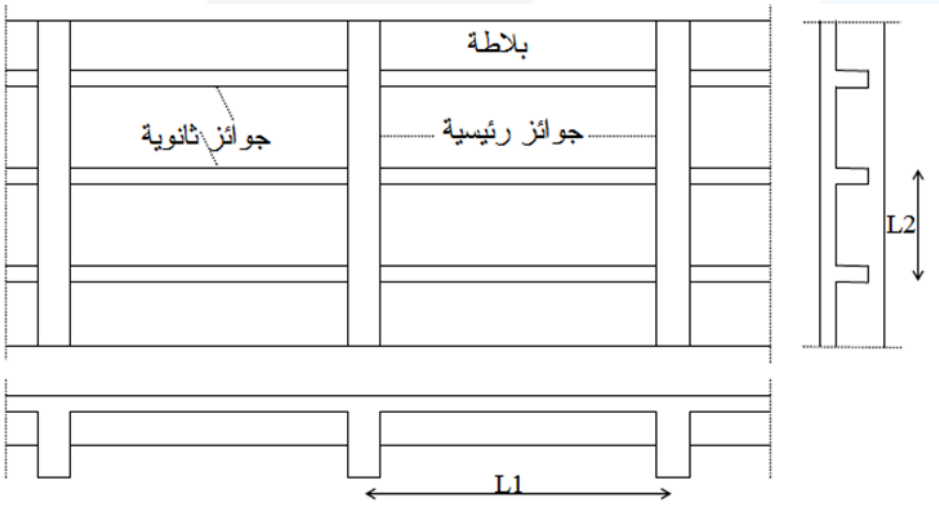
## 7- الجوائز من البيتون المسلح

### 7-1- مقدمة - عموميات

الجائز هو عبارة عن عنصر إنشائي خطي يقوم على نقل الحمولات الآتية من البلاطات إلى الأعمدة أو الجدران التي يستند عليها. في الواقع إن تحديد مقاومة جملة حاملة ما واستقرارها يستند على المساهمة المقدمة من كل عنصر في هذه الجملة حيث تشترك البلاطات والجوائز في مقاومة الحمولات المطبقة مباشرة لتنقلها إلى الأعمدة أو الجدران، ومن ثم لتفرغ في الأرض عن طريق جملة الأساسات المقترحة .

بشكل عام يتطلب إنشاء سقف ما إلى تنفيذ عدة بلاطات مستندة على جملة من الجوائز الثانوية أو الرئيسية (الشكل 7-1).

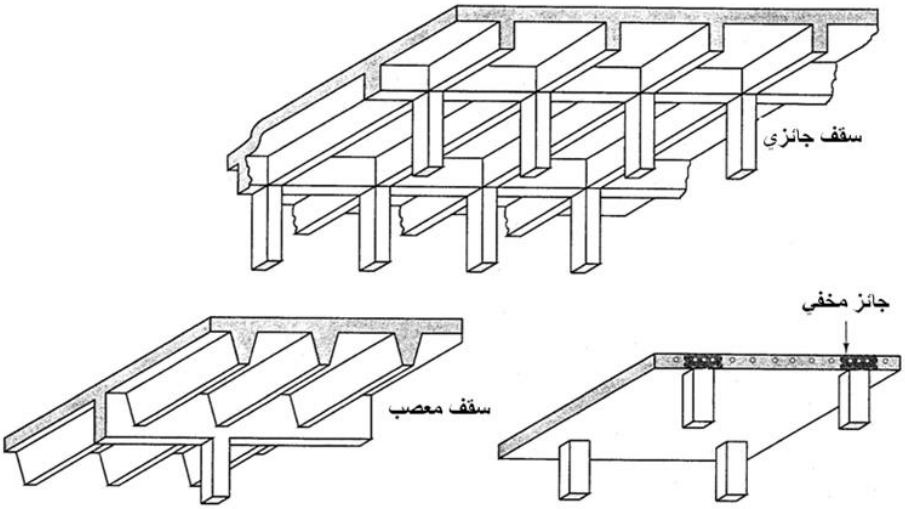



الشكل (7-1)

هذا ويمكن للبلاطة نفسها أن تعمل على أساس جائز في بعض الحالات، على سبيل المثال: في حالة بلاطة عاملة باتجاه واحد يمكن حسابها على أساس جائز بعرض واحدة الطول (1m)، وفي البلاطات المعصبة تعامل الأعصاب على أنها جوائز ثانوية تصب حمولتها في الجوائز الرئيسية الحاملة.

يمكن تصنيف الجوائز وفق عدة اعتبارات (الشكل 7-2)، فنلاحظ:

- جوائز بارزة، متدلية أو مقلوبة يكون ارتفاعها أكبر من ارتفاع البلاطة المحمولة.
- جوائز مخفية (مبطوحة) لها سماكة مساوية لسماكة البلاطة المحمولة.
- جوائز ثانوية وجوائز رئيسية حاملة للثانوية.
- جوائز بسيطة وجوائز مستمرة.
- يمكن للجوائز أن تأخذ مقاطع عرضية مختلفة ولكن بشكل عام تكون المقاطع مستطيلة أو على شكل T .



