تطبيقات الخرسانة المسلحة

كلية هندسة العمارة – جامعة المنارة

إعداد

أ.د. بسام حويجة

المحتويات

أولاً- مقدمة وتعاريف واشتراطات خاصة وترتيبات مفيدة

- **إجهاد القص الحدي الأعظمي المسموح تشكله في المقطع $(\tau_{u\max})$:**

يجب ألا تزيد إجهادات القص الحدية في المقطع البيتوني عن حد معين $(\tau_{u\max})$ ، يحسب من العلاقات التالية، وفي حال عدم تحقيق هذا الشرط يجب تغيير أبعاد المقطع.

- حالة تسليح عرضاني قائم:

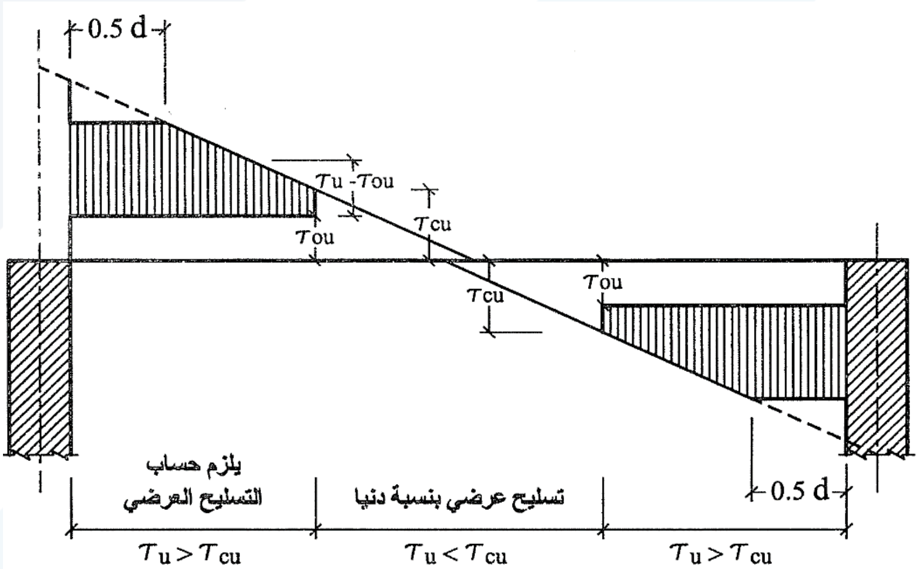
$$\tau_{u\max}(MPa) = 0.65\sqrt{f'_c}\,(MPa)$$

- حالة تسليح عرضاني قائم ومائل (قضبان تسليح مكسحة بزاوية (45°) مع تسليح الشد الرئيس):

$$\tau_{u\max}(MPa) = 0.80\sqrt{f'_c}\,(MPa)$$

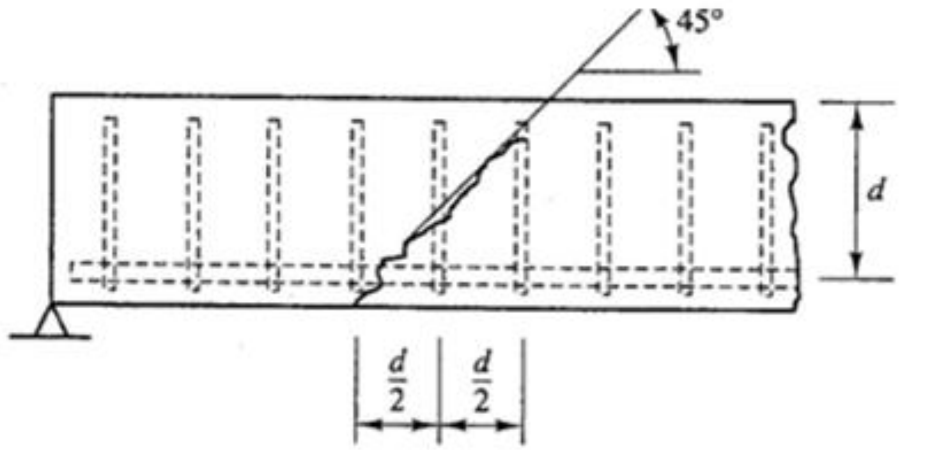
- **حساب التسليح العرضي لمقاومة القص الحدي (A_{st}):**

يبين الشكل التالي، كيفية افتراض إجهادات القص التصميمية اللازمة لحساب التسليح العرضي المقاوم للقص.



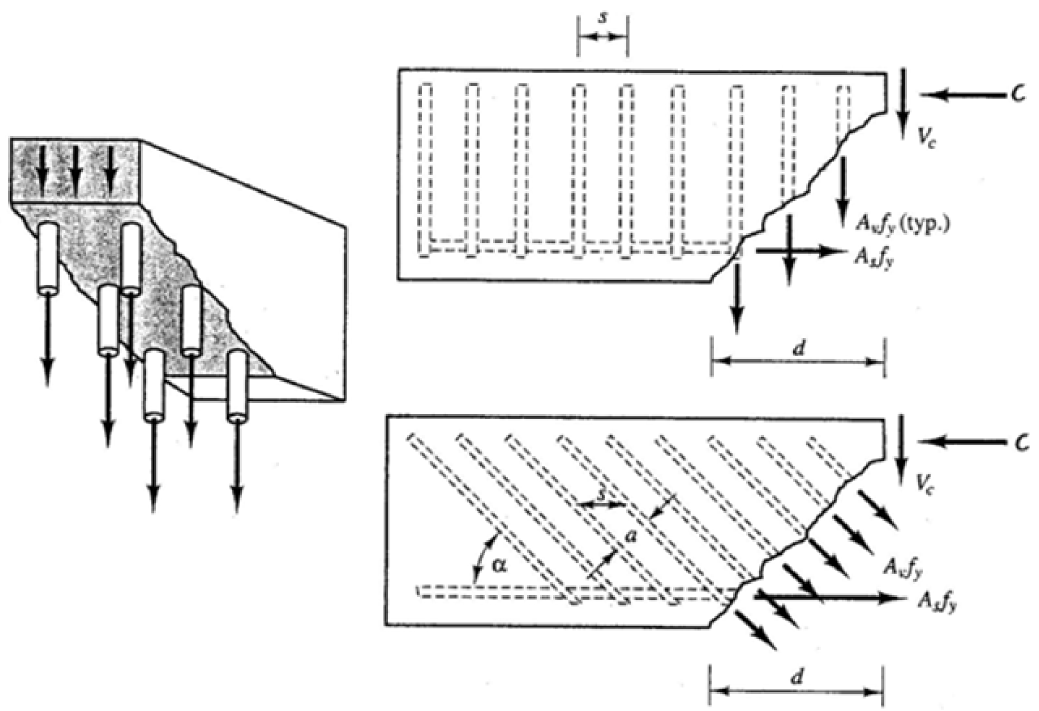
مخطط افتراض اجهادات القص التصميمية بهدف حساب تسليح القص

يوضح الشكل التالي التباعد الأعظمي للتسليح العرضاني في الجائز.



التباعد الأعظمي للتسليح العرضي

وأما الشكل التالي فإنه يمكننا من فهم فعل هذا التسليح وآلية مقاومته للقص.



آلية مقاومة التسليح العرضي للقص

ولحساب مساحة التسليح العرضي، يمكن التمييز بين الحالتين التاليتين:

- في حال استعمال تسليح عرضي قائم على التسليح الطولي، يؤخذ الحد الأدنى لمقطعها:

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

- في حال استعمال تسليح عرضي مائل بزاوية (α) عن التسليح الطولي، يؤخذ الحد الأدنى لمقطعها:

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

$$if \quad \alpha = 45^\circ \quad \Rightarrow A_{st} = \frac{(\tau_u - \tau_{ou})}{\sqrt{2} \, f_y} b_w \, s$$

حيث s : التباعد بين التسليح العرضاني.

ملاحظة: عندما يكون $\tau_u \le \tau_{cu}$ ، يكتفى بأدنى مساحة تسليح عرضي مسموح بها (تسليح عرضي أصغري)، وهي:

$$A_{st\min} = \frac{0.35}{f_y} b \, s$$

- **إجهادات القص الافتراضية (τ_{tu}) الناتجة عن الفتل الحدي (T_u):**

في البداية، نشير إلى أن معظم الكودات العالمية توصي بأن تؤخذ قيمة عزم الفتل الحدي (T_u) ، للعناصر المحملة على ركائز (جوائز...)، عند المقاطع الواقعة على مسافة نصف الارتفاع الفعال من وجه الركيزة أو المسند $(0.5d)$.

سنعتمد فيما يلي قيم هذه الاجهادات المماسية كما هو وارد في الكود السوري الأساس:

- في حالة المقاطع المستطيلة والمقاطع ذات الأجنحة، تؤخذ قيمة الاجهاد المماسي الافتراضي (τ_{tu}) من العلاقة التالية:

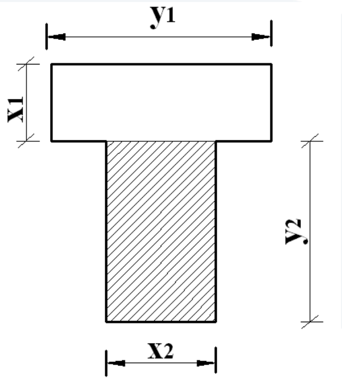
$$\tau_{tu} = \frac{3T_u}{\sum x^2 y}$$

حيث:

T_u : عزم الفتل الحدي الأقصى.

x : عرض كل من المستطيلات التي يتألف منها المقطع.

y : طول كل من المستطيلات التي يتألف منها المقطع، بشرط أن يكون $y \le 3x$ ، في حال جناح الجوائز بشكل حرف T.



– في حالة المقاطع الدائرية المليئة، تؤخذ قيمة (τ_{tu}) من العلاقة التالية:

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

حيث d_k يمثل قطر نواة المقطع.

ويجب، في هذه الحالة، التحقق من سمك الغطاء البيتوني (c)، بحيث لا يقل عن $(1/12)$ من قطر المقطع (d).

- **الحد الأدنى للتسليح العرضي في حالة الفتل الحدي (T_u):**

يهمل تأثير الفتل في الحسابات، عندما تكون قيمة الاجهاد المماسي الافتراضي (τ_{tu}) المحسوب أقل من قيمة معينة تحدد من العلاقة التالية:

$$\tau_{tu} \le 0.13\sqrt{f_c'}$$

ويكتفي بأدنى مساحة تسليح عرضي مسموح بها (تسليح عرضي أصغري)، وهي:

$$A_{st\min} = \frac{0.35}{f_y} b\,s$$

أما عندما يكون $\tau_{tu} > 0.13\sqrt{f_c'}$ ، فيجب أن يؤخذ تأثير الفتل في الحسابات.

- **إجهاد القص الحدي الأعظمي الناتج عن الفتل والمسموح تشكله في المقطع $(\tau_{tu\max})$:**

يجب ألا تزيد الإجهادات المماسية المحسوبة (τ_{tu}) ، والناتجة عن الفتل ما يلي:

$$\tau_{tu} \le \tau_{tu\max} = \frac{0.8\sqrt{f_c'}}{\sqrt{1+\left(\frac{1.2\tau_u}{\tau_{tu}}\right)^2}} \ (MPa)$$

- **حساب التسليح اللازم لمقاومة الفتل الحدي (T_u):**

يقاوم الفتل بنوعين من التسليح، الأول طولي (A_{sl}) موزع بانتظام على كامل محيط المقطع، والثاني عرضي (A_{st}) مكون من أساور أو إطارات أو أتاري مغلقة (تسليح قائم)، ومطوق تطويقاً كاملاً للمقطع.

- التسليح العرضي (A_{st}):

$$\frac{A_{st}}{s}=\frac{(\tau_{tu}-\tau_{tcu})}{\alpha_t\, x_1\, y_1\, f_y}\frac{\sum x^2 y}{3}$$

حيث:

y_1 : طول اسوارة التسليح المستطيلة (الأصغر).

x_1 : عرض اسوارة التسليح المستطيلة (الأصغر).

$s\le\frac{x_1+y_1}{4}$: التباعد بين الأساور.

$$\alpha_t=\left[0.66+0.33\left(\frac{y_1}{x_1}\right)\right]\le 1.5$$

إذا استعملت أساور مائلة على التسليح الطولي بزاوية ، أو قضبان حلزونية، تكون المساحة المطلوبة لهذا التسليح معادلة لـ: $0.7\,A_{st}$.

- التسليح الطولي (A_{sl}): تؤخذ مساحة التسليح الطولي أكبر قيمة تنتج عن المعادلتين التاليتين:

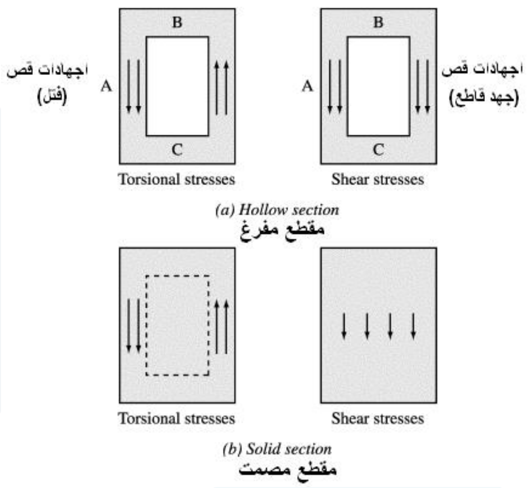
$$A_{sl}\ge\begin{cases} * \quad A_{sl1}=2\,A_{st}\left(\dfrac{x_1+y_1}{s}\right),\ Torsion\,only \\ * \quad A_{sl2}=\left[\dfrac{2.8\,x\,s}{f_y}\left(\dfrac{\tau_{tu}}{\tau_{tu}+\tau_u}\right)-2\,A_{st}\right]\left[\dfrac{x_1+y_1}{s}\right],\ Torsion\,\&\,Shear \quad , \\ \qquad with\ 2\,A_{st}\ge\dfrac{0.35}{f_y}b_w\,s \end{cases}$$

إذا كانت المقاومة المميزة للتسليح العرضي f_{yt} ، مختلفة عن المقاومة المميزة للتسليح الطولي f_y ، فتستبدل A_{st} بالمقدار $A_{st}\left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right)$.

