text{ KN/m}$ (بما في ذلك الوزن الذاتي) $p = 15 \text{ KN/m}$
مقطع الجائز مستطيل أبعاده مبينة على الشكل. عرض الاستناد 400 mm
 $f'_c = 15 \text{ N/mm}^2$
 $f_y = 240 \text{ N/mm}^2$
المطلوب تصميم الجائز على القص.

الحل :

ملاحظة: معامل خفض المقاومة على القص والفتل او احدهما Ω يساوي 0.75 وتساوي 0.85 اذا كانت القوة او الفتل من الاحمال الشاقولية فقط. حسب الفقرة 6-3-3 من الكود وهي حالتنا في هذا المثال.

لنجد مغلف القص ومن ثم مغلف الاجهادات المماسية الناتجة عن القص :

$$Q_{u,gx} = 157.5 - 1.4 * 25 * x = 157.5 - 35 * x$$

$$Q_{u,px} = \frac{(9 - x)^2}{2} * 1.7 * \frac{15}{9} = 114.75 - 25.5 * x + 1.4 * x^2$$

$$Q_{u,gx} + Q_{u,px} = 0$$

$$157.5 - 35 * x + 114.75 - 25.5 * x + 1.4 * x^2 = 0$$

$$\Rightarrow x = 5.103 \text{ m}$$

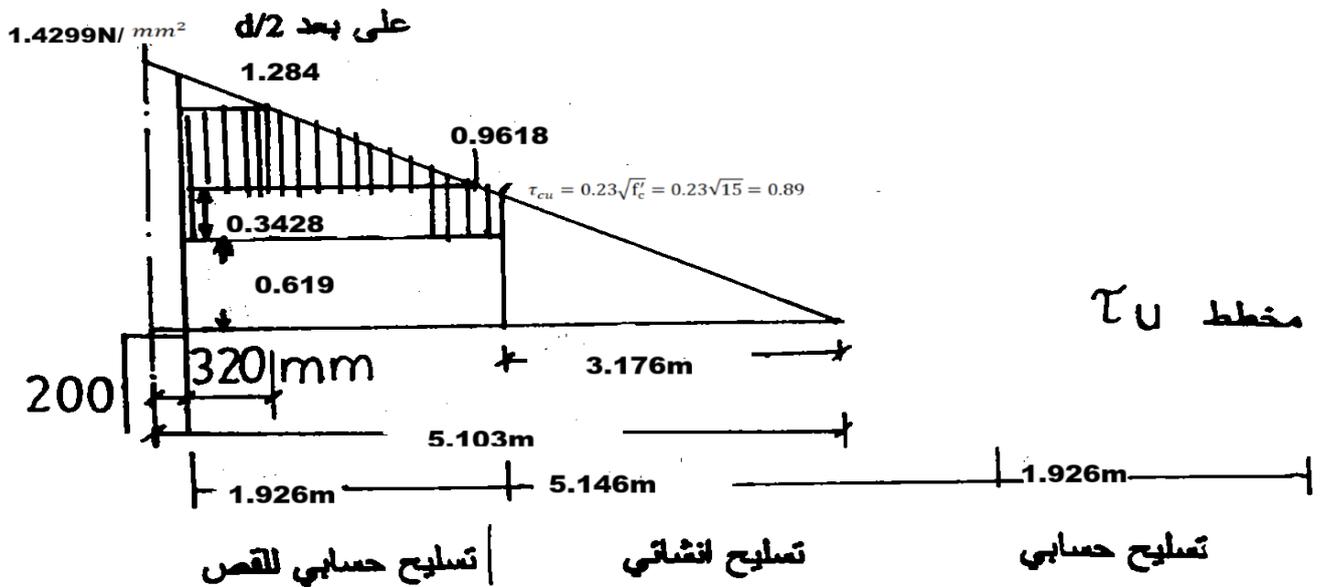
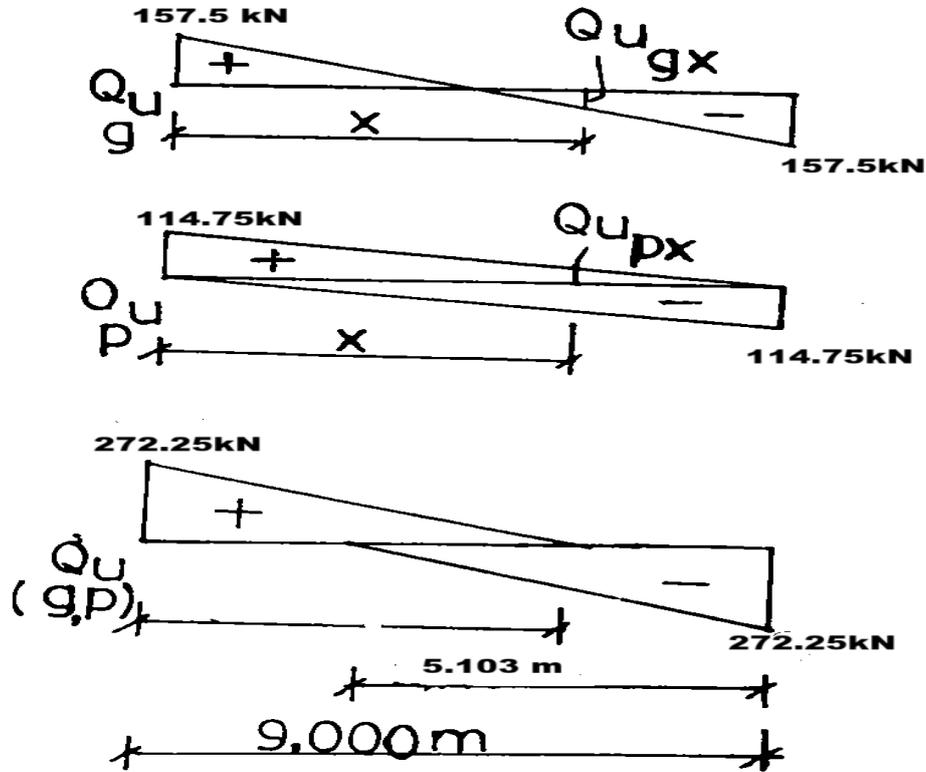
وعلى بعد $d/2$ من وجه المسند تكون الاجهادات والاجهاد الذي تتحمله الخرسانة وبعد المقارنة :

$$\tau_{cu} = 0.23\sqrt{f'_c} = 0.23\sqrt{15} = 0.89 \text{ N/mm}^2 < \tau_u = 1.284 \text{ N/mm}^2$$

يلزم تسليح حساسي على القص .

عندها تكون مساهمة البيتون :

$$\tau_{0u} = 0.16\sqrt{f'_c} = 0.16\sqrt{15} = 0.619 \text{ N/mm}^2$$



لنتحقق من كفاية المقطع :

$$\tau_{max} = 0.8\sqrt{f'_c} = 0.8\sqrt{15} = 3.09 \frac{N}{mm^2} > 1.284 \frac{N}{mm^2} \text{ المقطع مقبول}$$

ما يتحمله التسليح من اجهادات :

$$\tau_s = \tau_u - \tau_{0u} = 1.284 - 0.619 = 0.665 \text{ N/mm}^2$$

بفرض استخدام اساور تتحمل نصف الاجهادات على الاقل وتسليح مكسح يتحمل نصف الاجهادات على الاك ثر وتكون حصة الاساور

$$\tau_{st} = 0.665/2 = 0.3325 \text{ N/mm}^2$$

بفرض استخدام اسورة بفرعين قطرها 8mm يكون تباعد مستويات الاتاري :

$$\tau_{st} = \frac{n * a_s * f_y}{b * s} = \frac{2 * 50 * 240}{350 * s} = 0.3325 \Rightarrow s = 206\text{mm}$$

$$\tau_{st} = \frac{2*50*240}{350*200} = 0.3428 \text{ نأخذها } s = 200\text{mm} \text{ ويكون ما تتحمله الاسورة بهذه الافتراضات}$$

ما يجب ان يتحمله التسليح المكسح :

$$\tau_b = 0.665 - 0.3428 = 0.3221 \text{ N/mm}^2$$

المساحة التي يتحملها التسليح المكسح من مخطط الاجهادات :

$$\sum \tau_b * S = \frac{1458 * s * b}{2} * 0.3221 = 286.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$A_b = \frac{\tau_b * s * b}{\sqrt{2} * f_y} = \frac{286.3 * 350 * 1.2}{\sqrt{2} * 240} = 300\text{mm}^2 = 3\text{cm}^2$$

باعتبار اننا نضرب ب1.2 للاخذ بعين الاعتبار احتمال انزياح مركز ثقل المساحة الواجب على هذا التسليح تغطيتها .

$$2\phi 16 = 4.2 \text{ cm}^2 \quad \text{نختار :}$$

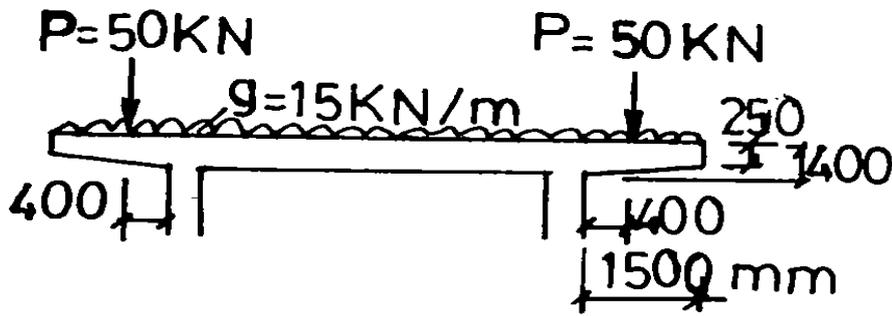
التسليح الانشائي على القص :

$$\mu_{min} = \frac{n * a_s}{b * s} = \frac{0.35}{f_y} \Rightarrow s = \frac{2 * 50 * 240}{0.35 * 350} = 196\text{mm}$$

نختار اساور $\phi 8/19 \text{ cm}$ كتسليح انشائي على القص .

مثال 3 :

يطلب تصميم الظفر من الجائز المبين ادناه وذلك لمقاومة الاجهادات الناتجة عن القص علما أنه يتعرض الى حمولة موزعة بانتظام مقدارها 15 kN/m بما فيها الوزن الذاتي للجائز وقوة حية مركزة مقدارها 50 kN على بعد 40 cm عن وجه المسند ، عرض الجائز $b = 20 \text{ cm}$ ، الظفر متدرج حيث يبدأ بارتفاع مقداره $h_t = 40 \text{ cm}$ عند وجه المسند (المقطع مستطيل) بفرض : $f_y = 240 \text{ N/mm}^2$ و $f'_c = 20 \text{ N/mm}^2$



الحل :

ارتفاع المقطع عند وجه المسند : $h_t = 40 \text{ cm} \Rightarrow d = 35 \text{ cm}$

ارتفاع المقطع عند القوة المركزة : $h_t = 36 \text{ cm} \Rightarrow d = 31 \text{ cm}$

العزم عند وجه المسند : $M_u = 1.4 * 15 \frac{1.5^2}{2} + 1.7 * 50 * 0.4 = 57.625 \text{ kN.m}$

القص عند وجه المسند : $Q_u = 1.4 * 15 * 1.5 + 1.7 * 50 * (40/2 * 31) = 86.338 \text{ kN}$

وتكون الاجهادات عند وجه المسند : $\tau_u = \frac{Q_u}{\Omega * b * d} - \frac{M_u * t g \alpha}{\Omega * b * d^2}$

$$\tau_u = \frac{86338}{0.85 * 200 * 350} - \frac{57300000 * (\frac{150}{1500})}{0.85 * 200 * 350^2} = 1.1743 \text{ N/mm}^2$$

وتكون الاجهادات عند نقطة تطبيق القوة المركزة :

العزم وقوة القص يمين ويسار القوة المركزة : $M_u = 1.4 * 15 \frac{1.1^2}{2} = 12.705 \text{ kN.m}$

$$Q_{ur} = 1.4 * 15 * 1.1 = 23.1 \text{ kN}$$

$$Q_{ul} = 1.4 * 15 * 1.1 + 1.7 * 50 * (40/2 * 31) = 77.9387 \text{ kN}$$

والاجهادات يمين ويسار القوة المركزة :

$$\tau_{ur} = \frac{23100}{0.85 * 200 * 310} - \frac{12705000 * (\frac{150}{1500})}{0.85 * 200 * 310^2} = 0.36 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{ul} = \frac{77938.7}{0.85 * 200 * 310} - \frac{12705000 * \left(\frac{150}{1500}\right)}{0.85 * 200 * 310^2} = 1.4011 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{cu} = 0.23\sqrt{f'_c} = 0.23\sqrt{20} = 1.028 \text{ N/mm}^2 < \tau_u = 1.4011 \text{ N/mm}^2$$

يلزم تسليح حساسي على القص .