في حال وجود القص والفتل معاً (الشكل التالي)، تحسب مساحة التسليح العرضي لمقاومة الاجهادات المماسية الناتجة عن القص والفتل، كل على حده.

مع افتراض القيمة العظمى للإجهاد المماسي الذي يتحمله البيتون لحالة القص كما تم تحديده سـابقاً، وقيمة عظمى من العلاقة التالية لحالة الفتل:

$$\tau_{tcu}=\frac{0.16\sqrt{f_c'}}{\sqrt{1+\left(\frac{1.2\,\tau_u}{\tau_{tu}}\right)^2}}\,(MPa)$$



اجهادات القص الناجمة عن القص والفتل في مقطع ما

- مقاومة البيتون للشد – الاجهادات المسموحة للمواد وفق الكود السوري

نبين فيما يلي قيم هذه الخواص بدلالة المقاومة المميزة للبيتون على الضغط، المفيدة عند دراسة حالة الحد من التشقق المعيب:

- مقاومة البيتون للشد البسيط: $f_{ct}=0.45\sqrt{f_c'}\,(MPa)$
- مقاومة البيتون للشد بالانعطاف: $f_{cb}=0.74\sqrt{f_c'}\,(MPa)$
- الإجهاد المسموح للبيتون على الشد البسيط (حمولات استثمارية)، مع وجود تقلص:

$$\bar{f}_{ct}=0.40\sqrt{f_c'}\,(MPa)$$

- الإجهاد المسموح للبيتون على الشد البسيط (حمولات استثمارية)، بإهمال التقلص:

$$\bar{f}_{ct}=0.75\times0.40\sqrt{f_c'}=0.30\sqrt{f_c'}\,(MPa)$$

- الإجهاد المسموح للبيتون على الشد بالانعطاف (حمولات استثمارية)، مع وجود تقلص:

$$\bar{f}_{cb} = 0.57\sqrt{f'_c}\ (MPa)$$

- الإجهاد المسموح للبيتون على الشد بالانعطاف (حمولات استثمارية)، بإهمال التقلص:

$$\bar{f}_{cb} = 0.75\times 0.57\sqrt{f'_c} = 0.43\sqrt{f'_c}\ (MPa)$$

- الإجهاد المسموح لفولاذ التسليح على الشد (حمولات استثمارية):

$$\bar{\sigma}_s = 0.55\, f_y\ (MPa)$$

- حالة حد التشقق المعيب وفق الكود السوري

تقسم المنشآت حسب حد التشقق المسموح، إلى ثلاثة أنواع:

1. النوع الأول: يتمثل بالمنشآت التي لا يسمح بحصول تشققات فيها (تشققات غير مسموحة)، وهي مجموعة الإنشاءات المعرضة لعوامل ضارة شديدة التأثير على البيتون، كحالة خزانات المياه، العناصر القريبة من البحر، وتلك المنشآت الواقعة في وسط ضار جداً (بيئة هجومية فتاكة). وفي هذا النوع من المنشآت لا يجوز أن تزيد سعة الشقوق على $(a \le 0.1mm)$.
2. النوع الثاني: يشمل الإنشاءات الموجود في العراء، مثل الجسور والإنشاءات العادية والعناصر الخارجية، التي يمكن أن تتأثر بعوامل الرطوبة، أو العناصر الإنشائية للمصانع الموجودة في جو رطب أو فيه كميات كبيرة من الأبخرة، وكذلك الصوامع أو المشابهة لها، ولا يجوز في هذا النوع أن تزيد سعة الشقوق على $(a \le 0.2mm)$.
3. النوع الثالث: يشمل العناصر المحمية من الإنشاءات العادية، والتي لا تؤثر فيها سعة الشقوق المحددة على السلامة الإنشائية، ولا يجوز في هذا النوع أن تزيد سعة الشقوق على $(a \le 0.3mm)$.

- وسائل تلافي الوصول إلى حد التشقق:

لتلافي تشققات متسعة في العناصر الإنشائية، يتوجب اتخاذ الإجراءات التالية:

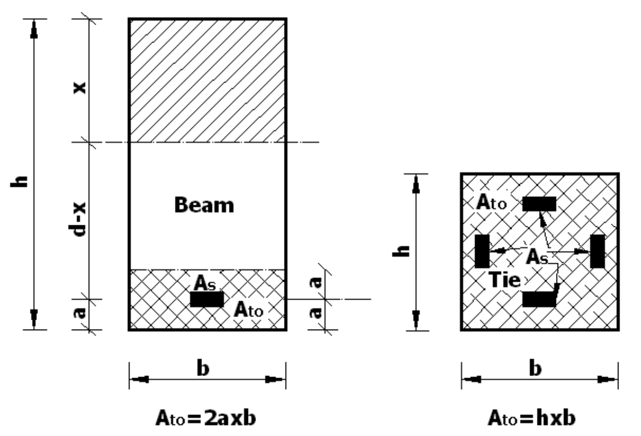
1) استعمال بيتون كثيف ما أمكن، بحيث يتحقق خلطة بيتونية بتدرج حبي مستمر وبقوام جيد.
2) تحقيق اشتراطات الكود من حيث تأمين السماكة الكافية لطبقة تغطية فولاذ التسليح.
3) تأمين أطوال التثبيت اللازمة لقضبان التسليح، وفق منصوص الكود السوري.
4) التحقق من شرط قطر قضبان التسليح ϕ، وفق ما يلي:

$$\phi \le \max \begin{cases} \phi_1 = \psi_s \left[\dfrac{800}{f_y} \right]^2 \\ \phi_2 = \psi_s \left[\dfrac{75000}{f_y} \dfrac{\mu_t}{1+10\mu_t} \right] \end{cases}$$

حيث:

الأقطار، $\phi_1 \& \phi_2 \ (mm)$: المقاومة المميزة لفولاذ التسليح. $f_y \ (MPa)$:

النسبة بين تسليح الشد A_s ، ومقطع بيتون التغطية A_{to} الذي يحيط بالتسليح، (تطابق بين مركز ثقل التسليح ومقطع البيتون. $\mu_t = \dfrac{A_s}{A_{to}}$:



جائز شداد

مقطع بيتون التغطية لتسليح الشد في حالة شداد وحالة جائز معرض لانعطاف

وتحدد قيمة العامل ψ_s ، حسب حد التشقق ونوع التسليح، من الجدول التالي.

حد التشقق المسموح	تسليح محلزن (ذو نتوءات)	تسليح أملس مستدير	
0.1mm	1.8	1.0	ψ_s
0.2mm	3.6	2.0	ψ_s
0.3mm	5.4	3.0	ψ_s

5) عند عدم تحقيق شرط القطر ϕ ، يتحتم الحد من سعة التشققات بتقليل الاجهادات في فولاذ التسليح، وحساب هذه السعة باستخدام العلاقات التالية وفقاً لطبيعة الحمولات المطبقة.

- حمولات استاتيكية دون اهتزازات:

$$a_{i\max} = \left[0.15C + \frac{0.016\phi}{\mu_t}\right]\left[10\sigma_s - \frac{10}{\mu_t}\right] \times 10^{-5} \leq \text{limit } of \; a_i$$

- حمولات تسبب اهتزازات:

$$a_{i\max} = \left[0.15C + \frac{0.016\phi}{\mu_t}\right]\left[\sigma_s\right] \times 10^{-4} \leq \text{limit } of \; a_i$$

حيث:

$\phi\ (mm)$: قطر قضيب التسليح، $C\ (mm)$: سماكة التغطية البيتونية لقضيب التسليح.

$a_{i\max}\ (mm)$: أكبر سعة للشقوق، $\sigma_s\ (MPa)$: أقصى إجهاد شد في فولاذ التسليح، تحت حمولات الاستثمار للمقطع المتشقق (حالة حد الاستثمار)، وتضرب بالعامل 1.6 في حال استعمال تسليح أملس.

- حالة خاصة - تصميم الشدادات

- حالة التشققات مسموحة $(a \leq 0.2mm \; or \; a \leq 0.3mm)$:

1- الفولاذ يتحمل قوة الشد بمفرده:

$$N_u = \Omega A_s f_y = 0.9 A_s f_y$$
$$N_u = 1.4 N_g + 1.7 N_p$$

2- أما البيتون، تحدد الأبعاد استناداً لشرط السعة، وعادة نأخذ من العلاقة التالية:

$$A_c \geq \frac{N_{(g+p)}}{f_{ct}}$$

- حالة التشققات غير مسموحة $(a \leq 0.1mm)$:

تلخص فرضيات الحساب على النحو التالي:

- المقطع متجانس، ويعمل ضمن مجال المرونة.

- التسليح يقاوم قوة الشد لوحده.
- اعتماد قيمة لعامل التعادل مقدارها: $n = \frac{E_s}{E_{ct}} \approx 10$
- كتابة معادلة توازن القوى في المقطع:

1- حالة عدم وجود تقلص (إهماله):

$$N_{(g+p)} = \bar{f}_{ct}\left(A_c + n\,A_s\right)$$
$$A_s = \frac{N_{(g+p)}}{\bar{\sigma}_s}$$

2- حالة وجود تقلص:

$$N_{(g+p)} + \Delta N = \bar{f}_{ct}\left(A_c + n\,A_s\right)$$
$$\Delta N = A_s \varepsilon_{sh} E_s$$

$$A_c = \frac{N_{(g+p)} + \Delta N}{\bar{f}_{ct}} - n\,A_s$$

وتؤخذ قيمة تشوهات التقلص ε_{sh} وفقاً للوسط المحيط، كما يلي:

✓ وسط رطب جداً: $\varepsilon_{sh} = \frac{\Delta L}{L} = 2\times10^{-4}$

✓ وسط جاف جداً: $\varepsilon_{sh} = \frac{\Delta L}{L} = 5\times10^{-4}$

- حساب السهوم في العناصر الخاضعة لانعطاف

أ - متطلبات الاستغناء عن حساب السهوم:

يمكن الاستغناء عن حسابات السهوم في المقاطع الخاضعة لعزوم انعطاف في كل من الحالات التالية:

- عندما تحقق الحدود الدنيا، المتعلقة بنسبة الارتفاع الكلي للمقطع إلى طول مجازه.
- عندما لا تزيد نسبة تسليح الشد الناتجة حسابياً في المقطع عن $\mu_s = \frac{A_s}{b_w d} \le 0.18 \frac{f_c'}{f_y}$

ب - وعندما يكون العنصر المدروس غير محقق لأي من الاشتراطات السابقة، يجب دراسة السهم والتحقق من أنه أصغر من السهم المسموح المحدد من قبل الكود، بمعنى دراسة حالة الحد من السهم المعيب. وفي كل الأحوال يجب التحقق من السهوم للجوائز التي يزيد مجازها الفعال عن $(L>15m)$، وللبلاطات عن $(L>8m)$، حتى وإن تم تحقيق شرط الارتفاع.

ج - السهوم النهائية المفيدة عند المقارنة مع السهوم المسموحة:

- ✓ δ_{pi}: السهم الآني الناجم عن الحمولات الإضافية (P)، حيث مدة تطبيق الحمولة $t \le 24hours$.
- ✓ $\delta_{\max} = \delta_{gi} + \delta_{gf} + \delta_{pi}$: السهم الأعظمي الكلي.
- ✓ $\delta'_{\max} = \delta_{\max} - \delta_{g0i}$: السهم الكلي المؤثر بالقواطع والاكساءات.

حيث:

δ_{g0i}: السهم الآني الناجم عن الوزن الذاتي والحمولات الدائمة قبل الاكساء إن وجدت.

δ_{gi}: السهم الآني الناجم عن الحمولات الدائمة (G).

$\delta_{gf} = \alpha\,\delta_{gi}$: السهم طويل الأمد الناجم عن الحمولات الدائمة (G) (جريان: $t>24hours$).

$$\alpha = \frac{\xi}{1+50\dfrac{A'_s}{b_w d}} \ge 0.8$$

A'_s: مساحة تسليح الضغط في المقطع، عند منتصف المجاز للجوائز البسيطة أو المستمرة، وعند المسند للجائز الظفري.

$\xi = f(t,\ldots)$: عامل تجريبي يتعلق بمدة التحميل للحمولات الدائمة المطبقة، التي انقضت وقت حساب السهم. ويؤخذ من الجدول التالي.

ثلاث سنوات أو أكثر	سنة واحدة	ستة أشهر	شهر واحد	مدة التحميل (t)
2	1.4	1.2	1	ξ

ملاحظة: في حالة البلاطات العاملة باتجاهين نعتمد $\xi = 3$، عندما يكون $(t \ge 5\,years)$.

د - السهوم المسموحة وفق الكود السوري:

لا يجوز أن تتجاوز قيمة السهم المحسوب (السهم الكلي أو الآني)، القيم المسموحة الواردة في الجدول التالي.

الحد الأعلى للسهم بدلالة L^*	قيمة السهم المدروس	نوع العنصر
$\frac{L}{180}$	السهم الآني الناتج عن الأحمال الحية فقط.	السطوح الأخيرة غير المرتبطة بعناصر غير إنشائية يمكن أن تتأثر بالسهم الكبير.
$\frac{L}{360}$	السهم الآني الناتج عن الأحمال الحية فقط.	السقوف غير المرتبطة بعناصر غير إنشائية يمكن أن تتأثر بالسهم الكبير.
$\frac{L}{240}$	السهم الكلي من الأحمال الميتة والحية والافعال غير المباشرة مطروحاً منه السهم الآني الناتج عن الوزن الذاتي. كما يمكن أن يطرح منه السهم الآني الناتج عن الجزء من الأحمال الثابتة التي يكون مؤكداً أنها ستطبق على المنشأة قبل تحميلها بالعناصر غير الإنشائية أو الإكساءات.	السقوف أو السطوح الأخيرة المرتبطة أو الحاملة لعناصر غير إنشائية أو إكساءات عادية لا تتأثر كثيراً بالسهم الكبير.
$\frac{L}{480}$		السقوف أو السطوح الأخيرة المرتبطة أو الحاملة لعناصر غير إنشائية أو تجهيزات دقيقة يمكن أن تتأثر إلى حد بالغ بالسهم الكبير (**)
$\frac{L}{180}$	السهم الكلي (ويمكن أن يطرح منه السهم المعاكس على أن يطلب تنفيذ هذا السهم المعاكس صراحة على المخططات).	جميع العناصر (***)على أن يدرس تأثيره على العناصر الإنشائية وغير الإنشائية أيضاً.
$\frac{L}{600}$	السهم الكلي من وزن الرافعة والحمل الحي	الجائز الحامل للرافعة في المنشآت الصناعية

السهوم المسموحة وفق الكود السوري

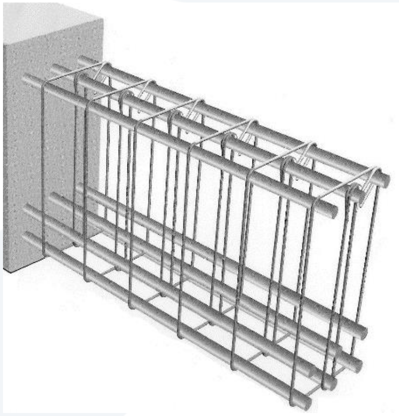
ملاحظات:

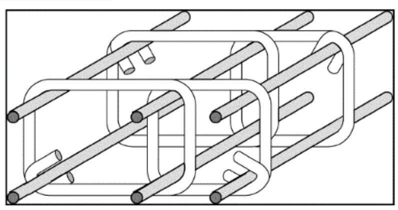
* تؤخذ قيمة L مساوية إلى مجاز العنصر الحر، للعناصر المستندة على أعمدة وجدران، ومجاز العنصر من المحور إلى المحور، بالنسبة للعناصر المستندة على عناصر أخرى معرّضة للانعطاف. أما بالنسبة للظفر فتؤخذ L مساوية لضعف مجاز الظفر.

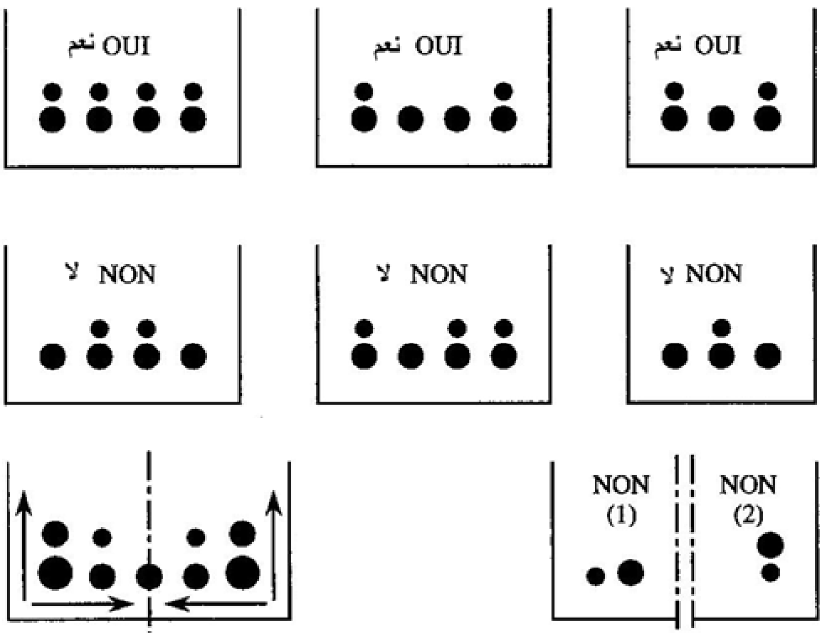
** لا يُطبّق هذا الشرط، إلا في الحالات الاستثنائية للعناصر المرتبطة أو الحاملة لتجهيزات أو إنهاءات دقيقة، يمكن أن تتضرر نتيجة السهوم التي تزيد على الحدّ المعيّن، ويمكن أن يُخفض هذا الحدّ إذا أخذنا بالحسبان قيمة التسامح في الحركة، التي يمكن أن تسمح بها العناصر أو التجهيزات المتأثرة بالسهم.

*** هذا الشرط يُطبّق على الدوام، بالإضافة إلى ما يتوجب تطبيقه من الشروط الأخرى.

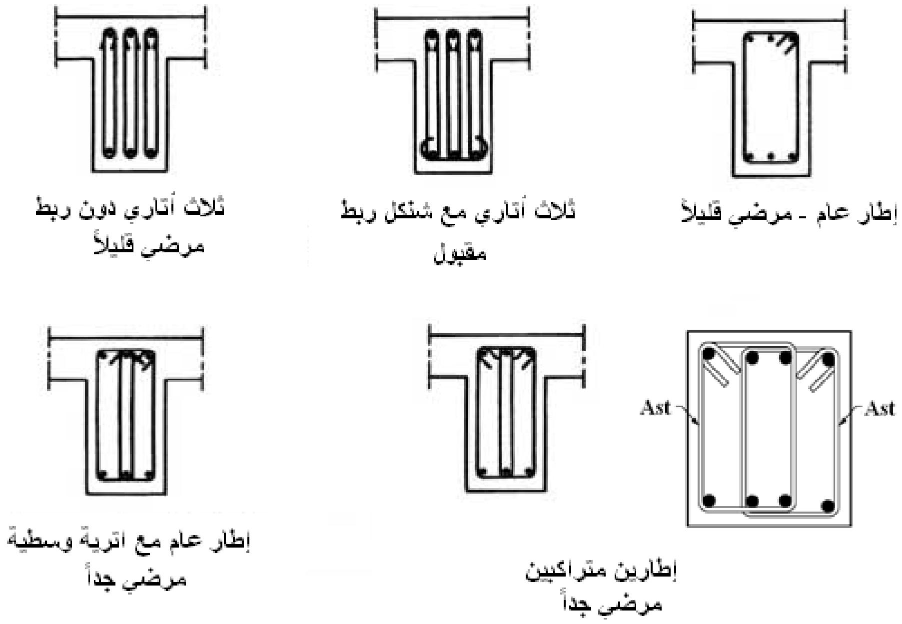
- ترتيبات التسليح وتفصيلات إنشائية خاصة بالجوائز:



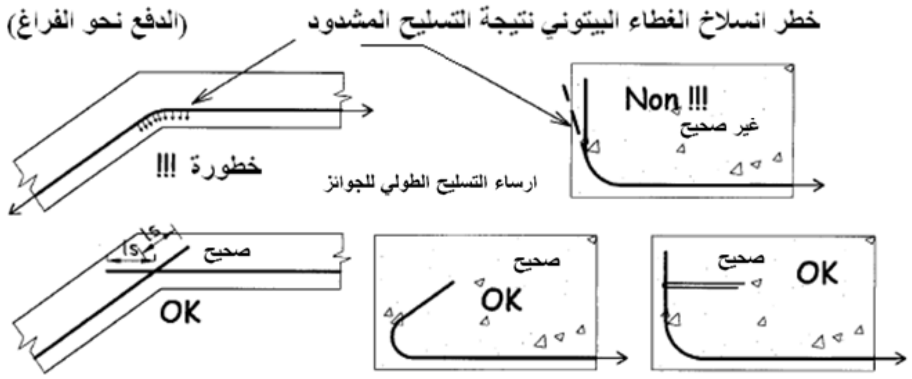




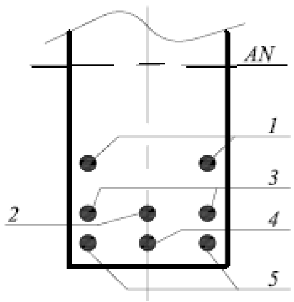
توزيع التسليح الطولي في المقطع وفق القطر



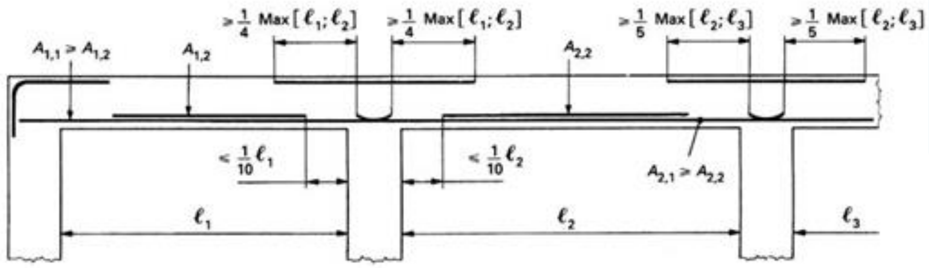
أنواع التسليح العرضي المقبول للجوائز



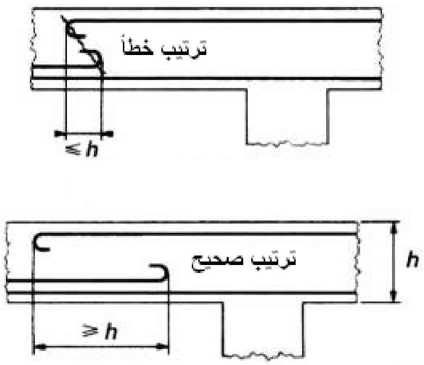
ارساء التسليح الطولي للجوائز



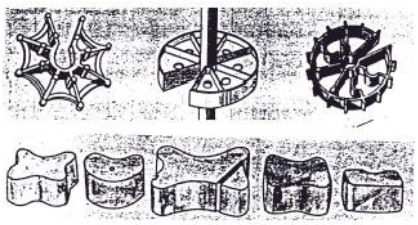
تسلسل إيقاف قضبان التسليح في مقطع جائز



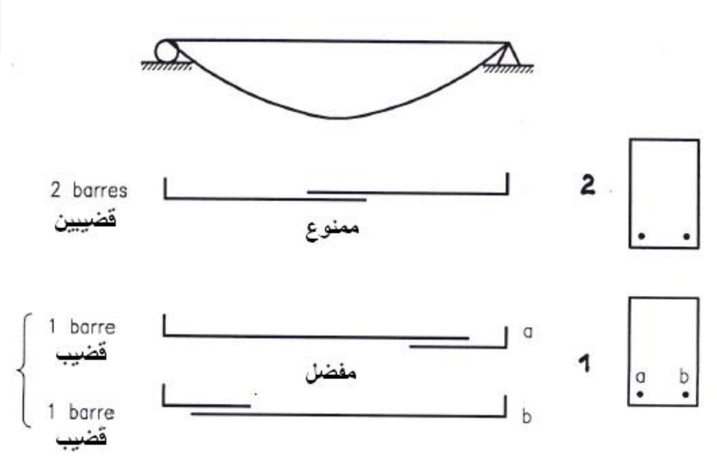
قاعدة إيقاف قضبان التسليح في الجوائز وفق الكود الفرنسي



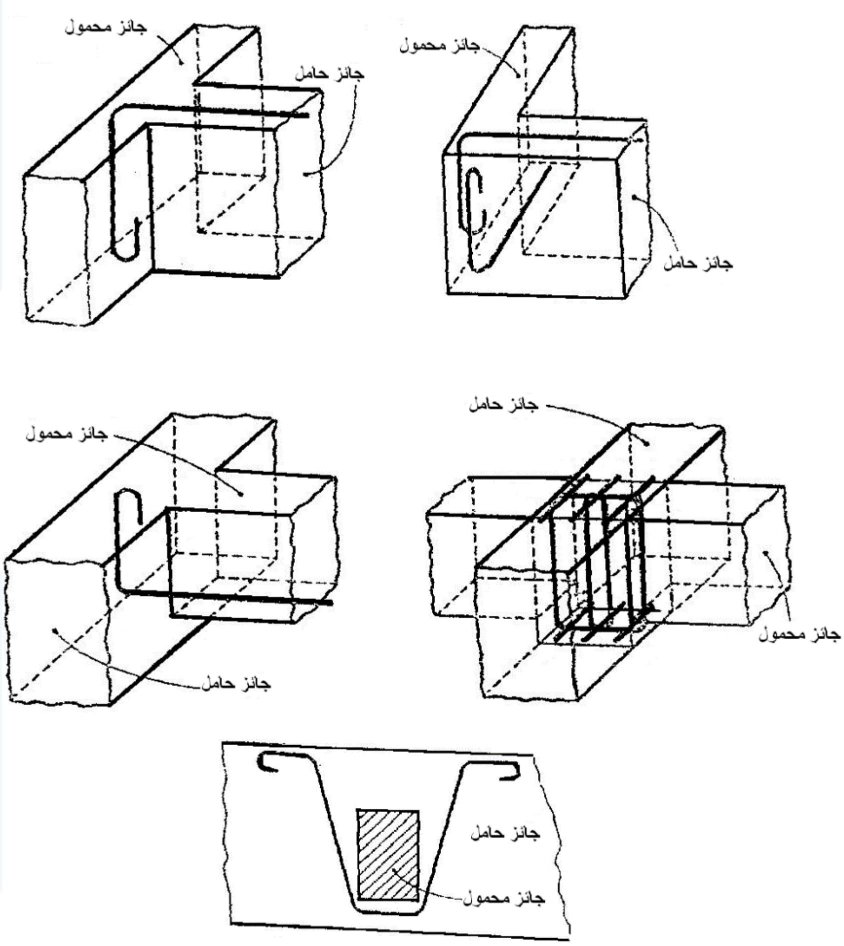
التباعد بين التسليحين الموقوفين
(السفلي والعلوي)



أنواع المساند الخاصة بتأمين طبقة التغطية لقضبان التسليح
المصنوعة من الاسمنت الليفي أو من البلاستيك



وصل قضبان التسليح الطولي



اتصال الجوائز الحاملة مع المحمولة

ملاحظة: يجب أن تكثف الأتاري عند منطقة الاتصال لكل من الجائزين ولمسافة لا تقل عن ارتفاع الجائز الحامل

ثانياً- تطبيقات حول تحديد خواص فولاذ التسليح والبيتون المتصلب (المقاومات المميزة والتشوهات في البيتون

التطبيق الأول: حساب المقاومة المميزة للبيتون f'_c

تم اختبار مجموعة من العينات الاسطوانية (15*30cm) لبيتون بعمر 28 يوم وكانت الاجهادات عند الكسر على الضغط البسيط كما يلي:

رقم العينة	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
مقاومة الانكسار (MPa)	29	29.5	25.5	26.5	25	28.5	30	27	26.9	29.9	25.4

والمطلوب:

1. حساب الانحراف المعياري S ومن ثم عامل التحول V وكيف تقيم هذا البيتون من خلال تحليلك لقيمة هذا العامل.
2. حدد قيمة المقاومة المميزة لهذا البيتون f'_{c28} باعتبار أن تابع عامل الخطر (t=0.8).
3. ما هي مقاومة البيتون بعمر 3 و7 أيام و60 يوم باعتبار أن $f'_{cj} = \frac{j}{4.26+0.83j} * f'_{c28}$.