عندها تكون مساهمة البيتون :

$$\tau_{0u} = 0.16\sqrt{f'_c} = 0.16\sqrt{20} = 0.715 \text{ N/mm}^2$$

لنتحقق من كفاية المقطع :

$$\tau_{max} = 0.8\sqrt{f'_c} = 0.65\sqrt{20} = 2.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > 1.4011 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ المقطع مقبول}$$

$$\tau_s = \tau_u - \tau_{0u} = 1.4011 - 0.715 = 0.686 \text{ N/mm}^2$$

بفرض استخدام اسواره بفرعين قطرها 6mm يكون تباعد مستويات الاتاري :

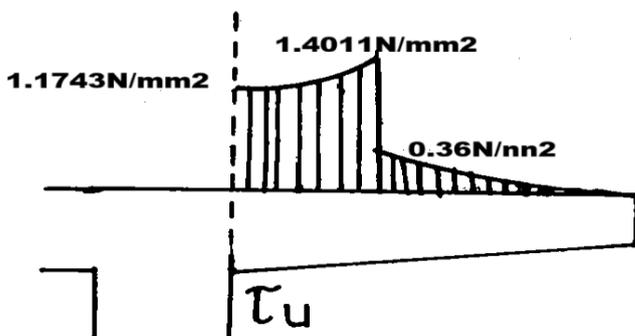
$$\tau_{st} = \frac{n * a_s * f_y}{b * s} = \frac{2 * 28 * 240}{200 * s} = 0.686 \Rightarrow s = 98\text{mm}$$

نستعمل يسار القوة المركزة اساور بفرعين $\phi 6\text{mm}/9.5\text{cm}$ والى يمين القوة المركزة , حيث لا حاجة لتسليح حساسي نستعمل اسواره

بفرعين $\phi 6\text{mm}$ بتباعد :

$$\mu_{min} = \frac{n * a_s}{b * s} = \frac{0.35}{f_y} \Rightarrow s = \frac{2 * 28 * 240}{0.35 * 200} = 192\text{mm}$$

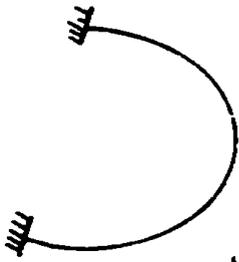
ناخذ: $\phi 6\text{mm}/15\text{cm}$



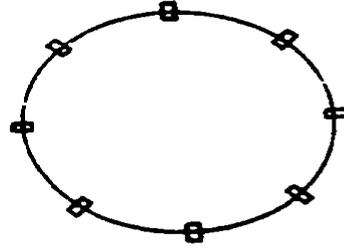
العناصر الخاضعة لقوى الفتل في الخرسانة المسلحة :

مقدمة :

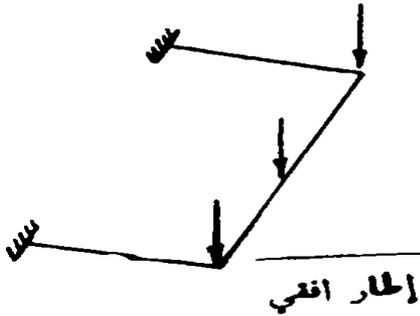
تصادفنا في الواقع بعض العناصر البيتونية الخاضعة لعزوم فتل M_t بأشكال مختلفة مثل الجوائز الحلقية أو أجزاء منها ، إطارات فراغية أو مستوية أفقية ، الجوائز الحاملة للشرفات أو الجوائز الطرفية الحاملة للبلاطات . انظر الاشكال (1 - 7) ، (2 - 7) ، (3 - 7) .



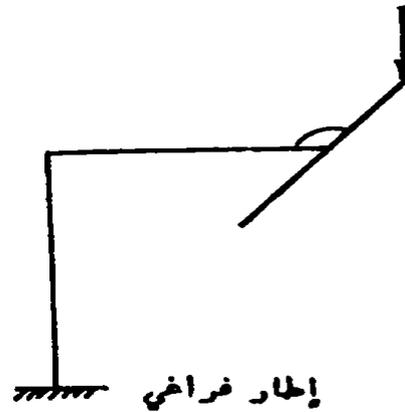
جزء من جوائز حلقي



جوائز حلقي



إطار أفقي



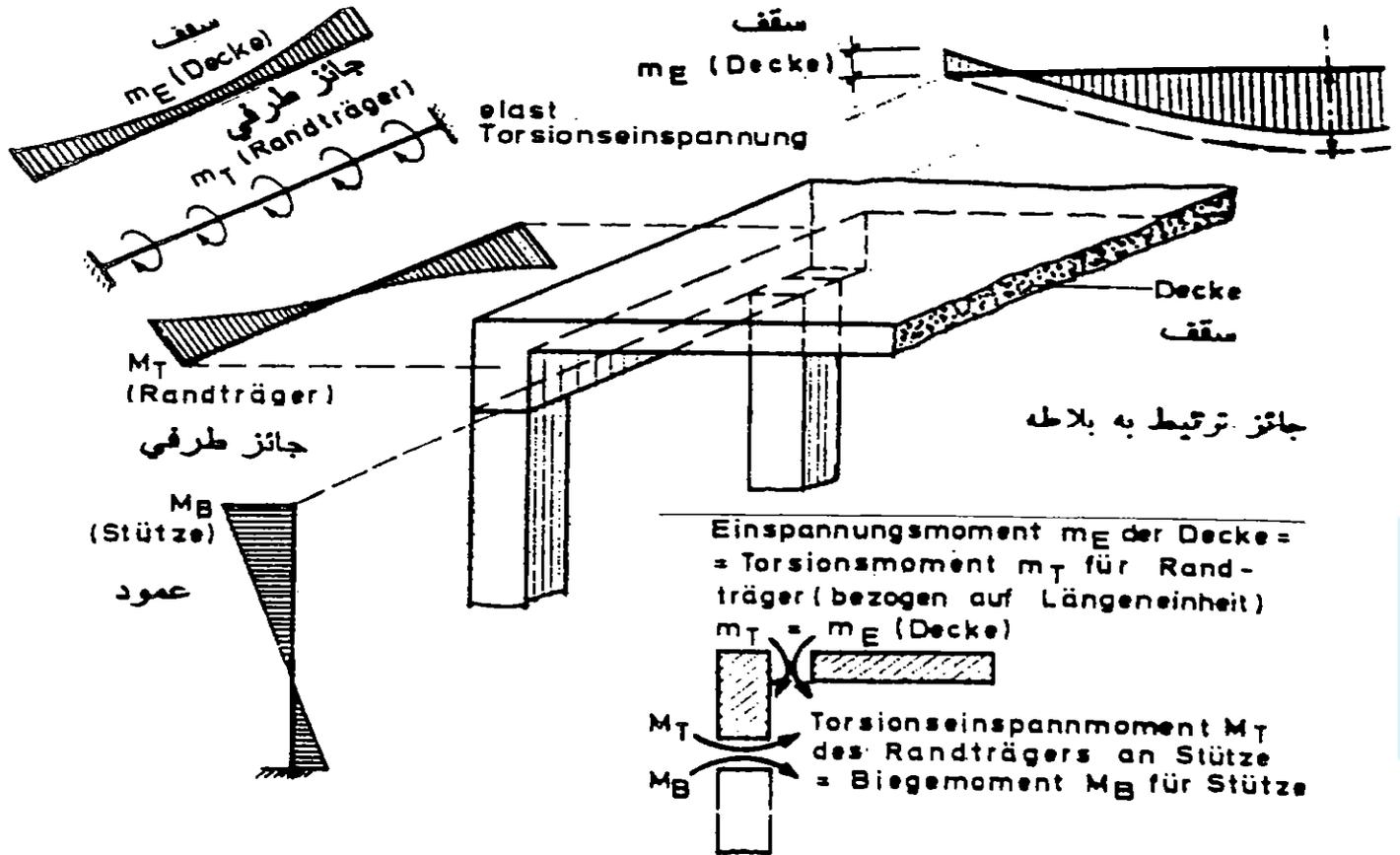
إطار فراغي

الشكل (1.7) : بعض العناصر الخاضعة لعزوم فتل

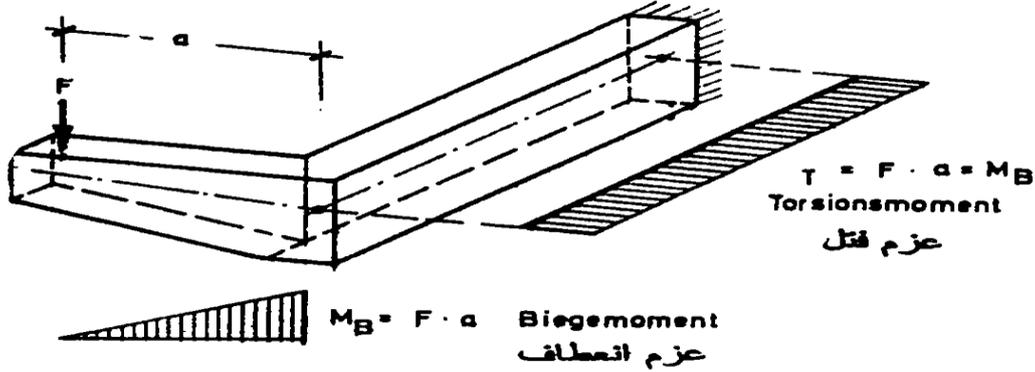
يتأثر سلوك هذه العناصر (المعرضة لعزوم قتل) بعدة عوامل أهمها : شكل المقطع العرضي ،كمية وترتيب التسليح ، الخواص الميكانيكية للمواد ، طبيعة ومقدار القوى الداخلية الأخرى كعزوم الاتعطاف قوى الشد والضغط والقوى التي يمكن أن تصاحب عزم القتل .

تصمم العناصر على عزوم القتل كحالة حدية عندما يكون القتل عنصرا أساسيا في توازن هذا المنشأ على الرغم من أن أكثر العناصر ومهما كان شكلها بسيطا تخضع لعزوم قتل ناتجة عن لامركزية طارئة للحمولات على هذه العناصر أو عن تأثير العناصر الإنشائية الأخرى على العنصر . ومن الجدير بالذكر هنا إنه يجب الاهتمام بشكل كبير عند التصميم على القتل نظرا لأن انكسار العناصر الناتج عن هذه العزوم يكون بشكل مفاجئ .

Bemessungsmoment der Decke



الشكل (2.7) : جائز طرفي يخضع لعزوم قتل متأبئة عن البلاطة



الشكل (3.7): ظفر عمل بشكل لاسر كزري .

يظهر الفتل في العنصر بسبب وجود ممانعة لدوران العنصر كما يظهر الشكل (2 - 7) .

فنتيجة لممانعة الأعمدة ذات الصلابة الكبيرة لدوران الجانز الطرفي الذي تستند عليه البلاطة يتولد عزم فتل M_T في هذا الجانز، توزعه على طول الجانز مبين بالشكل السابق ، حيث تنتقل عزوم الانعطاف (السالبة هنا) m_B إلى الجانز الطرفي بشكل عزوم فتل موزعة حسب شدتها m_T . وتكون عزوم الفتل عند اتصال الجانز الطرفي بالأعمدة مؤثرة بشكل عزم انعطاف M_B على رؤوس الأعمدة.

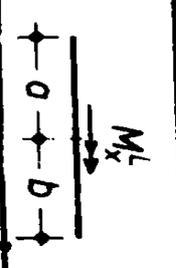
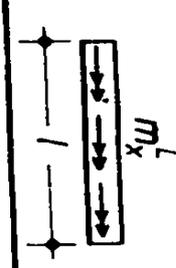
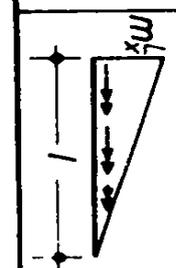
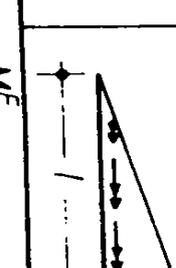
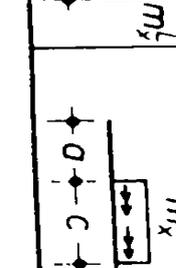
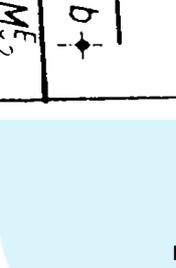
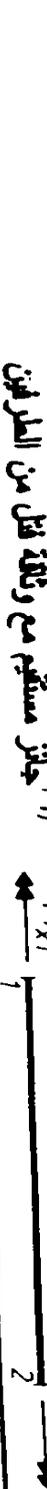
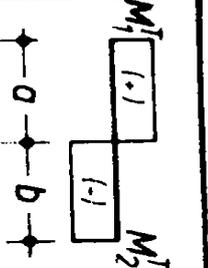
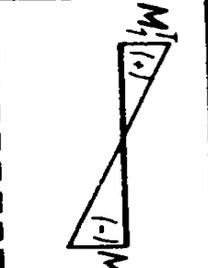
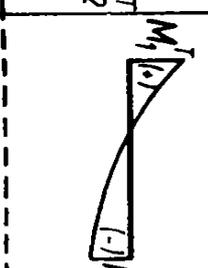
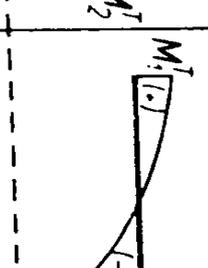
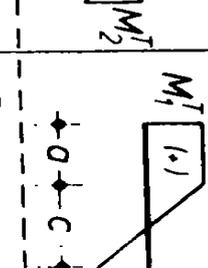
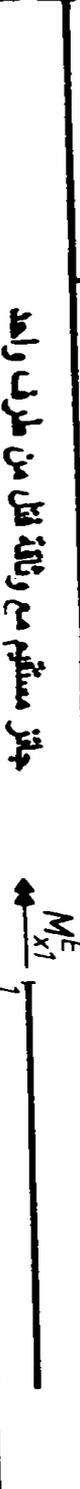
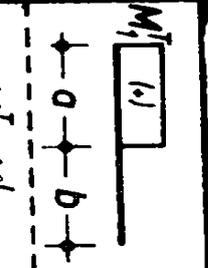
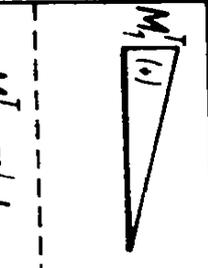
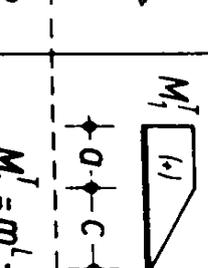
أما الشكل (3-7) فيظهر ظفرا محملا بشكل لا مركزي، ينتج على الجزء الأول منه عزم انعطاف مقداره $M_B = F \cdot a$ أما على الجزء الثاني منه فيتولد عزم فتل T و يكون مخطط عزم الفتل هنا منتظماً مقداره $T = M_B = F \cdot a$ و في مثل هذه العناصر يجب أن يتم التصميم بحيث يتحمل العنصر كامل عزوم الفتل.