الحل:

.1
$$S = \sqrt{\frac{\sum(f'_{ci}-f'_{cm})^2}{n-1}} \quad , \quad V = 100 * \frac{S}{f'_{cm}}\ (\%)$$

$$f'_{cm} = \frac{\sum f'_{ci}}{n} = \frac{29+29.5+25.5+26+\cdots}{11} = 27.6\ MPa$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(29-27.6)^2+\cdots.}{11-1}} = 1.885\ MPa$$

$$(\text{عامل التحول})\ V = 100 * \frac{1.885}{27.6} = 6.83\ \%$$

$$V = 6.83\ \% < 8\%$$

القيمة لعامل التحول صغيرة وهذا يعني أن عامل التبعثر ضعيف وبالتالي البيتون متجانس ومراقب.

2. المقاومة المميزة للبيتون f'_{c28}

$$f'_{c28} = f'_{c28m} - t * S$$

$$f^{`}_{c28} = 27.6 - 0.8 * 1.885 = 26\ MPa$$

3. حساب مقاومات البيتون بأعمار مختلفة كتابع $f^{`}_{c28}$:

$$f^{`}_{cj} = \frac{j}{4.76 + 0.83j} f^{`}_{c28}\ ,j \lesssim 60 \text{ يوم}$$

عمر 3 أيام $f^{`}_{c3} = \frac{3}{4.76 + 0.83 * 3} * 26 = 0.414 * 26 = 10.76\ MPa$

عمر 7 أيام $f^{`}_{c7} = \frac{7}{4.76 + 0.83 * 7} * 26 = 0.662 * 26 = 17.21\ MPa$

عمر 60 أيام $f^{`}_{c60} = \frac{60}{4.76 + 0.83 * 60} * 26 = 1.1 * 26 = 28.6\ MPa$

وعندما يزيد العمر عن 60 يوم تطلب الكودات اعتماد عامل تصعيد لا يزيد عن (1.1).

التطبيق الثاني: اختبار فولاذ التسليح على الشد

تم اختبار ثلاث عينات من فولاذ التسليح على الشد البسيط والنتائج مبينة في الجدول التالي:

N	قطر العينة ϕ_T	قوة المرونة (KN)	قوة الانقطاع (KN)	تطاول العينة ΔL (cm)	طول العينة الأساس L
1	20mm	126.50	161.00	2.3	L=10cm
2		127.50	162.30	2.2	
3		128.40	162.00	2.1	

والمطلوب حساب حد المرونة (المقاومة المميزة/اجهاد الخضوع) وكذلك حد الانقطاع لكل من العينات الثلاثة مقدرا ب(N/mm^2). ومن ثم احسب متوسط التشوهات القصوى عند الانقطاع، وهل هذا الفولاذ مطاوع أم عالي المقاومة.

الحل:

يبين الجدول التالي الحل لكافة الأسئلة.

N	قطر العينة (mm)	مساحة مقطع العينة (mm^2)	حد المرونة (N/mm^2)	حد الانقطاع (N/mm^2)	التشوهات القصوى $\Delta L/L$	متوسط التشوهات
1	20	314	403	513	23%	22%
2	20	314	406	517	22%	
3	20	314	409	516	21%	

نلاحظ أن حد المرونة الوسطي حوالي $f_y = 406\ MPa$ أي الفولاذ عالي المقاومة ويرمز للقطر بالرمز T.

التطبيق الثالث: تحديد المقاومة المتوسطة للبيتون وفق شكل العينة.

تم صب ثلاث عينات مكعبية من البيتون العادي (15*15*15cm) وحفظت في المخبر بشروط نظامية. اختبرت هذه العينات على الضغط البسيط عند عمر 28 يوم وكانت النتائج كما يلي:

رقم العينة	1	2	3
قوة الكسر (KN)	560	570	565

والمطلوب تحديد قيمة المقاومة الاسطوانية المتوسطة لهذا البيتون إذا علمت أن عامل تصحيح شكل العينة هو 0.8.

الحل:

$$f_{cm}^{`} = \alpha * \sigma_{ccm}^{`}$$

$\sigma_{ccm}^{`}$: المقاومة المكعبية المتوسطة عند 28 يوم

$$\sigma_{ccm}^{`} = \frac{\frac{(565+570+560)}{3} * 10^3}{A = 150 * 150} = 25.11\ N/mm^2$$

بالتالي:

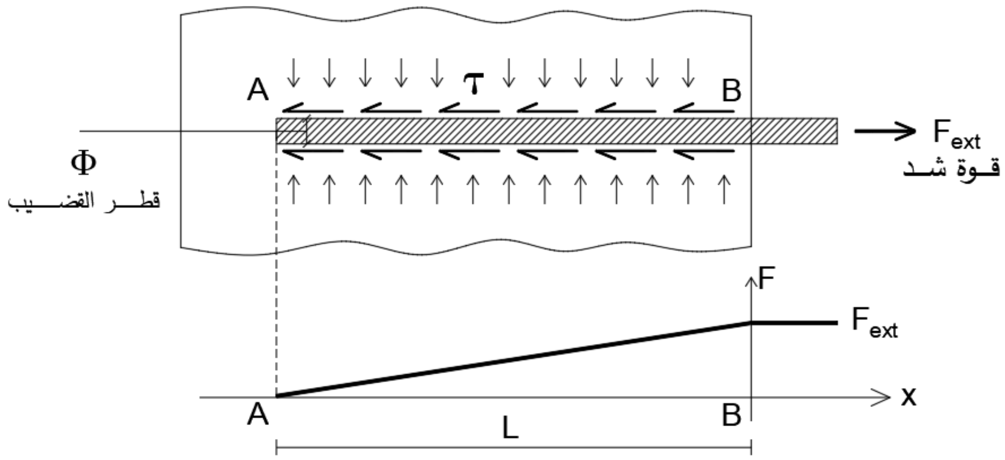
$$f_{cm}^{`} = 0.8 * 25.11 = 20\ N/mm^2$$

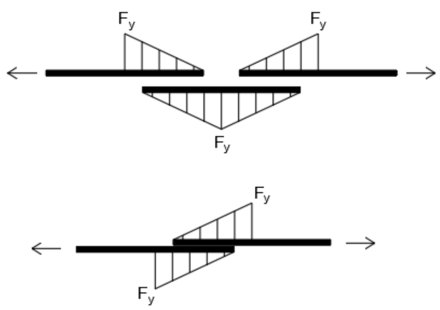
التطبيق الرابع: التلاحم بين الفولاذ والبيتون.

التلاحم: هو فعل قوى الارتباط التي تعاكس انزلاق قضبان التسليح وفق محورها الطولاني بالنسبة للبيتون الذي يغلفها بصورة ملائمة. وهذه الظاهرة هي التي سمحت بتنفيذ البيتون المسلح حيث بفضلها تنتقل الجهود من الفولاذ الى البيتون أو بالعكس.

هذه الظاهرة تعود ال عدم استواء سطوح البيتون مما يؤدي الى تغلغل البيتون المصبوب في التجاويف المجهرية على سطوح تلك القضبان، بالتالي عند محاولة قلع القضيب الفولاذي من كتلة البيتون المتصلب سوف تتولد قوى مماسية في البيتون المحيط بالفولاذ مانعة هذا القضيب من الانزلاق (ظاهرة الاحتكاك).

يبين الشكل التالي تجربة القلع الكلاسيكية وظاهرة التلاحم بمعنى تشكل اجهادات التلاحم المماسية.





$$\boldsymbol{f_{ext} = \sigma_s * A_s = f_y * A_s = f_y * \frac{\pi\phi^2}{4}}$$

$$\boldsymbol{f_{int} = \tau_s * (np) * L = \tau_s * (\pi\phi) * L}$$

$$\boldsymbol{f_{int} = f_{ext}}$$

$$\boldsymbol{f_y * \frac{\pi\phi^2}{4} = \tau_s * (\pi\phi) * L}$$

بالتالي نحسب الطول اللازم لتفريغ اجهادات التسليح الاعظمية وهي $\sigma_s = f_y$

$$4 * \tau_s * L = \phi * f_y$$

$$L = \frac{\phi * f_y}{4 * \tau_s}$$

باعتبار أن

f_y=400 MPa , τ_s=4 MPa

يكون لدينا

$$L = \frac{\phi * 400}{4 * 4} = 25\phi$$

f_y=400 MPa , τ_s=2 MPa

$$L = \frac{\phi * 400}{4 * 2} = 50\phi$$

حالة خاصة: عندما يكون لدينا حزمة من القضبان فإن أثر هذه الحزمة على ظاهرة التلاحم لا يساوي مجموع آثار القضبان بشكل منعزل لأن درجة تغليف القضبان بالبيتون تنقص بالتالي نعتمد **<u>المحيط الفعال</u>** (p) التالي:

n=4	n=3	n=2	n=1

$P=(\pi+4)\phi$ لا ينصح بها	$P=(\pi+3)\phi$	$P=(\pi+2)\phi$	$P=\pi\phi$

التطبيق الخامس: التشوهات الآنية وطويلة الأمد في البيتون.

العوامل المؤثرة على التغيرات (التشوهات) في البيتون:

- نوعية الاجهادات المطبقة: يزداد التشوه في حالة الانعطاف عنه بالضغط ويكون أكبر ما يمكن بالشد المباشر.
- سرعة التحميل.
- عمر البيتون.
- الظروف المناخية.
- خواص مكونات البيتون.
- أبعاد العنصر المدروس.

أولا: التقلص والتمدد الحراريين:

ناجم عن تغير في درجات الحرارة سواء للبيتون الطري أم للبيتون المتصلب.

$$\varepsilon_{ct} = \alpha_t * \Delta T_t^o$$

ΔT_t^o: مقدار تغير درجة الحرارة، $\alpha_t = (0.6 \rightarrow 1.4) * 10^{-5}$: عامل التمدد الحراري للبيتون.

تطبيق: باعتبار حصل تغير في درجة الحرارة بين الصيف والشتاء مقداره $\Delta T_t^o = \pm 50^o$ وبافتراض أن $\alpha_t = 10^{-5}$ ، يكون التغير في الطول الناجم عن تغير الحرارة:

$$\varepsilon_{ct} = 10^{-5} * 50 = 0.5 * 10^{-3} mm/m$$

أي يحصل تقاصر مقداره 0.5mm كل 1 متر.

باعتبار أن $E_c = 15000\ MPa \leftarrow$ الاجهادات المتشكلة:

$$\sigma = E_c * \varepsilon_{ct} = 15000 * 50 * 10^{-5} = 7.5\ MPa \rightarrow \text{تشققات كبيرة}$$

لأنها قيمة كبيرة أكبر من مقاومة البيتون على الشد.

ثانيا: التقلص والتمدد الهيدروليكي (انكماش و انتفاخ):

ناجمة عن نقص أو زيادة في كمية الماء في البيتون.

يتم حساب تشوهات الانكماش كما يلي:

$$\varepsilon_{sh} = \varepsilon_{sho} * k_b * k_d * k_p * k_t$$

$$\varepsilon_{sho} = (0 \to 5 * 10^{-4}) = f(\text{الرطوبة النسبية})$$

$$k_b = f\left(\frac{W}{C}, c\right), k_d = f(dm), k_p = f(\mu_s) = \frac{1}{1+20\mu_s}, k_t = f(j, dm)$$

$dm = \frac{A(\text{مساحة المقطع})}{0.5P(\text{محيط المقطع})}$ السمك الافتراضي للعنصر المدروس.

j : عمر المنشأة أو العنصر بالأيام، μ_s : نسبة التسليح، $\frac{W}{C}$: نسبة الماء إلى الاسمنت،

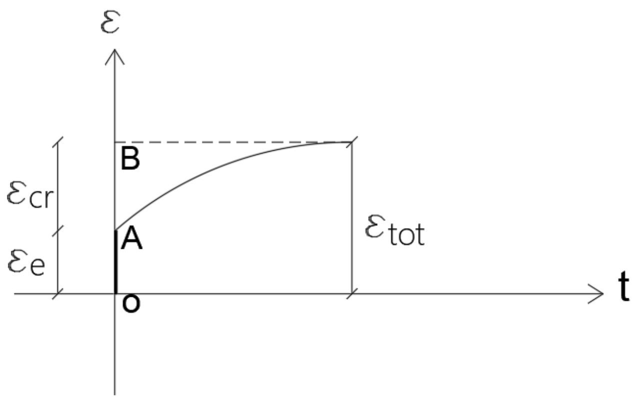
تطبيق: لدينا عنصر بيتوني مقطعه مستطيل b*h=25*50cm في منطقة رطوبتها 40% عيار الاسمنت $C=400Kg/m^3$ وW/C=0.5، نسبة تسليحة $\mu_{s=0.01}$ ، والمطلوب حساب الانكماش الناجم عن فقدان المياه بعد عمر 50 يوم.

$$dm = \frac{b*h}{b+h} = \frac{250*500}{250+500} = 167mm\ , k_p = \frac{1}{1+20*0.01} = 0.83$$

$$\varepsilon_{sh} = 5*10^{-4}*1.2*0.85*0.83*0.1 = 4.2*10^{-4}$$

ثالثا: الجريان (الزحف)، تشوهات طويلة الأمد (ε_{cr}) - السيلان...Creep.

يضاف هذا التشوه طويل الأمد ε_{cr} الى التشوهات اللحظية المرنة ε_e.



$$\sigma = Constante$$

$$\varepsilon_{cr}\ \text{تزداد}$$

$$OB = (1.2 \to 3)OA$$

حالة عنصر مضغوط: خاضع لإجهاد ضغط مرن $\sigma_c \le 0.5 f_c^{`}$

$$\varepsilon_{ce} = \frac{\sigma_c}{E_c}\,, \quad E_c = 4750\sqrt{f_c^{`}}$$ تشوهات مرنة

يحسب التشوه الناجم عن الجريان كما يلي:

$$\varepsilon_{cr} = \phi * \varepsilon_{ce}$$

يكون التشوه الكلي = التشوه اللحظي + التشوه طويل الأمد

$$\varepsilon_{ct} = \varepsilon_{ce} + \varepsilon_{cr} = \varepsilon_{ce} + \phi * \varepsilon_{ce} = \varepsilon_{ce}(1+\phi)$$

ϕ: هو عامل الجريان أو الزحف.

$$\phi = k_c * \ k_a * k_b * k_d * k_t$$

$$k_b = f\left(\frac{w}{c}, c\right), k_c = f\left(\text{الرطوبة النسبية}\right), k_d = f(dm)\,, k_t = f(j, dm)$$

$$k_a = \ f\left(j, \text{نوع الاسمنت}\right)$$

j: العمر بالأيام عند التحميل.

تطبيق: لدينا عمود مربع من البيتون المسلح مقطعه $a * a = 60 * 60cm$ طوله الحسابي L=6m خاضع لحمولة طويلة الأمد مسببة اجهاد ثابت مقداره $\sigma_c = 8.5MPa$

باعتبار أن: الرطوبة النسبية للوسط المحيط $= (90\%, 55\%)\,, f_c^{`} = 28\ MPa$ ، وعمر البيتون عند التحميل 40 يوم.

$$\frac{w}{C} = 0.5 \quad , \quad C = 400Kg/m^3$$

والمطلوب تحديد تقاصر هذا العمود **بعد ثلاثة سنوات من الخدمة**.

الحل:

$$\sigma_c = 8.5MPa \ \leq \ 0.5f_c^{`} = 0.5 * 28 = 14MPa \ \underline{\underline{ok}}$$

$$\varepsilon_{ct} = \frac{\Delta L}{L} \rightarrow \Delta L = \varepsilon_{ct} * L$$

$$\varepsilon_{ct} = \varepsilon_{ce} + \varepsilon_{cr} = \varepsilon_{ce} + \phi * \varepsilon_{ce} = \varepsilon_{ce}(1+\phi)$$

$$\varepsilon_{ce} = \frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{8.5}{4750\sqrt{28}} = \frac{8.5}{25135} = 0.00034$$

$$\phi = k_c * k_a * k_b * k_d * k_t$$

$k_c = 2.5 \leftarrow$ الرطوبة = 55% ، $k_c = 1.45 \leftarrow$ الرطوبة = 90%

$$dm = 0.5 * a = 0.5 * 600 = 300mm$$

$$k_a = 1 , k_b = 1.2 , k_d = 0.67 , k_t = 0.9$$

يكون لدينا:

- حالة الرطوبة النسبية للوسط المحيط: 90%

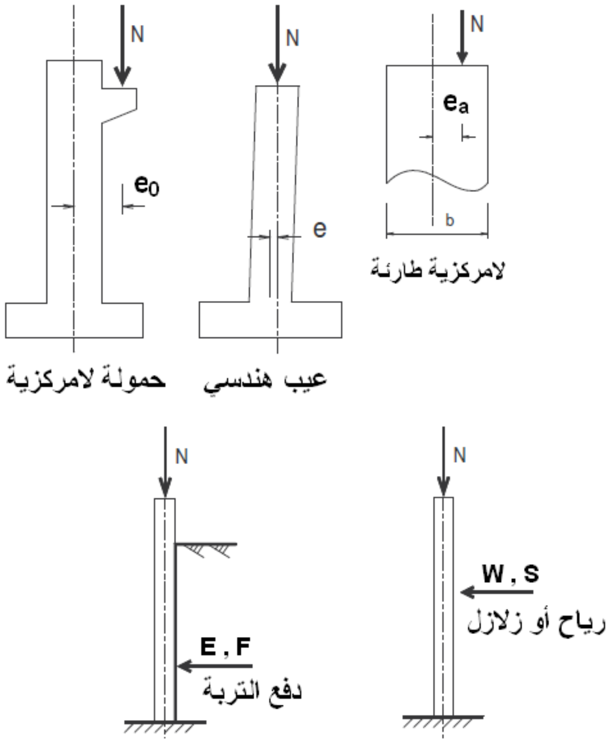
$$\phi = 1.45 * 1 * 1.2 * 0.67 * 0.9 = 1.05$$
$$\varepsilon_{ct} = 0.00034(1 + 1.05) = 0.0007$$
$$\Delta L = 0.0007 * 6000 = 4.2mm$$

- حالة الرطوبة النسبية للوسط المحيط: 55%

$$\varepsilon_{ct} = 0.00034(1 + \phi)$$
$$\phi = 2.5 * 1 * 1.2 * 0.67 * 0.9 = 1.81$$
$$\varepsilon_{ct} = 0.00034(1 + 1.81) = 0.00096$$
$$\Delta L = 0.00096 * 6000 = 5.76mm$$

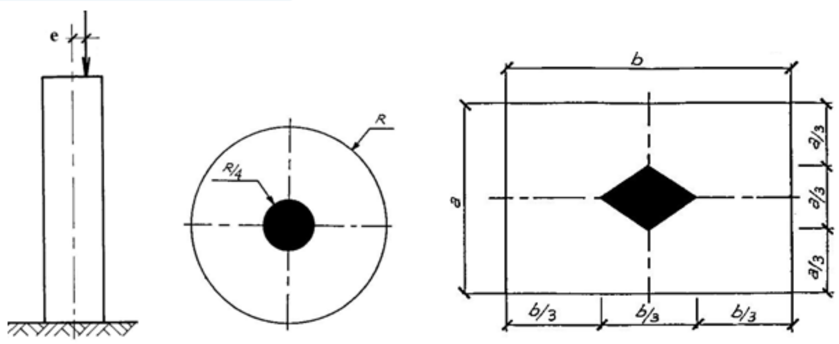
ثالثاً- مفهوم الاجهادات في حالة الضغط اللامركزي

عندما يتعرض المقطع لعزم انعطاف (M) وقوة ضغط مركزية (N) ، أو قوة ضغط (N) بلا مركزية (e) ، وهذا ما يسمى بالضغط اللامركزي، الشكل التالي.



عدم تطابق بين مركز مرور القوة الخارجية ومركز الثقل $(M = N \times e)$

وتكون الإجهادات في المقطع إجهادات ضغط عندما تكون القوة الخارجية مطبقة بلا مركزية صغيرة تقع ضمن حدود النواة المركزية المبينة في الشكل التالي.



النواة المركزية لمقطع مستطيل ودائري

يتم تحديد الإجهادات في المقطع كما يلي:

$$\sigma_{1,2}=\frac{N}{a\times b}\pm\frac{M}{I}y$$

حيث: N : القوة الناظمية المطبقة.

a×b : مساحة المقطع.

y : بعد الليف المراد حساب الإجهاد عنده، عن مركز الثقل.

I : عزم عطالة المقطع بالاتجاه المدروس.

ولكن لدينا: $y=b/2$ عند الأطراف، و $I=a\times b^3/12$ ، بالتالي:

$$\sigma_{1,2}=\frac{N}{a\times b}\pm\frac{12N\times e\times b}{2a\times b^3}=\frac{N}{a\times b}\left(1\pm\frac{6e}{b}\right)=\frac{N}{a\times b}\left(1\pm\frac{e}{k}\right)$$

باعتبار أن: $k=b/6$ تمثل نصف قطر النواة المركزية لحالة المستطيل.

من المعادلة السابقة يمكننا ملاحظة الحالات التالية:

- توزع منتظم للإجهادات: $e=0\Rightarrow\sigma=N/a\times b$
- تشكل إجهادات ضغط (توزع خطي): $e\le k$

حتى لا تتشكل إجهادات شد يجب أن تكون القوة الناظمية مطبقة في النواة المركزية، وعندما يكون $e=k$ يتشكل لدينا مثلث ضغط.

$k=b/6$ مقطع مستطيل.

$k=R/4$ مقطع دائري.

تطبيق 10:

يطلب حساب القطر الأصغري لعمود دائري من البيتون المسلح، الذي يحقق شرطي التحنيب و المقاومة، إذا علمت أن:

الحمولات الاستثمارية التي يتلقاها العمود:

- حمولات ناظمية دائمة: $N'_G=800kN$
- حمولات ناظمية إضافية: $N'_P=200kN$
- $f'_C=25MPa$
- طول التحنيب : $L_O=400cm$.

الحل:

نتحقق من شرط التحنيب:

$$\lambda=\frac{L_0}{i}\leq 40 \quad ; \quad i=\sqrt{\frac{I}{A'_c}} \quad ; \quad I=\frac{\pi R^4}{4} \quad ; \quad A'_c=\pi R^2$$

حيث: $A'_c \; ; \; I \; ; \; i \; ; \; \lambda$ تمثل بالترتيب مساحة مقطع العمود، عزم عطالة مقطع العمود، نصف قطر العطالة، وعامل التحنيب.

ملاحظة: عندما يكون مقطع العمود مستطيلاً $(b\times h)$، فإن عزم عطالته بالاتجاه h هو: $I=\frac{bh^3}{12}$.

$$\lambda=\frac{L_0}{\sqrt{\frac{\pi R^4}{4\times\pi R^2}}}=\frac{L_0}{\frac{R}{2}}=\frac{4L_0}{D}\leq 40$$

$$\Rightarrow D=2R\geq\frac{L_0}{10}=\frac{400}{10}=40cm$$

ونحسب القطر المحقق لشرط المقاومة (الإجهاد المسموح للبيتون على الضغط البسيط يساوي $\bar{\sigma}_m=0.3\,f'_C$ ، باعتبار أن التسليح يقاوم 15% من الحمولة الناظمية الاستثمارية:

$$A'_c\geq\frac{N'}{1.15\times(\bar{\sigma}_m)}=\frac{N'_G+N'_P}{1.15\times(0.3f'_c)}=\frac{(800+200)\times10^3}{1.15\times0.3\times25}=115942mm^2$$

$$A'_c=\frac{\pi D^2}{4}\approx1160cm^2\Rightarrow D=\sqrt{\frac{4\times1160}{3.14}}=38.44cm$$

بالتالي إن شرط التحنيب هو الذي يحدد القطر: $D=40cm$

تطبيق 11:

يطلب حساب مساحة مقطع عمود من البيتون المسلح معرض لضغط مركزي استثماري مقداره $N'=4000kN$ ، وأنه محقق لشرط التحنيب، وأن المقاومة المميزة للبيتون تساوي $f'_C=20MPa$ ، و باعتبار أن التسليح يقاوم 15% من الحمولة الناظمية الاستثمارية.

ومن ثم حدد أبعاد المقطع الواجب اعتمادها عندما يكون المقطع مربعاً ودائرياً، وكذلك مستطيلاً أحد أبعاده يساوي $50cm$.

الحل:

نحدد مساحة مقطع العمود البيتوني المسلح من العلاقة التالية:

$$A'_c\geq\frac{N'}{1.15\times(\bar{\sigma}_m)}=\frac{(4000)\times10^3}{1.15\times0.3\times20}=579710mm^2$$

$$A'_c=\frac{\pi D^2}{4}=579710mm^2\Rightarrow D=\sqrt{\frac{4\times579710}{3.14}}=85.9cm \quad USE\ D=90cm$$

$$A'_c=b\times b\Rightarrow b=\sqrt{579710}=76.1cm \quad USE\ b\times b=80\times80cm$$

$$A'_c=b\times h\Rightarrow h=\frac{579710}{500}=115.9cm \quad USE\ b\times h=50\times120cm$$

تطبيق 12:

لدينا مقطع عمود من الحجر أبعاده $(b\times h=100cm\times h)$، خاضع لحمولة ضغط تساوي $N'=50t$، بلامركزية (e) باتجاه البعد (h) تساوي $(e=0.2m)$. بافتراض أن مقاومة الحجر على الشد مهملة، ومقاومته على الضغط تساوي $\sigma'=20kg/cm^2$.

يطلب:

1- تحديد القيمة الأصغرية للبعد (h) بحيث لا تتشكل إجهادات شد في المقطع.

2- ماهي قيمة إجهادات الضغط الأعظمية في المقطع، قارن هذه القيمة مع مقاومة الحجر على الضغط.

الحل:

$$M=N'\times e$$

$$\sigma'_{1,2}=\frac{N'}{A}\pm M\times\frac{y}{I}=\frac{N'}{b\times h}\pm N'\times e\frac{h/2}{bh^3/12}\Rightarrow$$

$$\sigma'_{1,2}=\frac{N'}{b\times h}\left(1\pm\frac{6e}{h}\right)=\frac{N'}{b\times h}\left(1\pm\frac{e}{k}\right)$$

حيث $k=h/6$ يمثل نصف قطر النواة المركزية لمقطع مستطيل.

بالتالي عندما تكون $e=k=h/6$، نحصل على توزيع مثلثي لإجهادات الضغط، ويكون:

$$e=0.2m=k=h/6\Rightarrow h_{\min}=6\times0.2=1.2m$$

نحسب الإجهادات:

$$\sigma'_{1,2}=\frac{N'}{b\times h}\left(1\pm\frac{e}{k}\right)=\frac{50000}{100\times120}(1\pm1)=4.17(1\pm1)$$

$$\sigma'_1=4.17\times(1+1)=8.34kg/cm^2<<20kg/cm^2\quad O.K.$$

$$\sigma'_2=4.17\times(1-1)=0\quad O.K.$$

تطبيق 13:

لدينا عمود دائري من الحجر قطره $(D=2R)$، خاضع لحمولة ضغط تساوي $N'=50t$، بلامركزية (e) باتجاه أحد المحاور تساوي $(e=0.2m)$. بافتراض أن مقاومة الحجر على الشد مهملة، ومقاومته على الضغط تساوي $\sigma'=20kg/cm^2$.

يطلب:

1- تحديد القيمة الأصغرية لنصف قطر العمود (R) بحيث لا تتشكل إجهادات شد في المقطع.

2- ماهي قيمة إجهادات الضغط الأعظمية في المقطع، قارن هذه القيمة مع مقاومة الحجر على الضغط.