لرسم مخطط عزم الفتل على عنصر ما نعتبر العزوم الخارجية m_T المؤثرة على العنصر بمثابة حمولة خارجية على جانز بديل يحول كل مسند بسيط فيه إلى طرف حر وكل وثاقة أو وثاقة جزئية إلى مسند بسيط. قم ترسم مخطط الجهود المقاطعة على هذا الجانز البديل فنحصل على مخطط عزم الفتل على كامل الجانز.

وسنرمز لاحقاً إلى عزم الفتل بالحرف T .

الجدول (1-7) يعطي قيماً لمخطط توزيع عزم الفتل على الجوانز المستقيمة الموثوقة من طرفين أو موثوقة من طرف واحد.

الجدول (1-7): مخطط عزم الفتل لجوائز موثوقة من طرفين و لجوائز مؤثرة من طرف واحد .

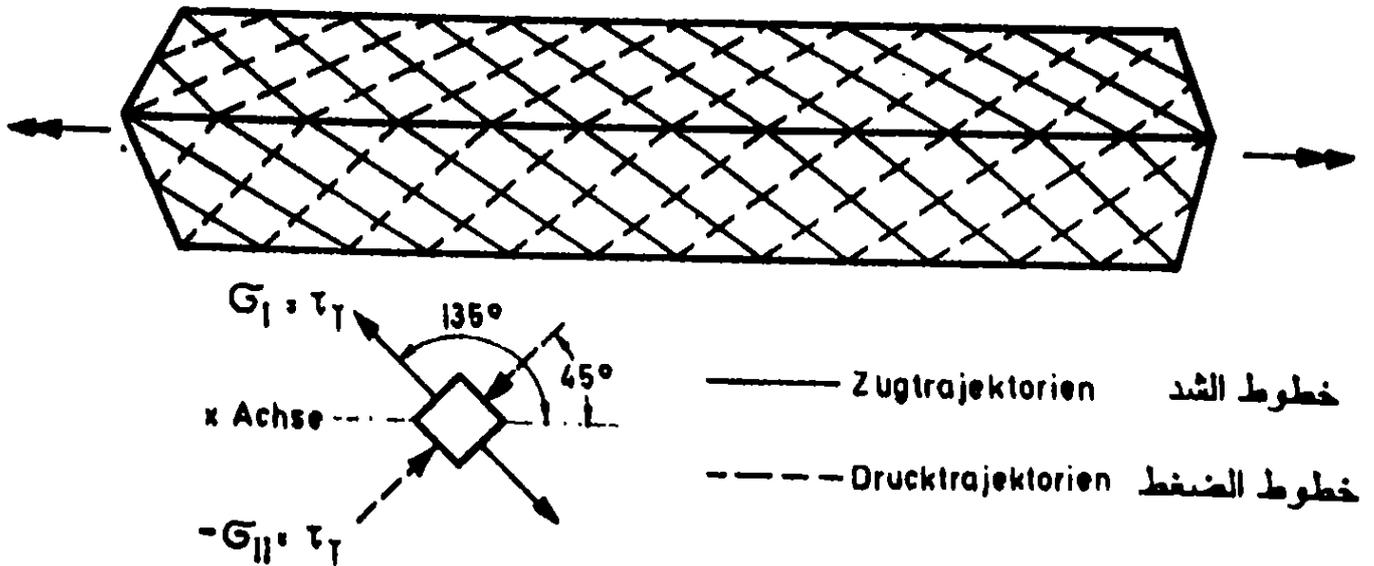
Lastfall					
					
جوائز مستقيم مع وثاقة فتل من الطرفين					
					
					
$M_1^T = M_x^L \cdot b/1$ $M_2^T = -M_x^L \cdot 0/1$	$M_1^T = m_x^L \cdot l/2$ $M_2^T = -m_x^L \cdot l/2$	$M_1^T = m_x^L \cdot l/3$ $M_2^T = -m_x^L \cdot l/6$	$M_1^T = m_x^L \cdot l/6$ $M_2^T = -m_x^L \cdot l/3$	$M_1^T = m_x^L \cdot c(2b+c)/2l$ $M_2^T = -m_x^L \cdot c(2a+c)/2l$	
جوائز مستقيم مع وثاقة فتل من طرف واحد					
					
					
$M_1^T = M_x^L$	$M_1^T = m_x^L \cdot l$	$M_1^T = m_x^L \cdot l/2$	$M_1^T = m_x^L \cdot l/2$	$M_1^T = m_x^L \cdot c$	

1) Die sonstige Fesselung des geraden Trägers (Kraftfesseln u. Biegefesseln) hat auf die Verteilung des Torsionsmomentes keinen Einfluß

عند تعرض عنصر ما إلى عزم قتل صاف تنشأ فيه إجهادات مماسية τ_T بدون وجود إجهادات ناظرية $\sigma_x = 0$. تكون هذه الإجهادات موزعة على محيط المقطع بميول مقدارها $45^\circ, 135^\circ$ على المحور الطولي للعنصر (X) أنظر الشكل (4-7) ، و قيمتها:

$$\tau_T = \sigma_I = -\sigma_{II}$$

اتجاه الإجهادات الرئيسية الشادة σ_I يكون بزاوية ميل مقدارها $\varphi = 45^\circ$ مع اتجاه الدوران . أما الإجهادات الضاغطة فتكون بزاوية 135° بعكس اتجاه الدوران كما يظهر الشكل (5-7).

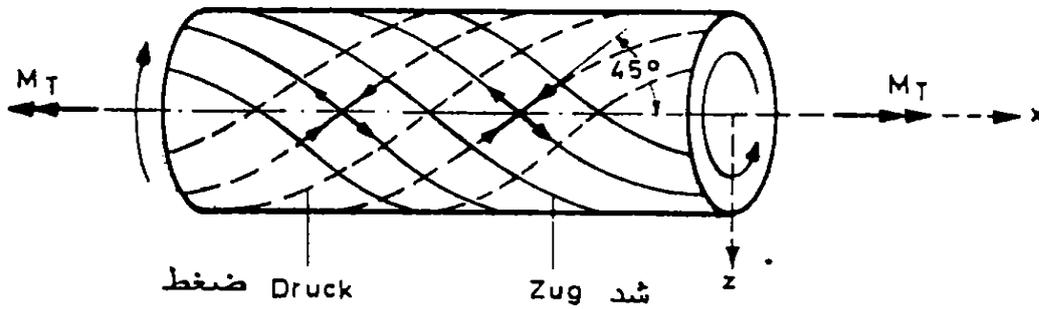


الشكل (4-7) : خطوط الشد والضغط الناتجة عن تطبيق عزم قتل صاف.

تحسب الاجهادات المائلة الرئيسة الشادة و الضاغطة كما يلي :

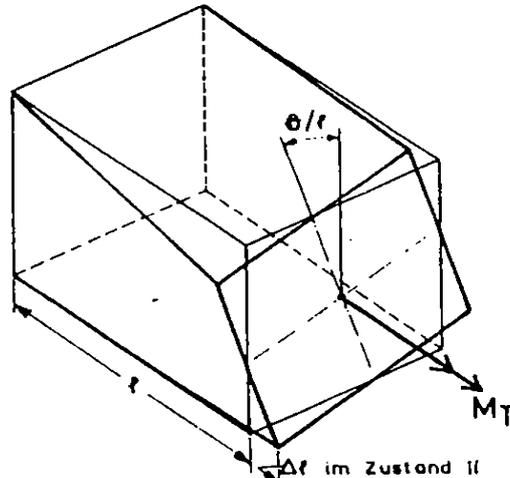
$$\tau_T = \frac{T}{W_T}$$

حيث : T - عزم الفتل المطبق على المقطع
 W_T - العزم المقاوم على الفتل



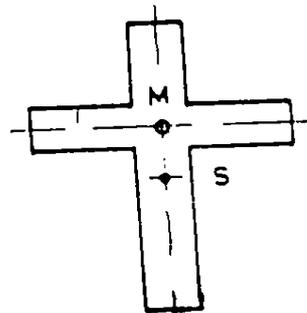
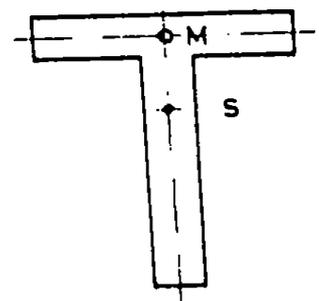
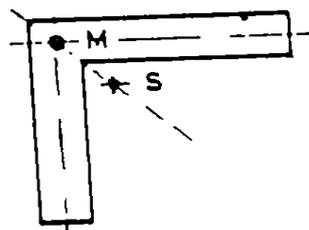
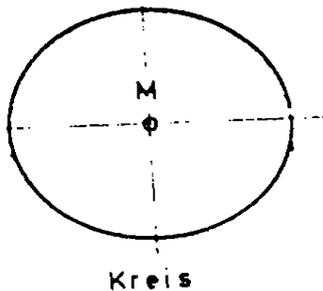
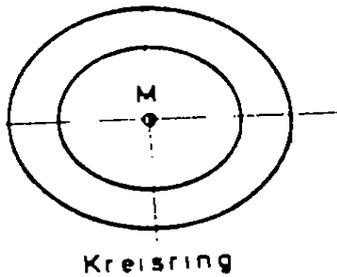
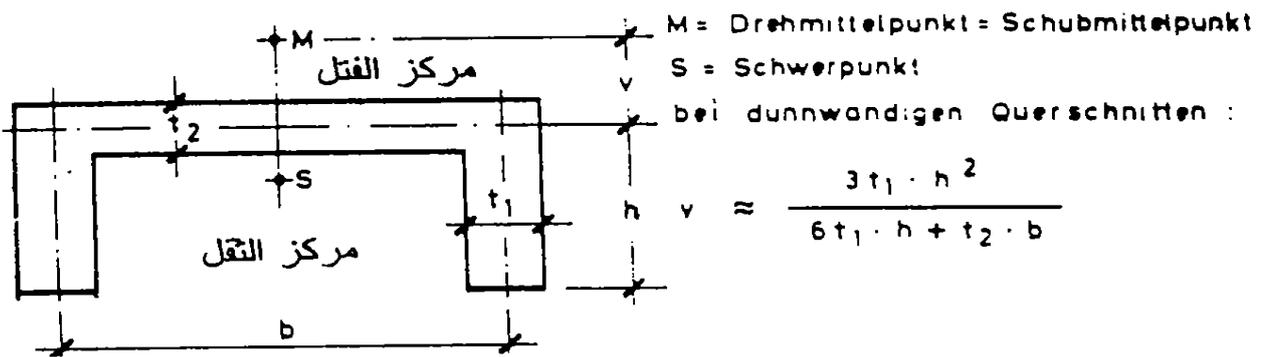
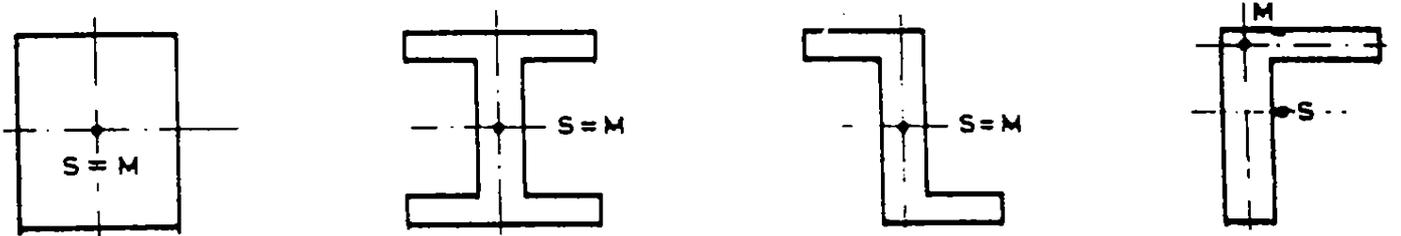
الشكل (5-7): ميل الاجهادات الشادة والضاغطة في عنصر ذو مقطع دائري.

تولد الاجهادات الرئيسة في مقاطع العنصر دورانا $\frac{d\theta}{dx}$ ، قيمة على واحدة الطول من طول العنصر θ كما يظهر الشكل (6-7). إضافة إلى ذلك ، عند تشقق العنصر ، تتولد تطاولات Δl على طول العنصر تنتج باعتبار أن تشوه العناصر المشدودة ϵ أكبر من التشوهات في العناصر المضغوطة ϵ_0 .