الحل:

$$M=N'\times e$$

$$\sigma_{1,2}=\frac{N'}{A}\pm M\times\frac{y}{I}=\frac{N'}{\pi R^2}\pm N'\times e\times\frac{R}{\pi R^4/4}\Rightarrow$$

$$\sigma_{1,2}=\frac{N'}{\pi R^2}\left(1\pm\frac{e}{R/4}\right)\Rightarrow k=\frac{R}{4}$$

حيث $k=R/4$ يمثل نصف قطر النواة المركزية لمقطع دائري الشكل.

بالتالي عندما تكون $e=k=R/4$ ، نحصل على توزيع مثلثي لإجهادات الضغط، ويكون:

$$e=0.2m=k=R/4\Rightarrow R_{\min}=4\times0.2=0.8m$$

نحسب الإجهادات:

$$\sigma'_{1,2}=\frac{N'}{b\times h}\left(1\pm\frac{e}{k}\right)=\frac{50000}{\pi\times80^2}(1\pm1)=4.17(1\pm1)$$

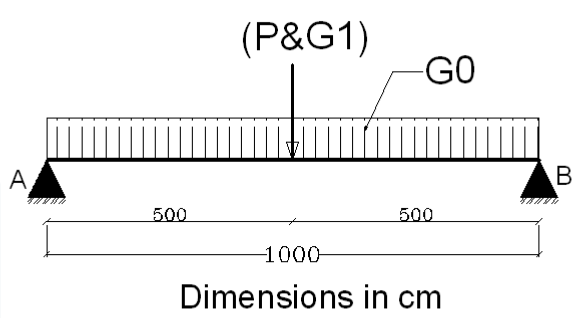
$$\sigma'_1=2.49\times(1+1)\approx5kg/cm^2<<20kg/cm^2\quad O.K.$$

$$\sigma'_2=0\quad O.K.$$

رابعاً- تطبيقات على تصميم المقاطع المستطيلة (انعطاف وقص)

التطبيق الأول:

لدينا جائز من البيتون المسلح (الشكل المرفق)، مجازه الفعال: $L = 10m$ ، مقطعه العرضي: $b \times h = 40 \times 80cm$ ، مستند بشكل بسيط عند طرفيه (A&B).



إضافة للوزن الذاتي $(G0)$ ، يخضع هذا الجائز للحمولات التالية:

- قوة استثمارية إضافية مركزة (غير مصعدة)، مقدارها: $P = 125kN$
- قوة استثمارية دائمة مركزة (غير مصعدة)، مقدارها: $G1 = 100kN$

$$f_y = 400MPa\,;\; f_c' = 20MPa\,;\;\; \Delta_{Concrete} = 25kN/m^3$$

$$\tau_{cu} = 0.23\sqrt{f_c'} \quad ; \quad \tau_{0u} = 0.16\sqrt{f_c'} \;\; ; \;\; \tau_{u\max} = 0.65\sqrt{f_c'}$$

والمطلوب :

1. رسم مخططات عزم الانعطاف والجهد القاطع لهذا الجائز.
2. حساب التسليح اللازم لمقاومة الانعطاف والقص للمقطع العرضي الواقع عند وسط مجاز هذا الجائز.
3. رسم هذا المقطع العرضي بمقياس مناسب، مبيناً عليه الأبعاد والتسليح الطولاني والعرضاني.

الحل:

الطلب الأول: رسم مخططات عزم الانعطاف والجهد القاطع.

- الحمولة الاستثمارية الدائمة الناجمة عن الوزن الذاتي:

$$G0 = 0.4 \times 0.8 \times 25 = 8\,kN/ml$$

- قيمة عزم الانعطاف الحدي عند وسط الجائز:

$$M_u = 1.4M_G + 1.7M_P$$

$$M_u = 1.4\left(\frac{8\times10^2}{8} + \frac{100\times10}{4}\right) + 1.7\left(\frac{125\times10}{4}\right) = 1021.25kN.m$$

- الجهد القاطع الحدي عند المساند (A & B):

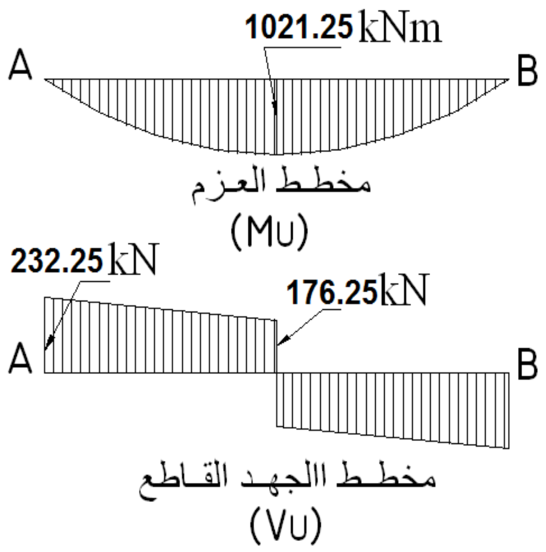
$$V_{u\,A,B} = 1.4V_G + 1.7V_P$$

$$V_{u\,A,B} = 1.4\left(\frac{8\times 10}{2}+\frac{100}{2}\right)+1.7\left(\frac{125}{2}\right) = 232.25kN$$

- الجهد القاطع الحدي عند وسط الجائز:

$$V_u = 1.4\left(\frac{100}{2}\right)+1.7\left(\frac{125}{2}\right) = 176.25kN$$

بالتالي نرسم مخططات العزم والجهد القاطع الحديين.



الطلب الثاني: تصميم المقطع الواقع عند وسط المجاز، وحساب التسليح اللازم لمقاومة الانعطاف والقص.

- تسليح الانعطاف:

$$M_u(\max) = +1021.25kN.m$$

$$b\times h = 40\times 80cm,\ \ d = 74cm$$

$$A_0 = \frac{M_u}{\Omega 0.85 f_c' b d^2} = \frac{1021.25\times 10^6}{0.9\times 0.85\times 20\times 400\times 740^2} = 0.3047$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0} = 0.3751 \\ \gamma = \dfrac{A_0}{\alpha} = 0.8123 \end{cases}$$

$$\therefore \quad A_s = \frac{M_u}{\Omega.\gamma.d.f_y} = \frac{1021.25 \times 10^6}{0.9 \times 0.8123 \times 740 \times 400} = 4719 mm^2$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{b.d} = \frac{4719}{400 \times 740} = 0.016$$

$$\mu_{s\max} = 0.5\left[\frac{455}{630 + f_y}\frac{f_c'}{f_y}\right] = 0.5\left[\frac{455}{630 + 400} \times \frac{20}{400}\right] = 0.011$$

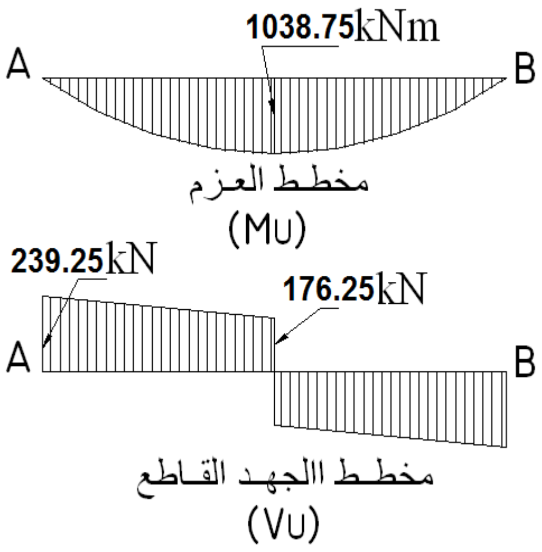
$$\mu_{s\min} = \frac{0.9}{f_y} = \frac{0.9}{400} = 0.00225$$

$$\mu_s = 0.016 > \mu_{s\max} = 0.011 \quad N.G.$$

نلاحظ أن نسبة التسليح أكبر من النسبة الأعظمية، وعندما يتعذر زيادة مقاومة البيتون، نعمل على زيادة أبعاد المقطع، أو نعمل على استخدام تسليح ثنائي (مضغوط)، وفق ما يلي:

نزيد الارتفاع ليصبح المقطع: $b \times h = 40 \times 90 cm$.

ويكون الوزن الذاتي الجديد: $G0 = 0.4 \times 0.9 \times 25 = 9 kN/ml$ ، بالتالي تصبح قيم العزم والقص الحديين كما يلي:



$$M_u(\max) = +1038.75 kN.m$$
$$b \times h = 40 \times 90 cm, \quad d = 84 cm$$
$$A_0 = \frac{M_u}{\Omega 0.85 f_c' b d^2} = \frac{1038.75 \times 10^6}{0.9 \times 0.85 \times 20 \times 400 \times 840^2} = 0.2405$$
$$\Rightarrow \begin{cases} \alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0} = 0.2796 \\ \gamma = \dfrac{A_0}{\alpha} = 0.8602 \end{cases}$$
$$\therefore \quad A_s = \frac{M_u}{\Omega.\gamma.d.f_y} = \frac{1038.75 \times 10^6}{0.9 \times 0.8602 \times 840 \times 400} = 3993 mm^2$$
$$\mu_s = \frac{A_s}{b.d} = \frac{3993}{400 \times 840} = 0.012$$
$$\mu_s = 0.012 > \mu_{s\max} = 0.011 \quad N.G.$$
$$> \mu_{s\min}$$

بالتالي، نبقى على أبعاد المقطع الأساس $b \times h = 40 \times 80 cm$ ، ونحسب المقطع المستطيل ثنائي التسليح.

- تسليح الانعطاف: كون التسليح الطولي كبير، نزيد من قيمة (a) ليصبح $(d = 80 - 8 = 72 cm)$. ونحسب العزم الحدي الذي يتحمله البيتون (M_{u1}) والتسليح المناسب (A_{s1}) .

$$M_u = M_{u1} + \Delta M_u = +1021.25 kN.m$$
$$b \times h = 40 \times 80 cm, \quad d = 72 cm$$
$$M_{u1} = \Omega 0.85 f_c' b d^2 A_{0\max}$$
$$\mu_{s1} = \mu_{s\max} = 0.011$$
$$\alpha_{\max} = \mu_{s\max} \frac{f_y}{0.85 f_c'} = 0.011 \times \frac{400}{0.85 \times 20} = 0.2588$$
$$A_0 = \alpha_{\max}(1 - 0.5\alpha_{\max}) = 0.2588(1 - 0.5 \times 0.2588)$$
$$= 0.2588 \times 0.8706 = 0.2253$$
$$M_{u1} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 400 \times 720^2 \times 0.2253 = 715 kN.m$$
$$A_{s1} = \frac{M_{u1}}{\Omega \gamma d f_y} = \frac{715 \times 10^6}{0.9 \times 0.8706 \times 720 \times 400} = 3168 mm^2$$
$$\Delta M_u = 1021.25 - 715 = 306.25 kN.m$$

نتحقق من أن التسليح المضغوط وصل حد الخضوع:

$$y=\alpha d=0.2588\times 720=186mm\geq 2d'=2\times 60=120mm\ O.K.$$

or

$$\varepsilon'_s=\varepsilon'_c\frac{y-0.85d'}{y}\geq\frac{f_y}{E_s}\Rightarrow$$

$$0.003\times\frac{186-0.85\times 60}{186}=0.0022\geq\frac{400}{210000}=0.0019\,O.K.$$

نحسب التسليح المضغوط:

$$A'_s=A_{s2}=\frac{\Delta M_u}{\Omega(d-d')f_y}=\frac{306.25\times 10^6}{0.9\times(720-60)\times 400}=1289mm^2$$

$$A_s=A_{s1}+A_{s2}=3168+1289=4457mm^2$$

$$A_s-A'_s\leq 0.5A_{sb}=\quad O.K.$$

نستخدم تسليح تقلص وفق متطلبات واشتراطات الكود السوري، كما هو مبين في المقطع العرضي، ويكون لدينا:

تسليح سفلي مشدود: $10T25mm$

تسليح علوي مضغوط: $5T20mm$

تسليح تقلص: $2\times 2T14mm$

- دراسة التسليح المقاوم للجهد القاطع عند وسط المجاز:

$$V_u=176.25kN$$

$$\tau_u=\frac{V_u}{\Omega b\,d}=\frac{176250}{0.85\times 400\times 720}=0.72MPa$$

$$\tau_{0u}=0.16\sqrt{f'_c}=0.16\sqrt{20}=0.72MPa$$

$$\tau_{cu}=0.23\sqrt{f'_c}=0.23\sqrt{20}=1.03MPa>\tau_u=0.72MPa\quad O.K.$$

$$\tau_{u\max}=0.65\sqrt{f'_c}=0.65\sqrt{20}=2.91MPa\quad O.K.$$

بالتالي، يقاوم البيتون لوحده القص مع تسليح عرضاني أصغري: $A_{st\min}=\frac{0.35}{f_y}b\,s$

نختار إطار بقطر لايقل عن ثلث قطر التسليح الطولي وبتباعد محقق لاشتراط الكود، يكون لدينا:

$$\frac{A_{st}}{s}\geq\frac{0.35}{f_y}b=\frac{0.35\times 400}{400}=0.35$$

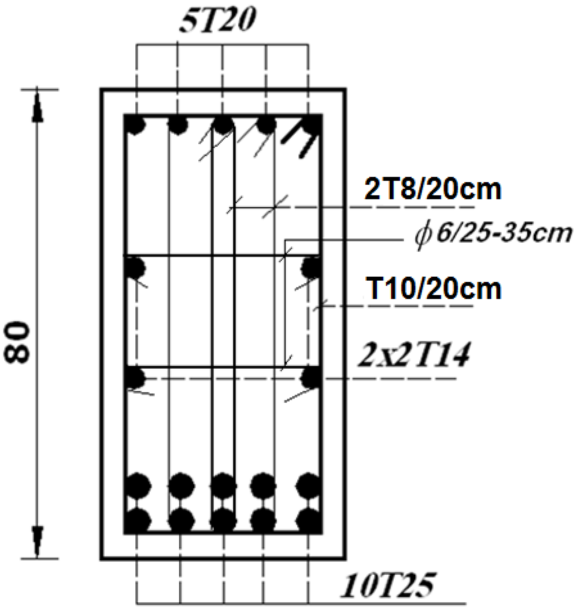
ليكن إطار قطره 10 ملم، يكون: $A_{st}=2\times 78.5=157\,mm^2$

$$s\leq\frac{157}{0.35}=448mm$$

$$s \le \begin{cases} 200mm \\ d/2 = 720/2 = 360mm \\ 15\phi_{lc} = 15 \times 20mm = 300mm \end{cases}$$

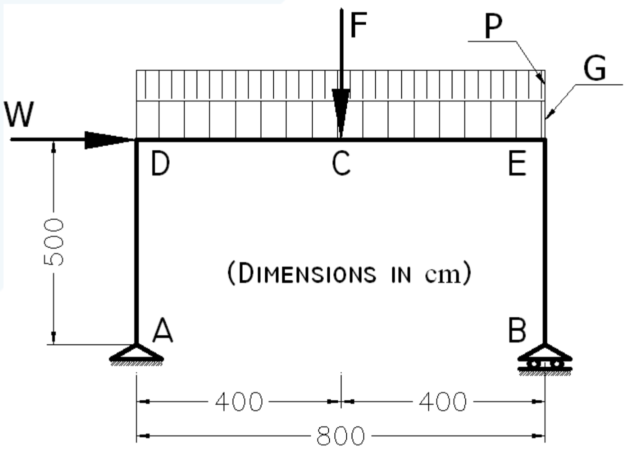
إطار مغلق بقطر 10 ملم، وبتباعد 20 سم. وسوف نعمل على إضافة إطارين مغلقين في المنتصف بقطر 8 ملم.

الطلب الثالث: رسم المقطع العرضي بمقياس مناسب، مبيناً عليه الأبعاد والتسليح:



التطبيق الثاني:

لدينا إطار من البيتون المسلح، معرض للحمولات الاستثمارية التالية (غير مصعدة):



- حمولة دائمة مركزة عند منتصف مجاز الجائز (C): $F = 50kN$
- حمولة دائمة موزعة بانتظام على الجائز (متضمنة الوزن الذاتي): $G = 50kN/m.l$

- حمولة إضافية للجائز موزعة بانتظام: $P = 20 kN/m.l$
- فعل استثنائي أفقي (رياح) مركز في العقدة (D): $W = 50 kN$

بافتراض أن التراكبات المعتمدة في التحليل هي الناجمة عن الحالتين التاليتين:

- $U = 0.8[1.4G + 1.4F + 1.7P + 1.7W]$
- $U = [1.4G + 1.4F + 1.7P]$

إذا علمت أن:

أبعاد مقطع الجائز: $b \times h = 40 \times 100 cm$ ، ومجازه الحسابي: $L_{beam} = 8m$

وأن أبعاد مقطع العمود: $50 \times 80 cm$ ، وطوله الحسابي: $L_{column} = 5m$

$$f_y = 400MPa ;\ f'_c = 25MPa ;\ \Delta_{Concrete} = 25kN/m^3$$

$$\tau_{0u} = 0.16\sqrt{f'_c} ;\ \tau_{u\max} = 0.65\sqrt{f'_c}$$

$$\mu_{s\max} = 0.014;\ \mu_{s\min} = 0.002$$

يطلب :

1. رسم مخططات عزم الانعطاف والجهد القاطع لهذا الإطار لكل حالة تحميل.
2. حساب التسليح المقاوم لعزم الانعطاف عند وسط مجاز الجائز (C).
3. حساب التسليح المقاوم للجهد القاطع عند طرف الجائز (E).

الحل :

الطلب الأول :

تحديد الحمولات الحدية :

- الحمولة الحدية الدائمة الموزعة بانتظام على الجائز DE :

$$G_U = 1.4(50) = 70 kN/m.l$$

- الحمولة الحدية الدائمة المركزة عند وسط الجائز DE :

$$F_U = 1.4(50) = 70 kN$$

- الحمولة الحدية الاضافية الموزعة بانتظام على الجائز DE :

$$P_U = 1.7(20) = 34 kN/m.l$$

- الحمولة الحدية الاستثنائية المركزة في العقدة D، والناجمة عن الريح :

$$W_U = 1.7(50) = 85 kN$$

حساب ردود الأفعال :

الجملة مقررة ، ومن معادلات التوازن يكون لدينا :

- حالة التحميل الأولى (رياح) :

$$U = 0.8[1.4G + 1.4F + 1.7P + 1.7W]$$

$$0.8W_U = 0.8 \times 85 = 68kN$$
$$0.8(G_U + P_U) = 0.8(70 + 34) = 83.2\,kN/m.l$$
$$0.8(F_U) = 0.8(70) = 56kN$$

وبأخذ العزوم حول المسند A، يكون لدينا:

$$8R_{VB} = 68 \times 5 + 83.2 \times \frac{8^2}{2} + 56 \times 4 \Rightarrow R_{VB} = 403.3\ kN$$
$$\therefore R_{VA} = 83.2 \times 8 + 56 - 403.3 = 318.3kN$$
$$R_{HA} = 68kN$$

- حالة التحميل الثانية (بدون رياح) :

$$U = [1.4G + 1.4F + 1.7P]$$
$$(G_U + P_U) = (70 + 34) = 104kN/m.l$$
$$(F_U) = 70kN$$

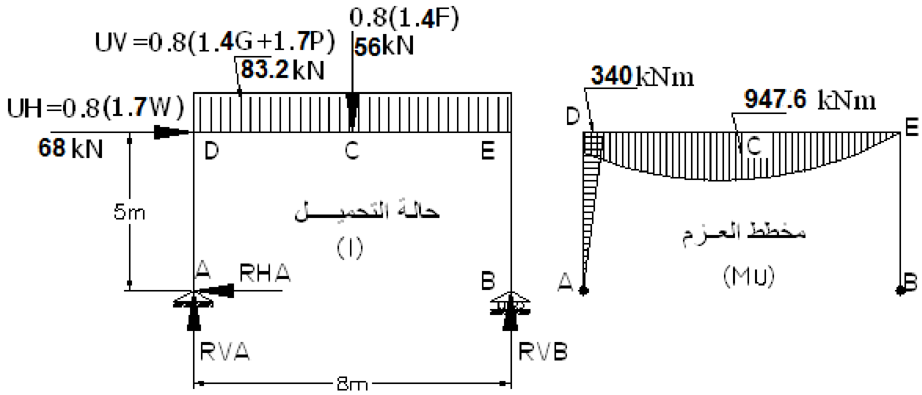
$$8R_{VB} = 104 \times \frac{8^2}{2} + 70 \times 4 \Rightarrow R_{VB} = 451kN$$
$$\therefore R_{VA} = 104 \times 8 + 70 - 451 = 451kN$$
$$R_{HA} = 0$$

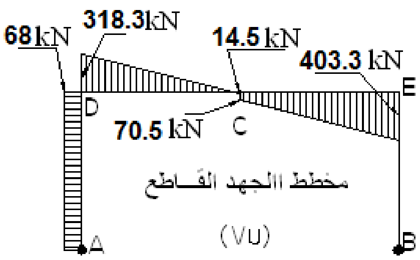
رسم مخططات القوى الداخلية :

نعمل على تحديد القيم المميزة ومن ثم نرسمها كما هو مبين جانباً، مثلاً نحسب قيمة عزم الانعطاف الحدي عند وسط المجاز (C) وفي العقدة (D) ، وكذلك الجهود القاطعة والناظمية :

- حالة التحميل الأولى :

$$M_{uC} = 318.3 \times 4 + 68 \times 5 - 83.2 \times \frac{4^2}{2} = +947.6\,kN.m$$
$$\therefore M_{uD} = \pm 68 \times 5 = \pm 340kN.m$$
$$V_{u(AD)} = 68kN \quad ; \quad V_{UD} = -318.3kN \quad ; \quad V_{UE} = +403.3kN$$
$$V_{uCL} = +14.5kN\ ; V_{uCR} = +70.5kN$$





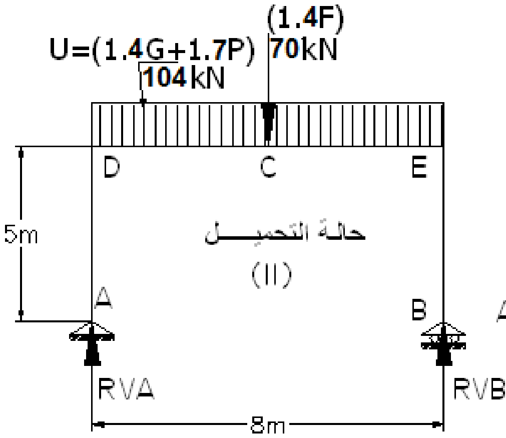
- حالة التحميل الثانية:

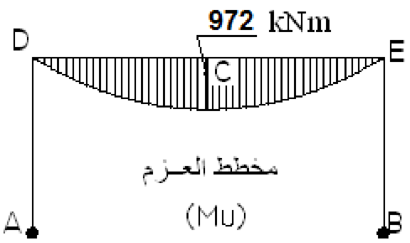
$$M_{uC} = 451\times 4 - 104\times\frac{4^2}{2} = \frac{104\times 8^2}{8} + \frac{70\times 8}{4} = +972kN.m$$

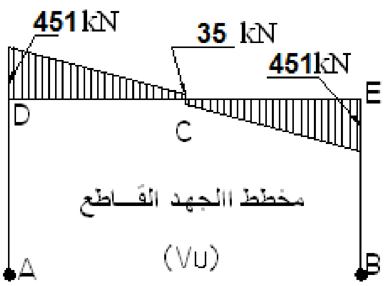
$$\therefore M_{uD} = 0$$

$$V_{u(AD)} = 0 \quad ; \quad V_{uD} = -V_{uE} = 451kN$$

$$V_{uC} = \pm 35kN$$







الطلب الثاني :

حساب تسليح الانعطاف عند وسط الجائز (استناداً لمغلف العزوم) :

$$M_{uC}(\max) = +972\,kN.m$$

$$A_0 = \frac{M_u}{\Omega 0.85\, f_c'\, b\, d^2} = \frac{972\times 10^6}{0.9\times 0.85\times 25\times 400\times 900^2} = 0.1569$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \alpha = 1-\sqrt{1-2A_0} = 0.1716 \\ \gamma = \dfrac{A_0}{\alpha} = 0.9143 \end{cases}$$

$$\therefore \quad A_s = \frac{M_u}{\Omega.\gamma.d.f_y} = \frac{972\times 10^6}{0.9\times 0.9143\times 900\times 400} = 3281.2\,mm^2$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{b.d} = \frac{3281.2}{400\times 900} = 0.00911 < \mu_{s\max} = 0.014 \quad O.K.$$

$$\mu_s = 0.00911 > \mu_{s\min} = 0.002 \quad O.K.$$

الطلب الثالث :

حساب التسليح المقاوم للجهد القاطع عند أطراف الجائز (استناداً لمغلف الجهد القاطع):

$$V_u\,(\max) = 451kN$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{\Omega.b.d} = \frac{451\times10^3}{0.85\times400\times900} = 1.474MPa$$

$$\tau_{u\max} = 0.65\sqrt{f_c'} = 0.65\sqrt{25} = 3.25MPa > \tau_U \quad O.K.$$

$$\tau_{0u} = 0.16\sqrt{f_c'} = 0.16\sqrt{25} = 0.8MPa < \tau_U$$

$$\therefore \quad A_{st} \geq \frac{(\tau_u - \tau_{0u})}{f_y}.b.s = \frac{(1.474-0.8)}{400}\times400\times200 = 134.8\,mm^2$$

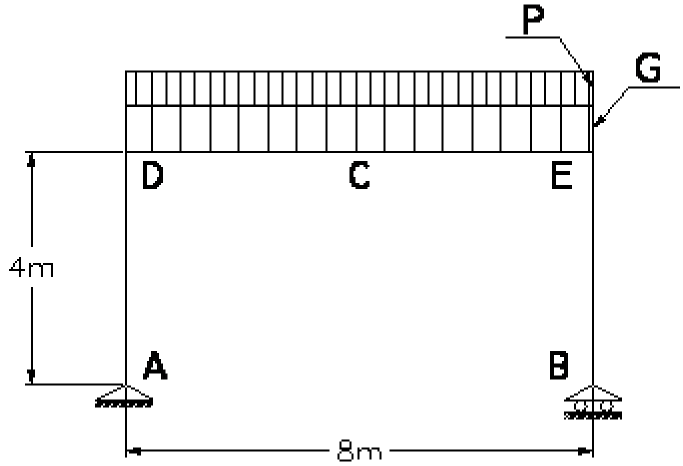
بافتراض أن التباعد بين الأتاري $s = 200mm$

ويتم بعد ذلك اختيار أقطار قضبان التسليح العرضاني والطولاني المناسبة.

التطبيق الثالث:

لدينا المنشأة المبينة جانباً (إطار من البيتون المسلح) والمعرضة للحمولات الاستثمارية التالية:

- حمولة دائمة للجائز (DCE) موزعة بانتظام (متضمنة الوزن الذاتي): $G = 48kN/m.l$
- حمولة إضافية للجائز موزعة بانتظام: $P = 20kN/m.l$



وبافتراض أن التراكب المعتمد في التحليل هي: $U = [1.4G + 1.7P]$ ، يطلب رسم مخططات عزم الانعطاف والجهد القاطع و الجهد الناظمي لهذا الإطار.