في الحالة المتشقة II Δl im Zustand II
الشكل (6-7): دوران مقطع ما نتيجة عزم فتل صاف.

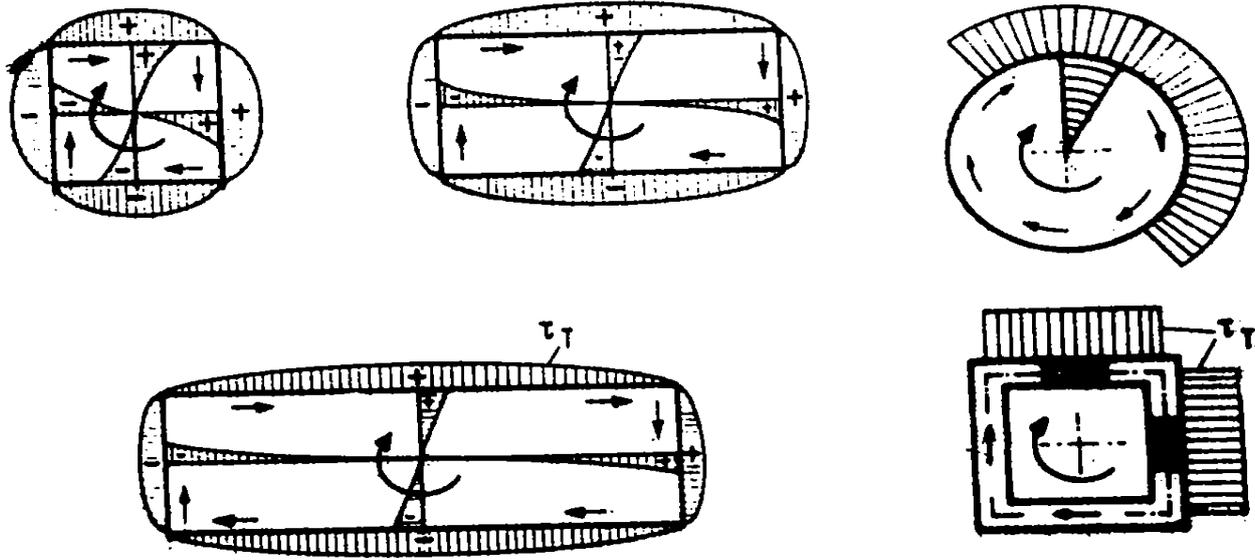
و يجدر بالذكر هنا أن عزوم الفتل في المقاطع العرضية تتسبب إلى مركز القص M للمقطع العرضي و ليس إلى مركز ثقل المقطع S .
على أنه في حالة تناظر المقطع حول محوريه ينطبق مركز القص على مركز الثقل . الشكل (7-7) يبين مركز القص M و مركز الثقل S لبعض المقاطع الشائعة الاستعمال . تعطي معادلات حساب مركز قص مقطع ما في جدول خاص في كتاب الفصل الثاني.



Aus schmalen Streifen gebildete Querschnitte deren Mittellinien sich in einem Punkt schneiden

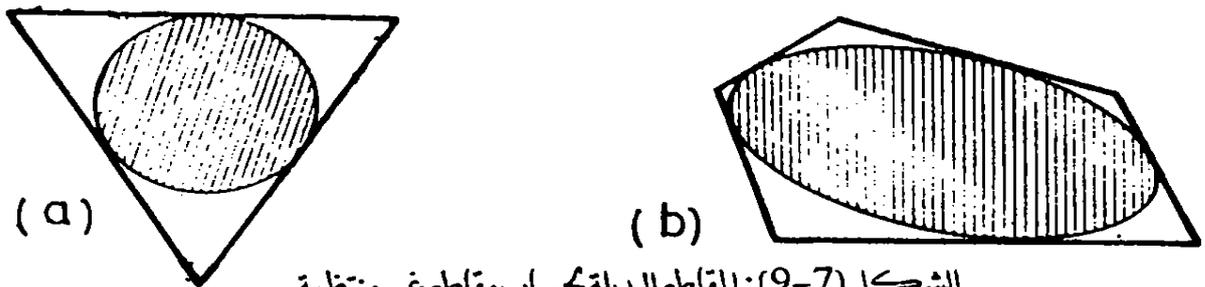
الشكل (7-7): مركز القص M ومركز الثقل S لبعض المقاطع العرضية.

تتوزع الاجهادات المماسية على مقطع العنصر بحسب قوانين مقاومة المواد و تغير من اشارتها، إلا أنه دائما تكون قيمتها في مركز العنصر (محوره) و في زوايا مساوية للصفر كما يظهر الشكل (7-8).



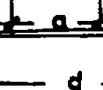
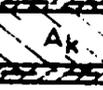
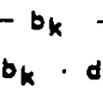
الشكل (7-8): توزيع الاجهادات المماسية على مقطع العنصر.

تعطى القيمة العظمى للاجهادات المماسية الناتجة عن الفتل الصافي في المقاطع المتجانسة غير المتشقة في الجدول (7-2) و ذلك لبعض المقاطع العرضية شائعة الاستعمال أما في حالة المقاطع غير المنتظمة فيمكن التعويض عنها بمقاطع بديلة كما يظهر الشكل (7-9) ، فلمقطع عرضي بشكل مثلث يمكن استبداله بمقطع دائري يمر أضلاعه من الداخل (a)، أما لمقطع مضلع غير منتظم فيمكن التعويض عنه بمنحن قطعي (b) يمر أضلاعه الداخلية.

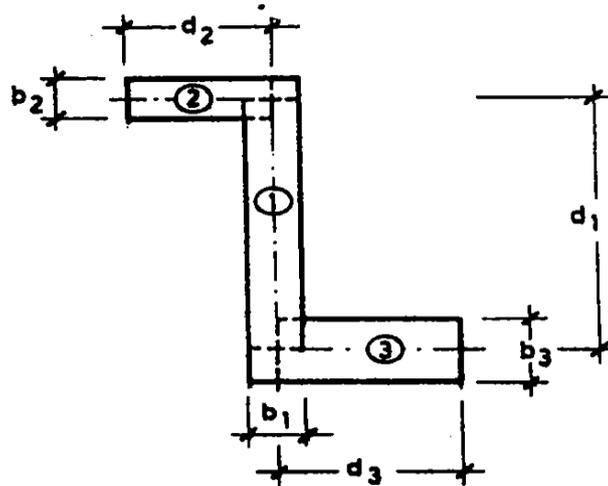


الشكل (7-9): المقاطع البديلة لحساب مقاطع غير منتظمة.

الجدول (2-7): الاجهادات المماسية العظمى و عزم العطالة على الفتل للمقاطع المتجانسة غير المتشقة .

المقطع Querschnitt	الاجهادات $\max \tau = \frac{M_T}{W_T}$ العظمى للفتل	عزم العطالة على الفتل J_T							
	$\frac{16}{\pi} \frac{M_T}{d^3}$	$\frac{\pi d^4}{32}$							
	$\frac{16}{\pi} \frac{d}{d^4 - d_i^4} M_T$	$\frac{\pi}{32} (d^4 - d_i^4)$							
	$\sim \frac{2}{\pi} \frac{M_T}{t d_k^2}$	$\sim \frac{\pi t d_k^3}{4}$							
	$\frac{16}{\pi} \frac{M_T}{a \cdot b^2}$	$\frac{\pi}{16} \frac{a^3 b^3}{a^2 + b^2}$							
	$4,81 \frac{M_T}{a^3}$	$0,141 a^4$							
	$\beta \frac{M_T}{b^2 d}$	$\alpha b^3 d$							
	d/b	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	∞
	α	0,196	0,229	0,263	0,281	0,298	0,307	0,313	0,333
	β	4,33	4,07	3,74	3,55	3,35	3,30	3,25	3,00
	<u>Bredt'sche Formel</u>								
	beliebiger Hohlquerschnitt	$\frac{M_T}{2 A_k \cdot \min t}$	$\frac{4 \cdot A_k^2}{\sum_i \frac{s_i}{t_i}}$						
rechteckiger Hohlquerschnitt	$\frac{M_T}{2 b_k \cdot d_k \cdot \min t}$	$\frac{4 \cdot b_k \cdot d_k}{\frac{2}{b_k \cdot t_1} + \frac{1}{d_k \cdot t_2} + \frac{1}{d_k \cdot t_3}}$							
	$\sim 5,32 \frac{M_T}{d^3}$	$0,133 d^4$							
	$\sim 5,41 \frac{M_T}{d^3}$	$0,130 d^4$							

أما في المقاطع المركبة المؤلفة من مجموعة مقاطع تتصل مع بعضها في نهاياتها فيمكن بتقريب بسيط حساب حصة كل من أجزائها من عزم الفتل و بالتالي الاجهادات المماسية فيه بحسب نسبة عزم عطالته على الفتل إلى مجموع عطالات الأجزاء كما يظهر الشكل (7-10)

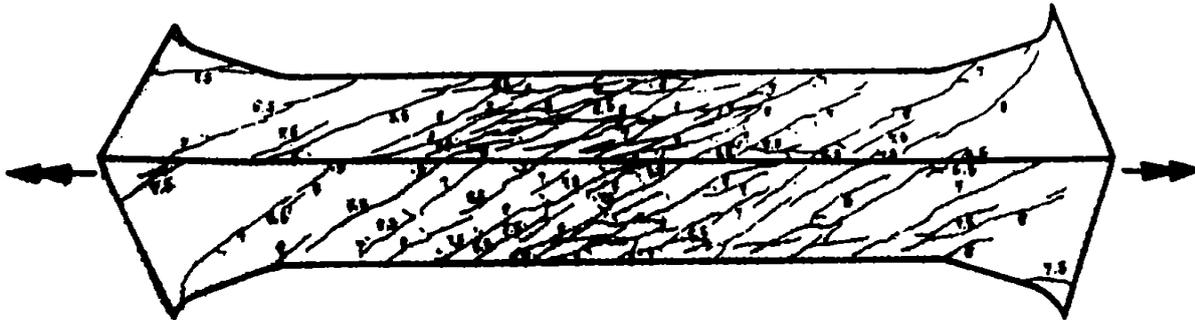


Im Teil n gilt : / في الجزء رقم n يكون

$$\Delta M_{T,n} = \frac{J_{T,n}}{\sum J_{T,n}} M_T$$

$$\tau_{T,n} = \frac{3 \cdot \Delta M_{T,n}}{b_n^2 d_n}$$

عندما يتزايد عزم الفتل على العنصر تبدأ شقوق مائلة بزاوية 45° بالظهور على كامل طول العنصر و محيطه كما يظهر الشكل (7-11) لعنصر موشوري يخضع لعزم فتل صاف و ذلك نتيجة لزيادة الاجهادات المائلة الشادة عن مقاومة البيتون على الشد.

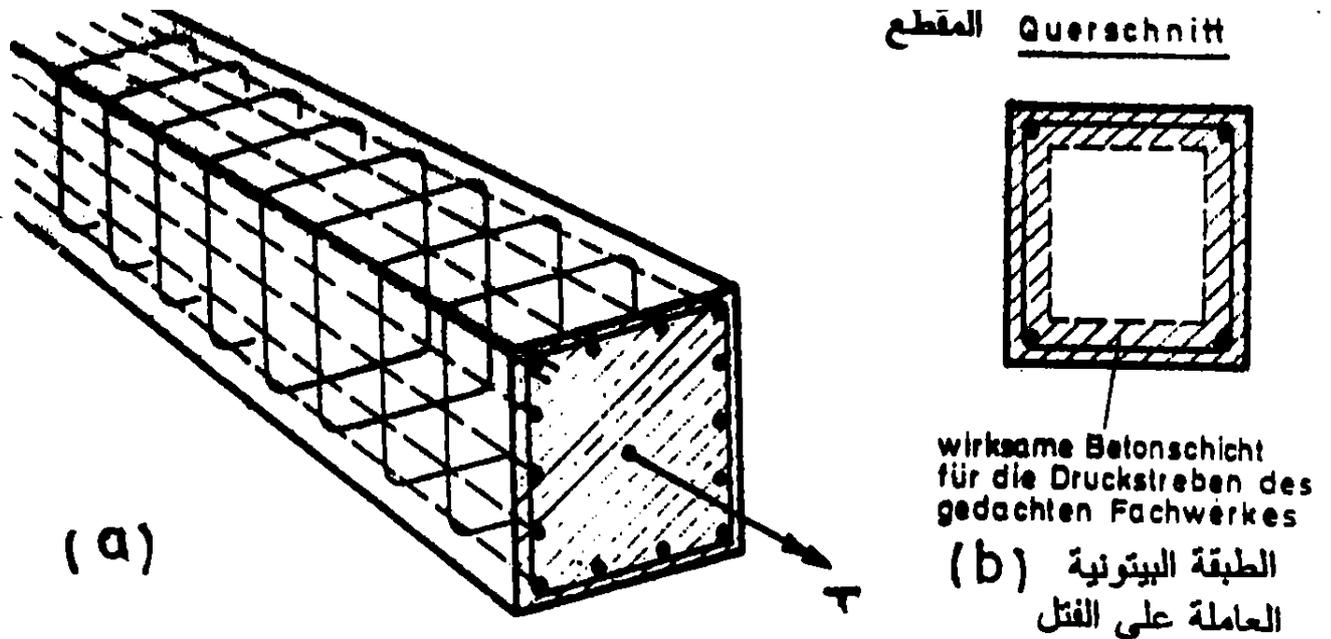


الشكل (7-11): الشقوق الناتجة عن عزم الفتل الصافي في عنصر موشوري.

و قد دلت التجارب أنه و تحت تأثير عزم قتل صاف في العناصر المتشققة لا تشارك سوى الطبقة الرقيقة الخارجية في عمل العنصر على القتل بحيث يمكننا اعتبار العناصر ذات المقاطع المستطيلة أو ما شابهها عناصر ذات مقاطع صندوقية ذات جدران رقيقة كما يظهر الشكل (7-12) ، b . كما أن مقاومة العنصر على القتل الصافي ستخضع بوجود الشقوق بشكل كبير. وبما أن مقاومة البيتون على الشد ضعيفة فإنه يلزمنا تسليح خاص بالقتل لمقاومة الإجهادات المائلة الشادة ، ويأخذ التسليح الخاص بالقتل إحدى الشكلين التاليين :

- تسليح حلزوني على كامل طول العنصر باتجاه الاجهادات المائلة الشادة في الحالات الممكنة مثل المقاطع الدائرية أو شبه الدائرية . ويستخدم تسليحان حلزونيان الأول يميني والثاني يساري في حال وجود عزم قتل متناوب .

- تسليح طولي وعرضي (قضبان طولية + أساور عرضية مغلقة) كما يظهر الشكل (7 - 12) a . وهو أسلوب التسليح المفضل على القتل لسهولة تنفيذه ولامكانية جمعه مع التسليح الخاص بالقص .



الشكل (7.12) : a : التسليح الخاص بالقتل . تسليح طولي وعرضي

b : المناطق البيتونية المشاركة في عمل المقطع على القتل .

7 - 4 - النموذج الحسابي للقوى والإجهادات الناتجة عن الفتل الصافي :

لتحديد القوى والإجهادات الناتجة عن الفتل الصافي طورت عدة نماذج حسابية تعتمد على توازن المقاطع وآلية انتقال القوى في هذه العناصر نذكر منها النموذج الحسابي التالي :

- ليكن لدينا العنصر ذو المقطع العرضي المستطيل المسلح على الفتل ، الشكل (7 - 13)

نفرض أن البيتون لايساهم في تحمل أية إجهادات شادة وأن التسليح فقط يتحمل هذه الإجهادات. بتعويض عزم الفتل T بمزدوجتين مؤلفتين من أربع قوى تؤثر في مستويات التسليح :

$$T = p_1 \cdot b_c + p_2 \cdot h_c \quad \dots (7-1)$$

حيث : b_c, h_c أبعاد نواة المقطع المحصورة بين التسليح

نعتبر القوى p_1, p_2 كقوى قص على الأوجه الأربعة للعنصر نتيجة لتحصيل القوى الشادة المائلة . تكون الاجهادات المماسية الناتجة عنها :

$$\frac{p_1}{b \cdot h_c}$$

بتحصيل هذه الإجهادات على 1 m من طول الجائز نحصل على القوى

الشادة Z_1, Z_2 :

$$z_1 = \frac{p_1}{b \cdot h_c} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot b = \frac{p_1}{\sqrt{2} \cdot h_c} \dots (7-2)$$

$$z_2 = \frac{p_2}{\sqrt{2} \cdot b_c} \dots (7-3)$$

وبما أن مقطع التسليح في الاتجاهين متساو ، ينتج :

$$z_1 = z_2 \Rightarrow \frac{p_1}{h_c} = \frac{p_2}{b_c}$$

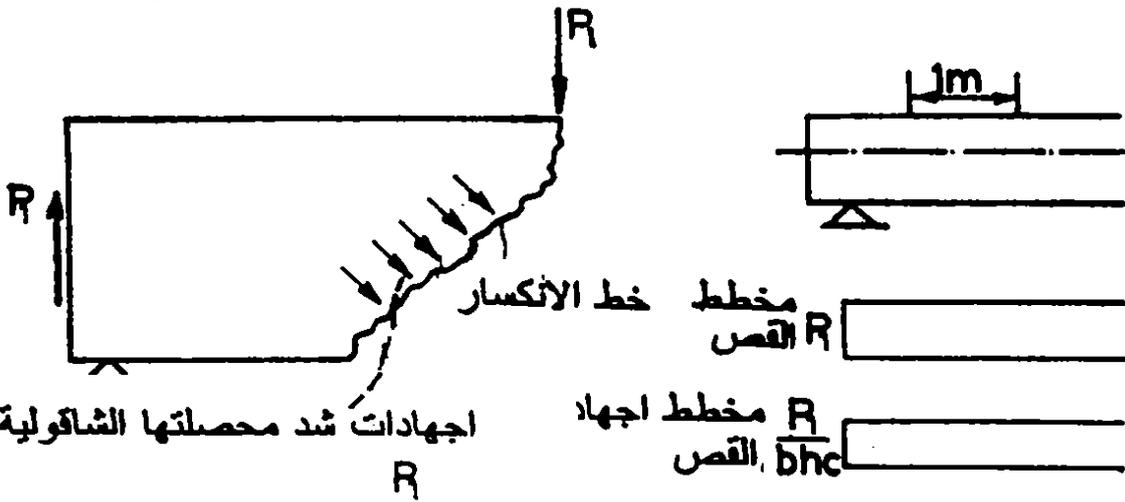
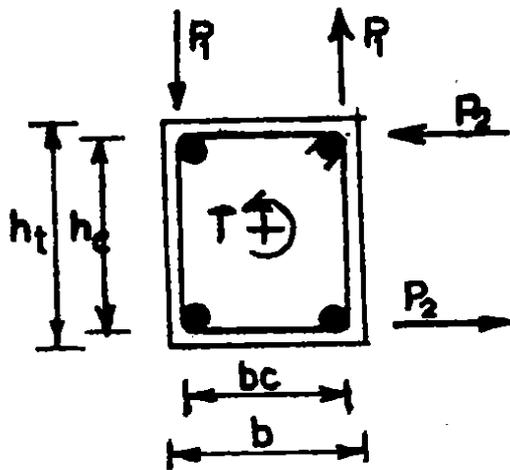
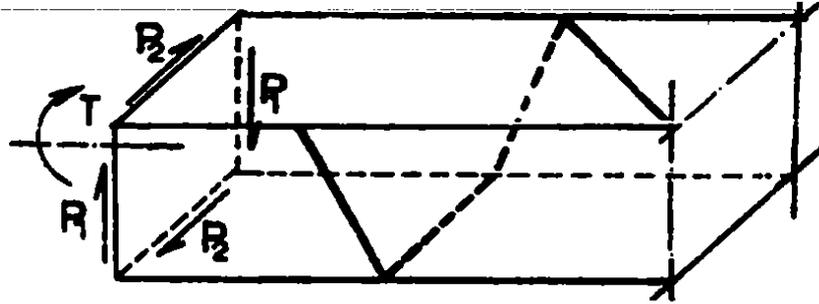
وتصبح العلاقة (7 - 1) :

$$T = p_1 \cdot b_c + \frac{p_1}{h_c} \cdot b_c \cdot h_c = 2 \cdot p_1 \cdot b_c$$

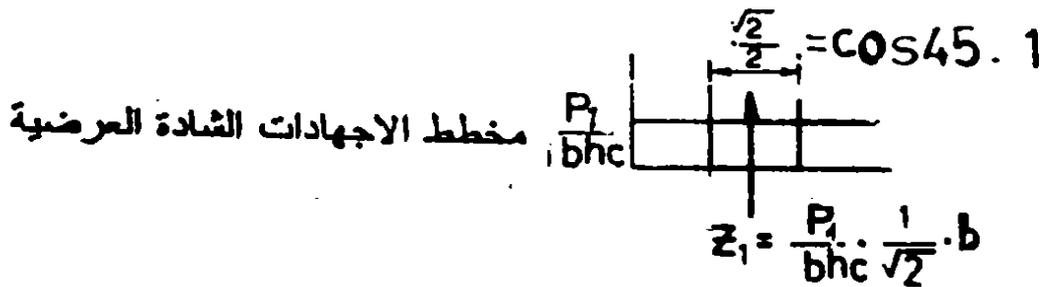
$$p_1 = \frac{T}{2b_c}$$

أي أن :

$$p_2 = \frac{T}{2h_c}$$



اجهادات شد حاصلتها الشاقولية تساوي R



الشكل (7، 13): النموذج الحسابي على الفتل.

وبالتعويض في (2 - 7) نجد قيمة قوة الشد المطلوبة لحساب التسليح النظري المائل :

$$z_1 = \frac{T}{2\sqrt{2}b_c \cdot h_c} = \frac{T}{2\sqrt{2} \cdot B_c}$$

حيث : B_c - مساحة نواة المقطع

وباعتبار أن فولاذ التسليح قد وصل إلى إجهاد السيلا ن تكون مساحة فولاذ التسليح اللازمة على 1m طولي :

$$A_{sp} / m = \frac{T}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot B_c \cdot f_y}$$

باستعمال تسليح طولي وعرضي يمكن إيجاد مساحة مقطع الأسبور المغلقة لكل متر طولي :

$$a_s / m = \frac{T}{2 \cdot B_c \cdot f_y}$$

أما مساحة مقطع التسليح الطولي المطلوبة فتحسب على الأساس التالي :
قوة القص Q يجب أن تقاوم من قبل التسليح الطولي أي :

$$Q = 2p_1 + 2p_2 = \frac{2T(b_c + h_c)}{2b_c \cdot h_c} = \frac{T}{2B_c} \cdot U_c$$

حيث : U_c - محيط النواة $(b_c + h_c) \cdot 2$

ويكون : $a_s = \frac{T}{2B_c \cdot f_y} \cdot U_c$

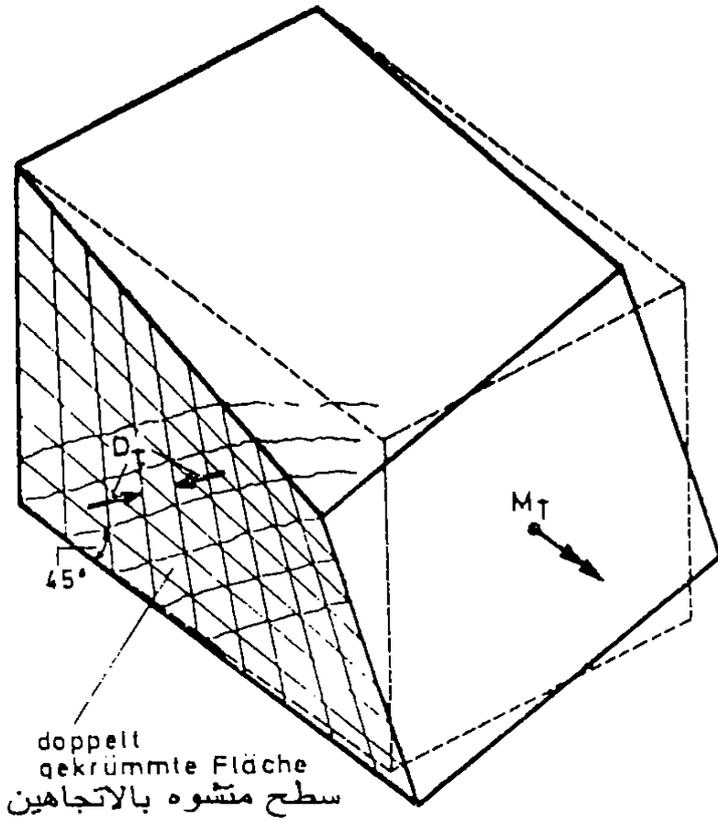
7-5- أشكال انكسار العناصر على الفتل الصافي:

يمكننا عمليا تمييز أربعة أشكال لانتهيار العناصر على الفتل الصافي :

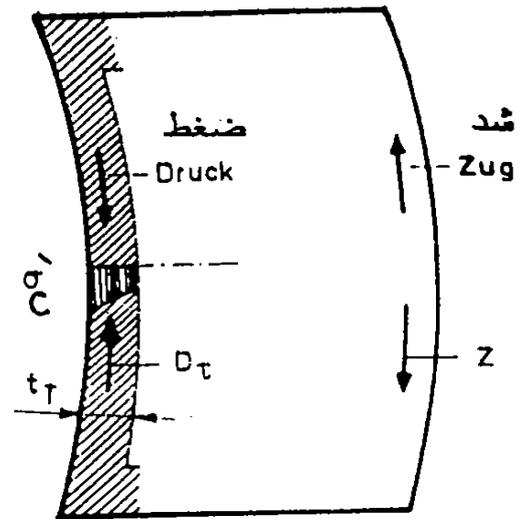
- انهيار على الشد (انهيار فولاذ التسليح الخاص بالفتل) : بوجود تسليح ضعيف خاص بالفتل تولد فيه الاجهادات الشادة الرئيسة قوى تؤدي إلى انهياره السريع مع بقاء البيتون المضغوط سليما على الرغم من ظهور إجهادات اضافية كبيرة ناتجة عن انهيار التسليح الطولي.
- انهيار البيتون على الضغط : تتعلق الاجهادات المتولدة في البيتون بنوع التسليح الخاص بالفتل فوجود تسليح طولي و عرضي تحدث دورانات في المقاطع أكبر منها في حالة تسليح حلزوني مما يسبب إجهادات ضاغطة اضافية في البيتون (الشكل 7-15). كما تنخفض مقاومة البيتون على الضغط في هذه المناطق . وينهار العنصر في المناطق التي تزداد إجهادات الضغط في البيتون ح_c منها عن مقاومته كما يظهر الشكل (7 - 15) .
- انهيار حواف المقطع (المقاطع المضلعة) : تغير القوى الضاغطة الناتجة عن الفتل اتجاهاتها عند التقاء مسارها مع حواف المقطع (انظر الشكل 7-16) a مما ينتج قوى محصلتها u تتجه خارج المقطع . و عندما تزداد الاجهادات الناتجة عن هذه القوى u عن مقاومة البيتون على الشد تنهار حواف المقطع. الشكل (7-16)، b .