الحل :

- تحديد الحمولات الحدية:

$$U = (1.4G + 1.7P) = 1.4 \times 48 + 1.7 \times 20 = 101.2\, kN / ml$$

- حساب ردود الأفعال : الجملة مقررة ، ومن معادلات التوازن يكون لدينا:

$$8R_{VB} = 101.2 \times \frac{8^2}{2} \Rightarrow R_{VB} = 404.8\, kN$$

$$\therefore\ R_{VA} = 101.2 \times 8 - 404.8 = 404.8\, kN$$

$$R_{HA} = 0$$

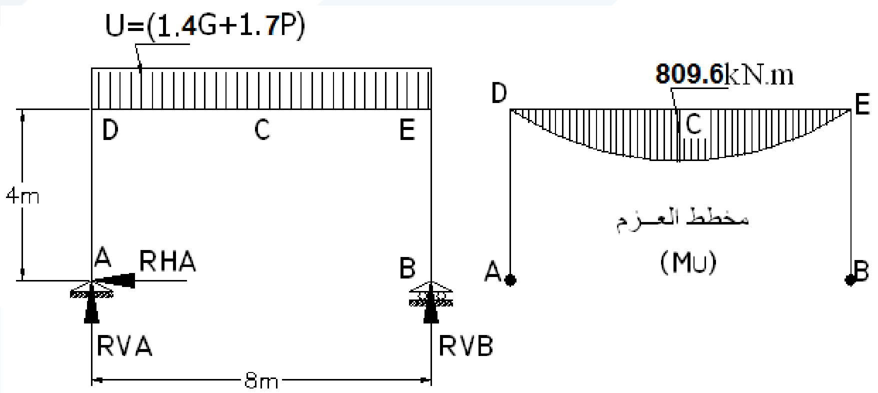
- رسم مخططات القوى الداخلية: نعمل على تحديد القيم المميزة ومن ثم نرسمها كما هو مبين جانباً، مثلاً نحسب قيمة عزم الانعطاف الحدي عند وسط المجاز (C) ، وكذلك الجهود القاطعة والناظمية :

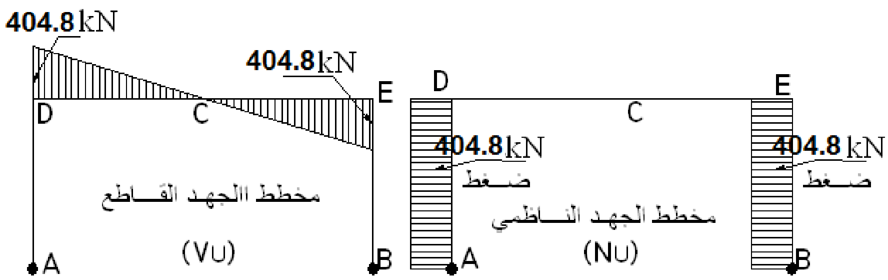
$$M_{uC} = 404.8 \times 4 - 101.2 \times \frac{4^2}{2} = \frac{101.2 \times 8^2}{8} = +809.6\, kN.m$$

$$\therefore\ M_{uD} = 0$$

$$V_{u(AD)} = 0 \quad ; \quad V_{uD} = -V_{uE} = 404.8\, kN$$

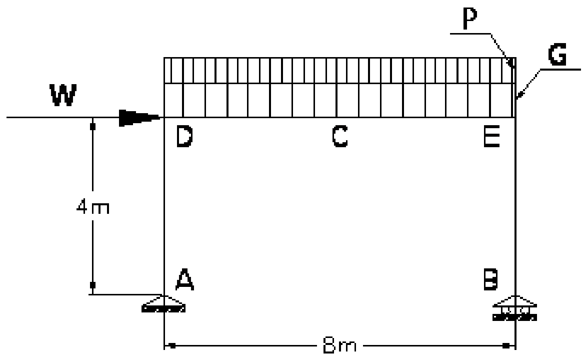
$$N_{u(DE)} = 0 \quad ; \quad N_{u(AD)} = N_{u(BE)} = 404.8\, kN$$





التطبيق الرابع:

لدينا المنشأة المبينة جانباً (إطار من البيتون المسلح) والمعرضة للحمولات الاستثمارية التالية:



- حمولة دائمة للجائز (DCE) موزعة بانتظام (متضمنة الوزن الذاتي) : $G = 48kN/m.l$
- حمولة إضافية للجائز موزعة بانتظام : $P = 20kN/m.l$
- فعل استثنائي (رياح) مركز في النقطة (D): $W = 50kN$

بافتراض أن التراكبات المعتمدة في التحليل هي:

$$U = 0.8[1.4G + 1.7P + 1.7W]$$

$$U = [1.4G + 1.7P]$$

يطلب :

1. رسم مخططات عزم الانعطاف والجهد القاطع و الجهد الناظمي لهذا الإطار.
2. حساب التسليح المقاوم لعزم الانعطاف عند وسط مجاز الجائز (C).
3. حساب التسليح المقاوم للجهد القاطع عند طرف الجائز (E).

مع العلم :

$$f_y = 400MPa\,;\; f_c' = 25MPa$$

$$\tau_{0u} = 0.16\sqrt{f_c'}\,;\; \tau_{u\max} = 0.65\sqrt{f_c'}$$

$$\mu_{s\max} = 0.5\mu_{sb} = 0.014;\; \mu_{s\min} = \frac{0.9}{f_y}$$

أبعاد مقطع الجائز :

$$b \times h = 40 \times 100cm$$

الحل:

الطلب الأول:

تحديد الحمولات الحدية:

- الحمولة الحدية على الجائز DE:

$$U = UV = 0.8(1.4G + 1.7P) = 0.8(1.4 \times 48 + 1.7 \times 20) = 81 kN / ml$$

$$U = UV = (1.4G + 1.7P) = 1.4 \times 48 + 1.7 \times 20 = 101.2 kN / ml$$

- الحمولة الحدية الأفقية (رياح) :

$$U = UH = 0.8(1.7W) = 0.8(1.7 \times 50) = 68 kN$$

- حساب ردود الأفعال : الجملة مقررة ، ومن معادلات التوازن يكون لدينا :

  - حالة التحميل الأولى :

$$8R_{VB} = 68 \times 4 + 81 \times \frac{8^2}{2} \Rightarrow R_{VB} = 358 kN$$
$$\therefore R_{VA} = 81 \times 8 - 358 = 290 kN$$
$$R_{HA} = 68 kN$$

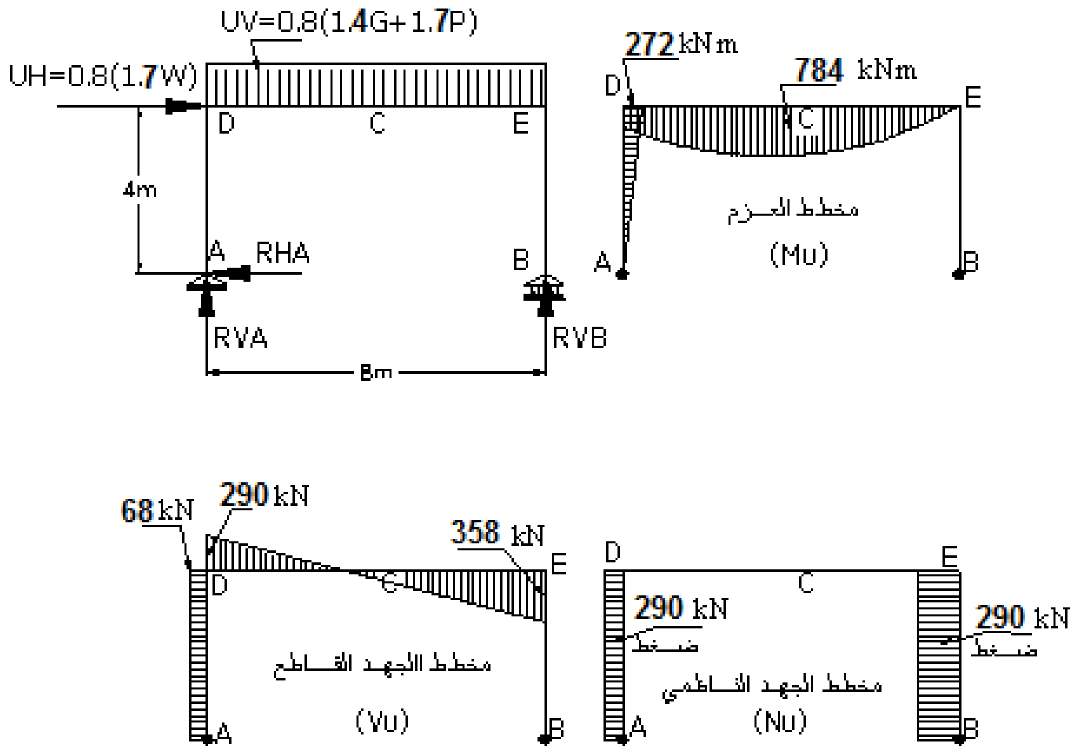
  - حالة التحميل الثانية :

$$8R_{VB} = 101.2 \times \frac{8^2}{2} \Rightarrow R_{VB} = 404.8 kN$$
$$\therefore R_{VA} = 101.2 \times 8 - 404.8 = 404.8 kN$$
$$R_{HA} = 0$$

- رسم مخططات القوى الداخلية : نعمل على تحديد القيم المميزة ومن ثم نرسمها كما هو مبين جانباً، مثلاً نحسب قيمة عزم الانعطاف الحدي عند وسط المجاز (C) وفي العقدة (D) ، وكذلك الجهود القاطعة والناظمية :

  - حالة التحميل الأولى :

$$M_{uC} = 290 \times 4 + 68 \times 4 - 81 \times \frac{4^2}{2} = +784 kN.m$$
$$\therefore M_{uD} = \pm 68 \times 4 = \pm 272 kN.m$$
$$V_{u(AD)} = 68 kN \quad ; \quad V_{uD} = 290 kN \quad ; \quad V_{uE} = 358 kN$$
$$N_{u(DE)} = 0 \quad ; \quad N_{u(AD)} = 290 kN \quad ; \quad N_{u(BE)} = 358 kN$$



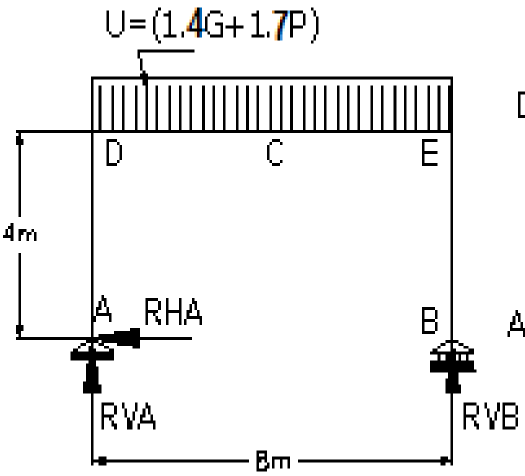
- حالة التحميل الثانية :

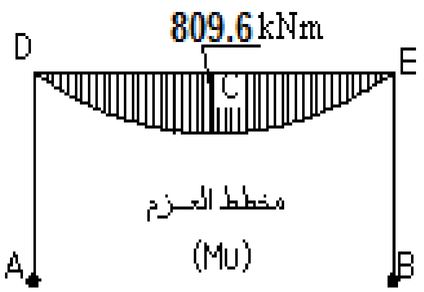
$$M_{uC} = 404.8 \times 4 - 101.2 \times \frac{4^2}{2} = \frac{101.2 \times 8^2}{8} = +809.6\, kN.m$$

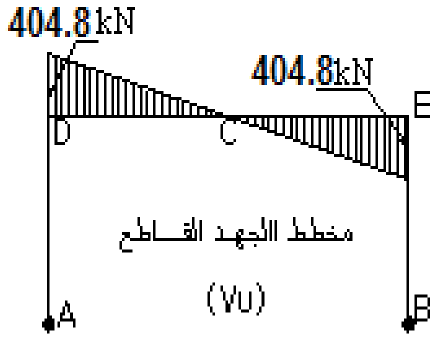
$$\therefore M_{uD} = 0$$

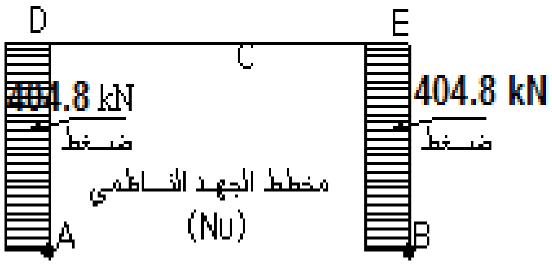
$$V_{u(AD)} = 0 \quad ; \quad V_{uD} = -V_{uE} = 404.8\, kN$$

$$N_{u(DE)} = 0 \quad ; \quad N_{u(AD)} = N_{u(BE)} = 404.8\, kN$$









الطلب الثاني:

حساب تسليح الانعطاف عند وسط الجائز (استناداً لمغلف العزوم):

$$M_{uC}(\max) = +809.6\,kN.m$$

$$A_0 = \frac{M_u}{\Omega 0.85\, f_c'\, b\, d^2} = \frac{809.6\times 10^6}{0.9\times 0.85\times 25\times 400\times 900^2} = 0.1307$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \alpha = 1-\sqrt{1-2A_0} = 0.1405 \\ \gamma = \dfrac{A_0}{\alpha} = 0.9302 \end{cases}$$

$$\therefore \quad A_s = \frac{M_u}{\Omega.\gamma.d.f_y} = \frac{809.6\times 10^6}{0.9\times 0.9302\times 900\times 400} = 2686\,mm^2$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{b.d} = \frac{2686}{400\times 900} = 0.00746 < \mu_{s\max} = 0.014 \quad O.K.$$

$$\mu_s = 0.00746 > \mu_{s\min} = \frac{0.9}{f_y} = \frac{0.9}{400} = 0.00225 \quad O.K.$$

الطلب الثالث:

حساب التسليح المقاوم للجهد القاطع عند أطراف الجائز (استناداً لمغلف الجهد القاطع):

$$V_u(\max) = 404.8\,kN$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{\Omega.b.d} = \frac{404.8\times10^3}{0.85\times400\times900} = 1.323\,MPa$$

$$\tau_{u\max} = 0.65\sqrt{f_c'} = 0.65\sqrt{25} = 3.25\,MPa > \tau_u \quad O.K.$$

$$\tau_{0u} = 0.16\sqrt{f_c'} = 0.16\sqrt{25} = 0.8\,MPa < \tau_u$$

$$\therefore \quad A_{st} \geq \frac{(\tau_u - \tau_{0u})}{f_y}.b.s = \frac{(1.323-0.8)}{400}\times400\times200 = 105\,mm^2$$

باقتراض أن التباعد بين الأتاري $s = 200\,mm$

ويتم بعد ذلك اختيار أقطار قضبان التسليح العرضاني والطولاني المناسبة.