لتجنب شكل الانهيار هذا نزيد من عدد الأساور الشاقولية بحيث لا تتجاوز خطوتها 100 mm .

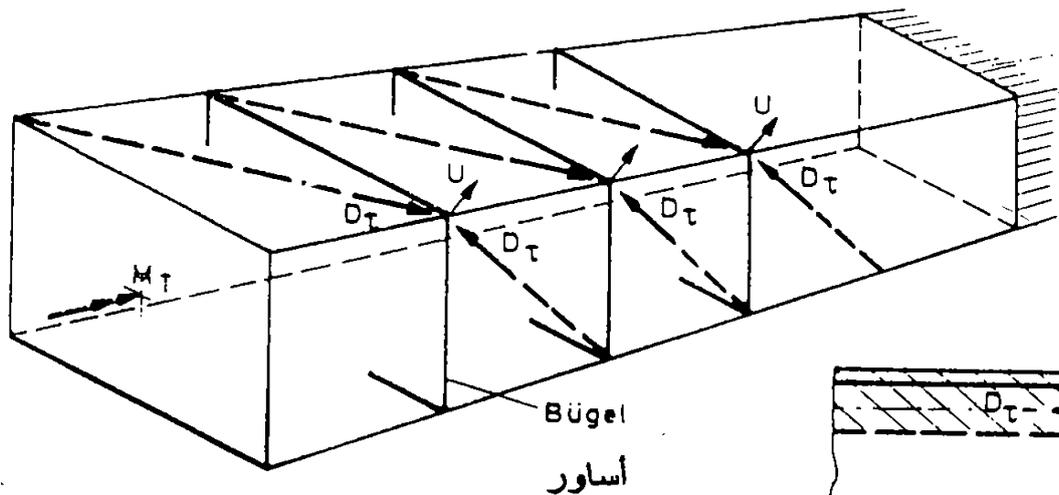
- انهيار مناطق تثبيت فولاذ التسليح الخاص بالفتل : ينهار العنصر في هذه الحالة عندما ينسحب فولاذ التسليح الطولي من مناطق تثبيته أو عندما لا تكون الأساور مغلقة بشكل جيد و تحيط بالمقطع بشكل كامل .
- لتجنب هذا الانهيار يجب التقيد التام بقواعد التسليح من أطوال و أشكال ارساء المحددة في الكود الخاص بالتسليح.



Zusätzliche Biegespannungen
in einem Schnitt entlang der
Betondruckstrebe D_T



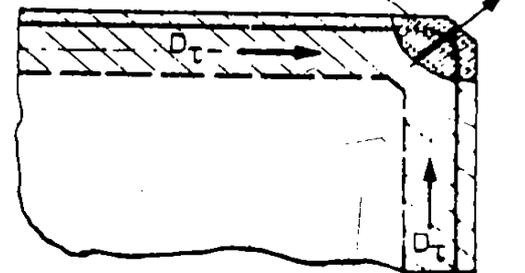
الشكل (7-15): انهيار اليتون في المقطع على الضغط



Torsionsein-
spannung

الزاوية المنهارة
ausbrechende
Ecke

Umlenkung der Druck-
streben an den Kanten



الشكل (7-16): انهيار حواف المقطع: a- تولد القوى الشادة u ، b- انهيار حافة المقطع

ينص الكود العربي السوري في فقرته 9-2-9 على الافتراضات الاساسية لحالة حد الانهيار بتأثير الاجهادات المماسية كما يلي

9-2-9- تصميم القطاعات المعرضة لغزوم فتل (لي) حديّة:

يعتمد سلوك الوحدات الإنشائية المعرضة لغزوم فتل، على عدة عوامل، أهمها شكل القطاع وكمية وترتيب ما به من تسليح، وعلى الخواص الميكانيكية للمواد، وطبيعة ومقدار القوى الداخلية الأخرى، كعزوم الانحناء وقوى الضغط والشدّ والقصّ التي يمكن أن تصاحب الفتل. وتؤخذ عزوم الفتل (T_u) عند التصميم للعناصر الإنشائية في الحساب، إذا كان الفتل فيها عنصراً أساسياً لتأمين توازنها (الستاتيكي والديناميكي).

9-2-9-1- عزوم الفتل الحديّة المؤثرة لحساب الإجهادات المماسية:

في العناصر المحملة على ركائز، تؤخذ قيمة عزم الفتل T_u على القطاعات بجوار الركائز، مساوية لقيمتها على قطاعات العناصر التي تبعد مسافة 0.5 العمق الفعّال (d) من وجه الركائز.

9-2-9-2- حساب الإجهاد المماسي الافتراضي الناتج عن الفتل الحدي:

أ - تؤخذ قيمة الإجهاد المماسي الافتراضي τ_{tu} في القطاعات المستطيلة والقطاعات ذات الأجنحة من العلاقة:

$$\tau_{tu} = \frac{3 \cdot T_u}{\sum x^2 y}$$

حيث: T_u = عزم الفتل الحدي الأقصى.

x = عرض كل من المستطيلات التي يتألف منها القطاع.

y = طول كل من المستطيلات التي يتألف منها القطاع، على أن لا تتجاوز

$3x$ في حال جناح الجوائز بشكل حرف T.

ب- تُحسب أقصى قيمة للإجهاد المماسي τ_{tu} في القطاعات الدائرية المفرّعة من العلاقة:

$$\tau_{tu} = \frac{T_u}{2A_o \cdot d_o}$$

حيث: A_o = المساحة الداخلية للشكل المرسوم في منتصف السماكة d_o .

d_o = سمك القطاع في النقطة المحسوب فيها الإجهاد.

ج- تُحسب أقصى قيمة للإجهاد المماسي τ_{tu} في القطاعات الدائرية المليئة المسلحة من العلاقة:

$$\tau_{tu} = \frac{3.2 T_u}{d_k^3}$$

حيث: d_k = قطر نواة القطاع.

ويجب ألا يقل سمك الغطاء الخرساني في هذه الحالة عن $\frac{1}{12}$ من قطر القطاع.

٩-٢-٣- الحد الأدنى للتسليح العرضي في حالة الفتل الحدي:

يؤخذ تأثير الفتل في حسابات القص والانحناء، إذا كانت الإجهادات المماسية المحسوبة الناتجة عن الفتل τ_{tu} تفوق القيمة $0.13\sqrt{f'_c}$ ($0.4\sqrt{f'_c}$ بالنظام المتري) أما إذا كانت هذه الإجهادات من دون $0.13\sqrt{f'_c}$ ($0.4\sqrt{f'_c}$ بالنظام المتري) فيهمل تأثير الفتل في الحسابات، ويكتفى بأدنى مساحة تسليح عرضي مسموح بها، كما هي معطاة في البند (٧-٢-١-٧-ز).

٩-٢-٤- الإجهاد المماسي المسموح مقاومته بالخرسانة τ_{tcu} الناتج عن الفتل الحدي:

أ- يجب ألا تزيد إجهادات الفتل المسموحة τ_{tcu} التي تقاومها الخرسانة على $0.13\sqrt{f'_c}$

($0.4\sqrt{f'_c}$ بالنظام المتري).

ب- في حال وجود قوة شدّ هامة مطبّقة على القطاع، بالإضافة إلى عزوم الفتل، يُصمم التسليح

العرضي لمقاومة كامل الإجهادات المماسية المحسوبة τ_{tcu} الناتجة عن الفتل، أي تؤخذ

$$\tau_{tcu} = 0$$

ج- لا يُسمح أن تتجاوز قيمة الإجهادات المماسية الناتجة عن الفتل $\sqrt{f'_c}$ ($0.80\sqrt{f'_c}$)

($25\sqrt{f'_c}$ في النظام المتري).

٩-٢-٥-٩-٥ - تصميم التسليح اللازم لمقاومة الفتل الحدي:

أ - يؤخذ القطاع الأدنى لقضيب اسواره التسليح العرضي المطوّقة تطويقاً كاملاً للقطاع، مساوياً إلى:

$$A_{st} = \frac{(\tau_{tu} - \tau_{ou}) \cdot s \cdot \Sigma x^2 \cdot y}{3 \cdot \alpha_t \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot f_y}$$

حيث: x_1 = عرض اسواره التسليح المستطيلة.

y_1 = طول اسواره التسليح المستطيلة.

$$\alpha_t = \left[0.66 + 0.33 \cdot \left(\frac{y_1}{x_1} \right) \right] \text{ معامل يؤخذ من العلاقة}$$

حيث: $\alpha_t \leq 1.5$

ب- تؤخذ مساحة التسليح الطولي أكبر قيمة تنتج عن المعادلتين الآتيتين:

$$A_1 = 2A_{st} \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right) \quad \dots (a)$$

$$A_1 = \left[\frac{(2.8) \cdot x \cdot s}{f_y} \left(\frac{\tau_{tu}}{\tau_{tu} + \tau_u} \right) - 2A_{st} \right] \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right) \quad \dots (b)$$

(وفي النظام المتري يستبدل الثابت 2.8 بالثابت 28)

حيث: A_1 مجموع مساحات التسليح الطولي لمقاومة الفتل والموزع بانتظام على كامل

محيط المقطع العرضي، و على أن تكون:

$$2A_{st} \geq \frac{0.35}{f_y} \cdot b_w \cdot s \quad \text{في النظام المتري} \left(\frac{3.5}{f_y} \cdot b_w \cdot s \right)$$

ج- إذا كانت المقاومة المميزة f_{yt} للتسليح العرضي مختلفة عن المقاومة المميزة f_y للتسليح

الطولي، فتستبدل A_{st} في العلاقتين a و b بالمقدار $A_{st} \cdot \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right)$

د- إذا استعملت أساور مائلة على التسليح الطولي بزاوية 45° (أو قضبان حلزونية)، تكون

مساحتها المطلوبة $0.7A_{st}$ المحددة في الفقرة (أ) من هذا البند.

٩-٢-١٠-١ - تصميم القطاعات المعرضة للقص والفتل الحديين:

٩-٢-١٠-١-١ - قوى القص وعزوم الفتل المؤثرة في حساب إجهادات القص الحدية:

تؤخذ قيمها وفق ما ورد في البندين (١-٢-٨-١) و (١-٢-٩-١).

٩-٢-١٠-٢- الحساب الافتراضي لإجهاد القص الحدي:

تؤخذ قيمة τ_{tu} الناتجة عن قوى القص، وقيمة τ_{tu} الناتجة عن عزوم الفتل، وفق العلاقات الواردة في البندين (٩-٢-٨-٢) و (٩-٢-٩-٢).

٩-٢-١٠-٣- الحد الأدنى للتسليح العرضي الحدي:

في حال وجوب تسليح عرضي، حسب ما ورد في البند (٩-٢-٧-١) للقطاعات المعرضة لقوى قص مصحوبة بعزم فتل يُسبب إجهادات τ_{tu} لا تزيد قيمتها على $0.13 \sqrt{f'_c}$ ($0.4 \sqrt{f'_c}$ في النظام المتري) فإن أدنى نسبة تسليح عرضي مسموح به هي المعطاة في البند (٧-١-٢-٧).

٩-٢-١٠-٤- الإجهاد المماسي الحدي المسموح مقاومته بالخرسانة:

أ- في حال عدم خضوع القطاع إلى قوة شد أو إلى إجهاد قص ناتج عن عزم فتل تفوق قيمته أو تعادل $\tau_{tu} = 0.13 \sqrt{f'_c}$ ($0.4 \sqrt{f'_c}$ في النظام المتري) يُسمح للخرسانة مقاومة إجهاد مماسي ناتج عن قوى القص، يساوي إلى قيمة τ_{cu} المعطاة في البند (٩-٢-٨-٤-أ).

ب- في حال عدم خضوع القطاع إلى قوة شد، وتعرضه إلى إجهاد قص ناتج عن عزم فتل تفوق قيمته $\tau_{tu} = 0.13 \sqrt{f'_c}$ ($0.4 \sqrt{f'_c}$ في النظام المتري) فإن القيمة العظمى الافتراضية للإجهاد المماسي الذي تتحمّله الخرسانة، والناتج عن القص يعطى بالعلاقة:

$$\tau_{cu} = \frac{0.16 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + (\tau_{tu} / 1.2\tau_u)^2}} \quad \tau_{cu} = \frac{0.5 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + (\frac{\tau_{tu}}{1.2\tau_u})^2}} \quad \text{(في النظام المتري)}$$

ويحسب τ_{ou} لهذه الحالة كما في البند (٩-٢-٨-٤-هـ).

ج- في حال وجود القص والفتل معاً، فإن القيمة العظمى المسموحة τ_{tcu} للإجهاد المماسي الناتج عن الفتل والذي تتحمّله الخرسانة، يُعطى بالعلاقة:

$$\tau_{tcu} = \frac{0.16 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + (1.2\tau_u / \tau_{tu})^2}} \quad \tau_{tcu} = \frac{0.5 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + (1.2 \cdot \frac{\tau_u}{\tau_{tu}})^2}} \quad \text{(في النظام المتري)}$$

وتعتمد قيمة τ_{ou} في هذه الحالة مساوية إلى الصفر أو $0.35 \tau_{tcu}$ أو $0.7 \tau_{tcu}$ وفقاً للشروط الواردة في البند (٩-٢-٨-٤-هـ).

د- لا يُسمح أن تتجاوز قيمة الإجهادات المماسية المحسوبة τ_{tu} والناتجة عن الفتل ما يلي:

$$\tau_{tu} \leq \frac{0.8 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.2\tau_u}{\tau_{tu}}\right)^2}} \quad \tau_{tu} \leq \frac{2.5 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.2\tau_u}{\tau_{tu}}\right)^2}} \quad \text{(في النظام المتري)}$$

٩-٢-١٠-٥ - تصميم التسليح لمقاومة القص والقتل الحديين:

في حال تجاوز كل من τ_{tu} أو τ_{tu} القيم المحددة لـ τ_{cu} ، τ_{cu} الميَّنة في البند (٩-٢-٩) -١٠-٤-ب و ج) أعلاه، تحسب مساحة التسليح العرضي لمقاومة الإجهادات المماسية الناتجة عن القص وعزم القتل، كل على حدة، بموجب العلاقات الواردة في البندين (٩-٢-٩) -٨-٥) والبند (٩-٢-٩-٥)، على أن تؤخذ قيمة τ_{ou} مساوية لقيمة τ_{cu} والمحسوبة بموجب البند (٩-٢-١٠-٤-ب)، وعلى أن تؤخذ قيمة τ_{icu} مساوية للقيمة المحسوبة بموجب البند (٩-٢-١٠-٤-ج).

٩-٢-١٠-٦ - شروط خاصة بتصميم الجوائز العميقة:

أ - تطبق هذه الشروط في الجوائز التي تكون فيها نسبة المجاز L للعمق الكلي h ، أقل أو تساوي 5، والمحملة على طرفها المعرض لإجهادات ضغط.
ب- تؤخذ قيمة الإجهادات المماسية المحسوبة التي تقاومها الخرسانة بقيمة عظمى مساوية:

$$\tau_{ou} = 0.16 \sqrt{f'_c} \quad (\tau_{cu} = 0.5 \sqrt{f'_c} \text{ في النظام المتري})$$

ج- يُحدد القطاع الحرج للقص في الجوائز العميقة، بالقطاع الذي يبعد $(0.15 L_n)$ ، حيث L_n المجاز الصافي أي البعد بين وجهي المسندين) من حافة الركيزة في الجوائز الخاضعة لأحمال منتظمة، و $(0.5 a)$ في الجوائز الخاضعة لأحمال مركزة، على ألا تزيد على $(0.5 d)$.

حيث: a المسافة بين نقطة الحمل المركز وحافة الركيزة.

أما في حالة الأظفار القصيرة فيحدد القطاع الحرج للقص عند وجه المسند.

د- يُستعمل التسليح ذاته المطلوب للقص في القطاع الحرج، في جميع قطاعات الجوائز.

هـ- في حال $\left(\frac{L}{h} \leq 2\right)$ ، لا يجوز أن يفوق الإجهاد المماسي (τ_{u}) : $0.65 \sqrt{f'_c}$ $(2 \sqrt{f'_c})$ في النظام المتري).

و- في حال $2 \leq \frac{L}{h} \leq 5$ ، لا يجوز أن يفوق الإجهاد المماسي (τ_{u}) :

$$0.054 \left(10 + \frac{L}{h}\right) \sqrt{f'_c} \quad ، \quad 0.17 \left(10 + \frac{L}{h}\right) \sqrt{f'_c} \text{ في النظام المتري.}$$

ز- يُصمم التسليح العرضي لمقاومة القص في الجوائز العميقة من المعادلة:

$$\frac{A_{st}}{s} \left(\frac{1 + \frac{L_n}{d}}{12} \right) \cdot f_{yt} + \frac{A_l}{s'} \cdot \left(\frac{11 - \frac{L_n}{d}}{12} \right) \cdot f_y = (\tau_u - \tau_{ou}) \cdot b_w$$

حيث: A_{st} = قطاع التسليح العمودي على التسليح الطولي.

s = تباعد التسليح العرضي.

A_l = قطاع التسليح الموازي للتسليح الطولي.

s' = تباعد التسليح الطولي.

f_{yt} = حد المرونة للتسليح العرضي.

$f_y =$ حد المرونة (المقاومة المميزة) للتسليح الطولي.

في حالة الجوائز العميقة ذات القطاع العرضي بشكل T أو T مقلوبة أو I، والتي تزيد سماكة جناح منطقة الضغط فيها على 0.5 عرض جسد الجائز، ولا يقل سمك جناح منطقة الضغط أيضاً على 0.2 الارتفاع، يجب ألا يفوق الإجهاد المماسي τ_{uu} القيمة $0.8 \sqrt{f'_c}$ ($2.5 \sqrt{f'_c}$) في النظام المتري).

٢-٩-١٠-٧- شروط خاصة بتصميم جدران القص:

أ - يُؤخذ العمق الفعال لحساب الإجهاد المماسي الحدّي τ_{uu} في العلاقة الواردة في البند (٢-٩-٢-٨) مساوياً إلى 0.8 من الارتفاع الفعال للقطاع العرضي الحرج للمناطق الزلزالية حيث: $Z \geq 0.2$ ، و يكون مساوياً إلى 0.75 من الارتفاع الفعال للقطاع العرضي الحرج للمناطق الزلزالية حيث: $0.2 < Z < 0.3$. و مساوياً إلى 0.6 من الارتفاع الفعال للقطاع العرضي الحرج للمناطق الزلزالية حيث: $Z \geq 0.3$.

ب- تؤخذ مقاومة الخرسانة الافتراضية للإجهادات المماسية الحدّية مساوية $0.16 \sqrt{f'_c}$ $\tau_{uu} =$ ($0.5 \sqrt{f'_c}$ في النظام المتري)، إذا كان القطاع معرضاً لقوة ضاغطة، ولا يُعتدّ بكل مقاومة للخرسانة، في حساب التسليح العرضي عندما تكون القوة شاذة.

ج- يجب ألا يتعدى مجموع الإجهادات المماسية الحدّية الحسابية (τ_{uu}) في جدران القص $0.65 \sqrt{f'_c}$ ($2 \sqrt{f'_c}$ في النظام المتري).

٢-٩-١٠-٨- شروط خاصة بالبلاطات وقواعد الأساسات بجوار الأحمال المركّزة:

أ - يُفترض القطاع الحرج لحساب الإجهادات المماسية الحدّية الناتجة عن القص، بجوار الأحمال المركّزة في البلاطات وقواعد الأساسات وما شابهها، على بعد (0.5 d) من حيث تأثير القوة المركّزة.

ب- تحسب الإجهادات المماسية الحدّية من العلاقة في البند (٢-٩-٢-٨-٩-أ) بافتراض:

$$b_w = \text{محيط القطاع الحرج المحدد في (أ) أعلاه.}$$

$$d = \text{العمق الفعال عند القطاع الحرج.}$$

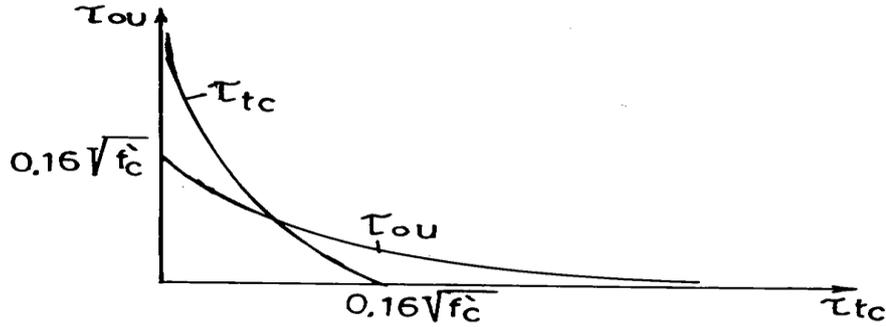
$$V_u = \text{قوة القص الحدّية على محيط القطاع الحرج.}$$

ج- تؤخذ مقاومة الخرسانة وفقاً للفقرة (٢-٩-٢-٨-٤-٤).

د- إذا زاد الإجهاد المماسي الحدّي على القيمة المحددة في (ج) أعلاه، يُحسب التسليح كما في العلاقات الواردة في البند (٢-٩-٢-٨-٥)، بافتراض أن: $\tau_{uu} = 0.19 \sqrt{f'_c}$ ، ($0.6 \sqrt{f'_c}$ في النظام المتري).

هـ- لا يجوز أن تزيد الإجهادات المماسية الحدّية τ_{uu} على $0.48 \sqrt{f'_c}$ ، ($1.5 \sqrt{f'_c}$ في النظام المتري).

و- إذا كانت τ_{uu} أقل من القيمة المحددة في (ج) أعلاه، فلا حاجة لتسليح قص.



الشكل (21.7) ، سائر منحنى τ_{ou} و τ_{tc} في حالة التأثير المتبادل بينهما .

7 - 2 - 2 - 7 - تصميم التسليح لمقاومة القص والقتل معا :
- عندما تكون الإجهادات المماسية الناتجة عن القتل والقص محققة للشرطين التاليين :

$$\tau_{\parallel} \leq 0,13 \sqrt{f'_c}$$

$$\tau_{\perp} \leq 0,23 \sqrt{f'_c}$$

فإن الإجهادات الناتجة عن كلاهما لن يتأثر احداها بالآخر ويكتفى بتسليح عرضي انشائي على ألا يقل مقطع فرع الأسوار عن :

$$2a_s = \frac{0,35}{f_y} \cdot b_w \cdot S$$

ولاتزيد تباعدها عن (300 mm) .

- إذا كانت الإجهادات المماسية الناتجة عن القتل τ_{\parallel} أقل من المسموح مقاومته بالبيتون لوحده :

$$\tau_{\parallel} \leq 0,13 \sqrt{f'_c}$$

والإجهادات المماسية الناتجة عن القتل τ_{\perp} أكبر من المسموح مقاومته بالبيتون لوحده :

$$\tau_{\perp} > 0,23 \sqrt{f'_c}$$

فنكتفى بتسليح عرضي انشائي لمقاومة القتل ، أما تسليح القص فيحسب

$$\text{باعتبار } \tau_{ou} = 0,16 \sqrt{f'_c} .$$

- عندما تتجاوز الإجهادات المماسية الناتجة عن القتل τ_{\parallel} والإجهادات المماسية الناتجة عن القص τ_{\perp} القيمتين المحددتين بالعلاقتين (7 - 4) و (7 - 6) ،

تحسب مساحة التسليح العرضي لمقاومة القص والفتل ، كلا على حدى ، على أن تؤخذ قيمة τ_{uc} , τ_{ou} المحسوبتين بالعلاقتين (4 - 7) - (6 - 7) . إذا لم تتجاوز قيمة τ_{uc} القيمة المعطاة بالعلاقة (4 - 7) ، نكتفي بتسليح عرضي إنشائي على القص .

7. 2. 3 ترتيبات التسليح الخاص بالفتل :

- نستخدم في تسليح الفتل أساور لا تقل أقطار مقاطعها عن 8 - 10 mm ولا يزيد تباعدها عن 300 mm . وتكون مطوقة للمقطع بكامله .

كما يجب ألا تقل أقطار التسليح الطولي الخاصة بالفتل عن 14 - 16 mm ويستخدم قضيب واحد في كل ركن على الأقل على أن لا تزيد التباعدات فيما بينها عن 300 mm .

أما في حالة استخدام أساور حلزونية فيجب ألا تزيد خطوتها عن 250 mm وأن تتطابق اتجاهاتها مع اتجاه عزم الفتل المطبق .

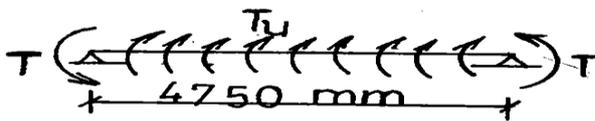
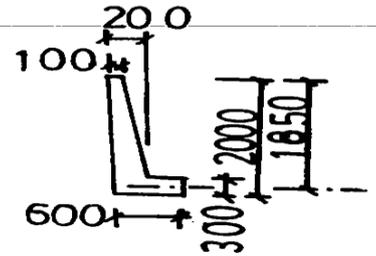
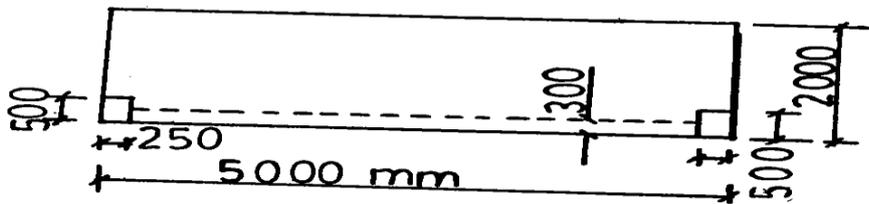
- يمكن دمج مساحات التسليح الناتجة عن القص والفتل على أن تكون مساحة التسليح المستخدمة مساوية لمجموع مساحات التسليح المطلوبة وعلى أن تراعى المتطلبات القصوى في توزيع التسليح المطلوب لكل منهما على حده .

مثال - حساب التسليح اللازم لتحمل الاجهادات المماسية الناتجة عن الفتل والقص:

يطلب حساب التسليح اللازم لتحمل الاجهادات المماسية الناتجة عن الفتل والقص للجائز الحامل لبلاطة ظفرية علما بأن البلاطة تتعرض لحمولة حية مصعدة مقدارها 3.6 KN/m^2 وميتة مصعدة مقدارها 5.7 KN/m^2 والابعاد مبينة على الشكل ، ومقاومات المواد : $f_y = 240 \text{ N/mm}^2$ ، و 18.0 N/mm^2 .

الحل :

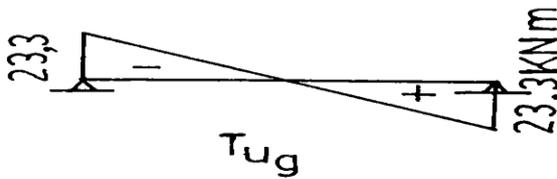
1- إيجاد مغلف عزم القتل :



عزم القتل المؤثر على المتر الطولي من الجانز :

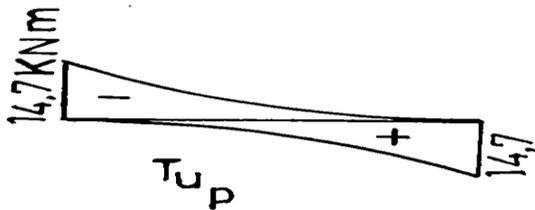
$$T_{ug} = 5,71,85^2 / 2 = 9,8 \text{ KN m/m}$$

$$T_{up} = 3,61,85^2 / 2 = 6,2 \text{ KN m/m}$$



$$T_{u_{gx}} = 23,3 - 9,8 \cdot x$$

$$T_{u_{px}} = \frac{(4,75 - x)^2 \cdot 6,2}{2 \cdot 4,75}$$



$$T_{u_{gx}} + T_{u_{px}} = 0$$

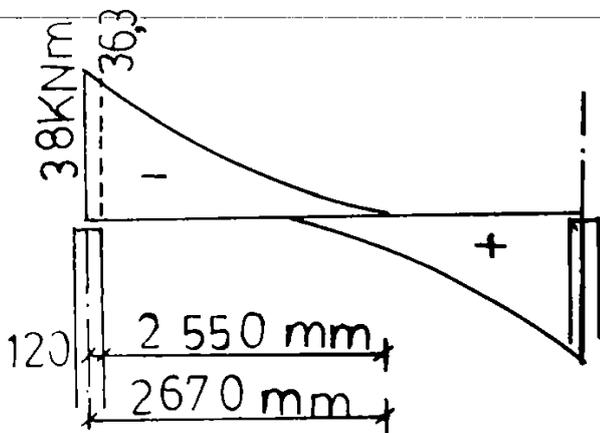
$$\Rightarrow 23,3 - 9,8x +$$

$$+ \frac{(4,75 - x)^2 \cdot 6,2}{2 \cdot 4,75} = 0$$

$$\Rightarrow x^2 - 24,5168 \cdot x +$$

$$+ 58,26 = 0$$

$$\Rightarrow x = 2,67 \text{ m}$$



مغلف عزم القتل T_U

2- إيجاد مغلف القص : (بادخال وزن الجائز الذاتي المصعد و اضافته الى الحمولات الميتة المصعدة المنقولة من البلاطة)

لحمولات على الجائز :

$$g_u = 15,9 \text{ KN/m}$$

$$p_u = 7,2 \text{ KN/m}$$

$$Q_{u_{gx}} = 37,8 - 15,9 \cdot x$$

$$Q_{u_{px}} = \frac{(4,75 - x)^2 \cdot 7,2}{2 \cdot 4,75}$$

$$Q_{u_{gx}} + Q_{u_{px}} = 0$$

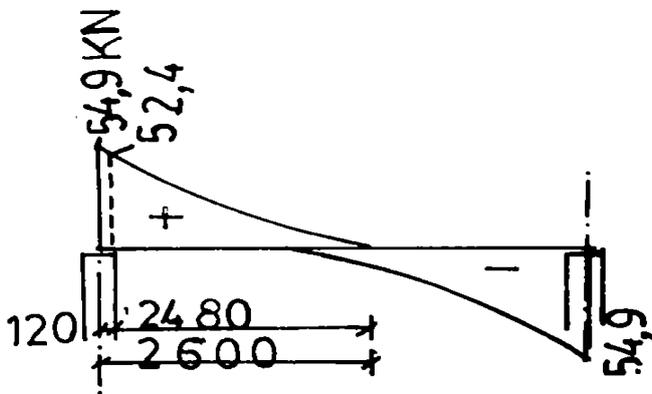
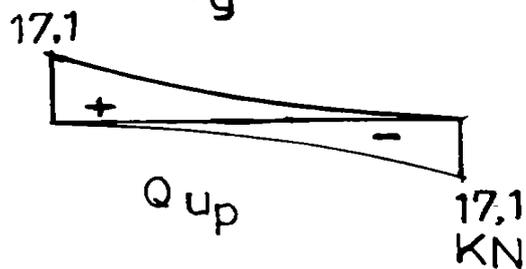
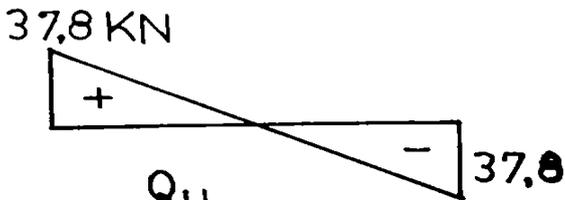
$$\Rightarrow 37,8 - 15,9 \cdot x +$$

$$+ \frac{(4,75 - x)^2 \cdot 7,2}{2 \cdot 4,75} = 0$$

$$\Rightarrow x^2 - 30,48 \cdot x + 72,44 = 0$$

$$\Rightarrow x = 2,60 \text{ m}$$

مغلف قوى القص Q_u



ثالثا - الإجهادات و حساب مساهمة البيتون:

الإجهادات عند وجه المسند:

$$\tau_u = \frac{Q_u}{\Omega \cdot b_w \cdot d} = \frac{52,4 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 300 \cdot 550} = 0,374 \text{ N/mm}^2 \quad \text{إجهاد القص:}$$

إجهاد الفتل:

$$\tau_w = \frac{3T}{x^2 \cdot y} = \frac{3 \cdot 36,3 \cdot 10^6}{300^2 \cdot 600} = 2,017 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_w > 0,13 \sqrt{f'_c} = 0,13 \sqrt{18} = 0,55 \text{ N/mm}^2$$

يلزم تسليح لمقاومة الفتل .

التحقق من كفاية المقطع:

$$(\tau_w)_{\max} = \frac{0,8 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,2 \tau_u}{\tau_w} \right)^2}} = \frac{0,8 \sqrt{18,0}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,2 \cdot 0,374}{2,017} \right)^2}}$$

$$= 3,313 \text{ N/mm}^2 > \tau_w = 2,017 \text{ N/mm}^2$$

أبعاد المقطع مقبولة .

مساهمة البيتون في تحمل إجهادات الفتل

$$\tau_{sc} = \frac{0,16 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,2 \cdot \tau_u}{\tau_w} \right)^2}} = \frac{0,16 \sqrt{18,0}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,2 \cdot 0,374}{2,017} \right)^2}} = 0,6626 \text{ N/mm}^2$$

مساهمة البيتون في تحمل إجهادات القص:

$$\tau_{cu} = \tau_{su} = \frac{0,16 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\tau_w}{1,2 \tau_u} \right)^2}}$$

$$= \frac{0,16 \sqrt{18}}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,017}{1,2 \cdot 0,374} \right)^2}} = 0,147 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_u = 0,374 \text{ N/mm}^2 > \tau_{cu} = 0,147 \text{ N/mm}^2$$

يلزم تسليح حسابي لمقاومة إجهادات القص.

رابعاً - حساب التسليح اللازم لمقاومة الاجهادات الناتجة عن القص و الفتل:

- تسليح الأساور لمقاومة اجهادات القص:

باستخدام أساور بفرعين تباعد $S=10$ cm نجد

$$\tau_s = \tau_u - \tau_{ou} = 0,374 - 0,147 = 0,227 \text{ N/mm}^2$$

مساحة مقطع الاسواره الواحدة:

$$a_s = \frac{S \cdot b_w \cdot \tau_s}{n \cdot f_y} = \frac{10 \cdot 30 \cdot 0,227}{2 \cdot 240} = 0,14 \text{ cm}^2$$

- حساب الأساور المحيطية المغلقة لمقاومة إجهادات الفتل :

$$T_c = \frac{\tau_w \cdot \sum (x^2 \cdot y)}{3}$$

$$T_c = \frac{0,6626 \cdot (300^2 \cdot 600 + 150^2 \cdot 450)}{3}$$

$$T_c = 14,163 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$T_c = 14,163 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

عزم الفتل المطبق على التسليح:

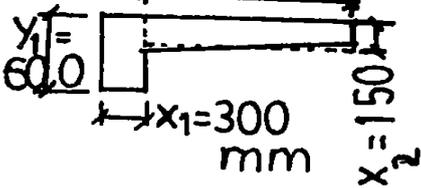
$$T_s = T_u - T_c =$$

$$= 36,3 - 14,163 =$$

$$= 22,137 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

مساحة مقطع الأسواره اللازمة لمقاومة الفتل (التباعد $S=10$ cm):

$$a_s = \frac{T_s \cdot S}{B_c \cdot f_y \cdot \alpha_i} = \frac{\tau_s \cdot \sum x^2 \cdot y \cdot S}{3 \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot \alpha_i \cdot f_y}$$



$$\alpha_i = 0,66 + 0,33 \frac{y_1}{x_1} \leq 1,5$$

$$= 0,66 + 0,33 \frac{55}{25} = 1,386 \leq 1,5$$

$$a_s = \frac{22,137 \cdot 10^6 \cdot 100}{250 \cdot 550 \cdot 240 \cdot 1,386} = 48,4 \text{ mm}^2 \approx 0,5 \text{ cm}^2$$

وباستخدام إسواره واحدة محيطية بفرعين لمقاومة اجهادات القص و الفتل

معا فإن مساحة المقطع الواحد لفرع الإسواره المطلوبة :

$$a_s + a_s = 0,14 + 0,5 = 0,64 \text{ cm}^2$$

نستخدم إسوارة $\phi 10 \text{ mm}$ مساحتها $0,78 \text{ cm}^2$ للفرع الواحد .
ويمكن تكبير التباعد S :

$$S = \frac{0,78}{0,64} \cdot 10 = 12 \text{ cm}$$

إذا نستخدم $\phi 10 \text{ mm} / 12 \text{ cm}$.

- التسليح الطولي اللازم لمقاومة إجهادات القتل :

$$a_{\text{st}} = \frac{T_p \cdot U_c}{2 \cdot B_c \cdot f_y \cdot \alpha_c} = \frac{22,137 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot (250 + 550)}{250 \cdot 550 \cdot 240 \cdot 1,386} =$$

$$= 774,4 \text{ mm}^2 = 7,74 \text{ cm}^2 = 2 \cdot a_{\text{st}} \left(\frac{x_1 + y_1}{S} \right)$$

$$a_{\text{st}} \geq \left[\frac{2,8 \cdot x \cdot S}{f_y} \left(\frac{\tau_{\text{w}}}{\tau_{\text{w}} + \tau_{\text{u}}} \right) - 2a_{\text{st}} \right] \frac{x_1 + y_1}{S}$$

$$\geq \left[\frac{2,8 \cdot 300 \cdot 100}{240} \left(\frac{2,017}{2,017 + 0,374} \right) - 2 \cdot 50 \right] \frac{250 + 550}{100} =$$

$$= 1562,0 \text{ mm}^2 = 15,62 \text{ cm}^2$$

نستخدم $8 \phi 16 \text{ mm} = 16,08 \text{ cm}^2$ لأنها أكبر القيمتين السابقتين .

والآن نحسب التسليح في باقي أجزاء الجائز ، من مغلف إجهاد القص
ومغلف إجهاد القتل نجد :

من مغلف الإجهادات المماسية الناتجة عن القتل يتبين موقع τ_{ic}

$$\tau_{\text{ic}} = 0,13 \sqrt{f'_c} = 0,55 \text{ N/mm}^2$$

وبذلك يتبين بأنه في وسط الجائز مسافة 96 cm حيث الإجهادات في هذه

المنطقة $\tau_{\text{w}} \leq \tau_{\text{ic}}$ يكفي تسليح إنشائي فقط.

حساب هذا التسليح الإنشائي :

$$\frac{2 \cdot a_{\text{st}}}{b \cdot S} = \frac{0,35}{f_y}$$

$$S = \frac{240 \cdot 2 \cdot 0,78}{0,35 \cdot 30} = 35 \text{ cm} : \text{ نستخدم } \phi 10 \text{ mm} \text{ أساور}$$

نستعمل أساور $\phi 10 \text{ mm} / 20 \text{ cm}$

نخفض التسليح من عند المسند حتى هذه المنطقة عند (τ_{tc}) بشكل متدرج

حتى غاية التسليح الانشائي .