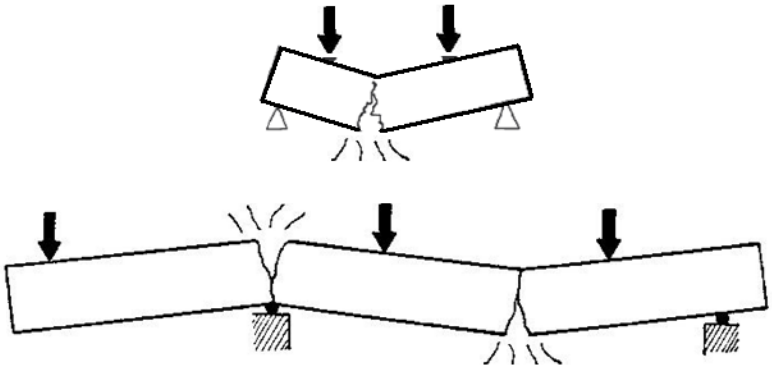

الشكل (7-2): منظومة البلاطات والأعمدة

ونبين فيما يلي آلية عمل الجوائز البيتونية ودور التسليح، وكذلك سلوكها الميكانيكي وأنماط انهيارها تحت تأثير الحمولات الخارجية:

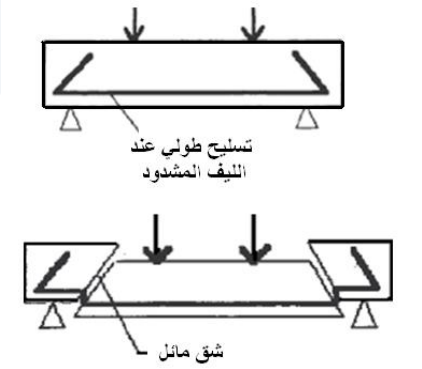
**أ- حالة جائز بيتوني غير مسلح،** يحصل الانهيار بشكل مفاجئ تحت تأثير حمولات خفيفة، ويعود ذلك لعدم كفاية مقاومة البيتون على الشد، كما هو مبين في الشكل (7-3).

**ب- حالة جائز بيتوني حاوي على تسليح طولي فقط،** يحصل الانهيار بعد تشكل شقوق مائلة عند مناطق القص الأعظمي تحت تأثير حمولات أكبر من السابقة، ويعود ذلك لعدم كفاية البيتون لمقاومة الجهود القاطعة، كما هو مبين في (7-4).

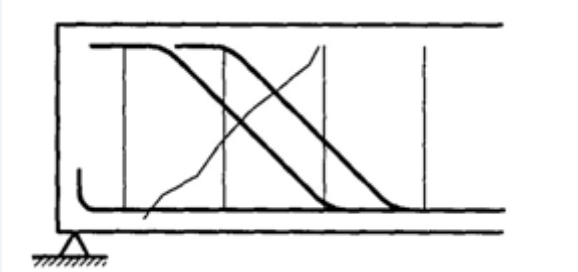
بالتالي يجب إضافة تسليح مقاوم للقص، على شكل أساور شاقولية، أو على شكل تسليح مائل على المحور الوسطي للجائز، كما هو مبين في الشكل (7-5).



الشكل (7-3): انهيار جائز بيتوني غير مسلح عند مناطق الشد القصوى

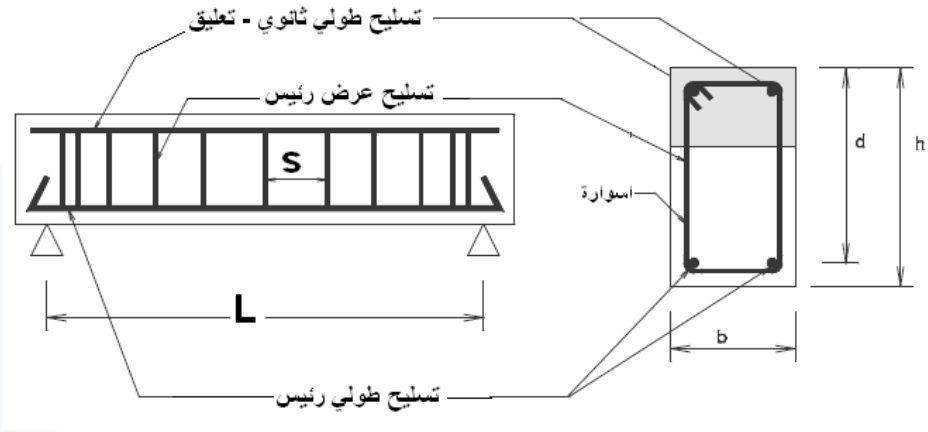



الشكل (7-4): انهيار جائز بيتوني بسبب عدم كفاية البيتون لمقاومة القص



الشكل (7-5): إضافة تسليح عرضاني (أساور أو مكسح) لمقاومة القص

**ج- جائز بيتوني مسلح بشكل صحيح ومدروس،** مع تسليح طولي وعرضي. الانهيار سوف يتأخر وستزداد مقاومة الجائز للحمولات الخارجية مقارنة بالجوائز السابقة، وكذلك يعمل هذا التسليح على الحد من تطور التشققات وجبهة التضررات (الشكل 7-6).



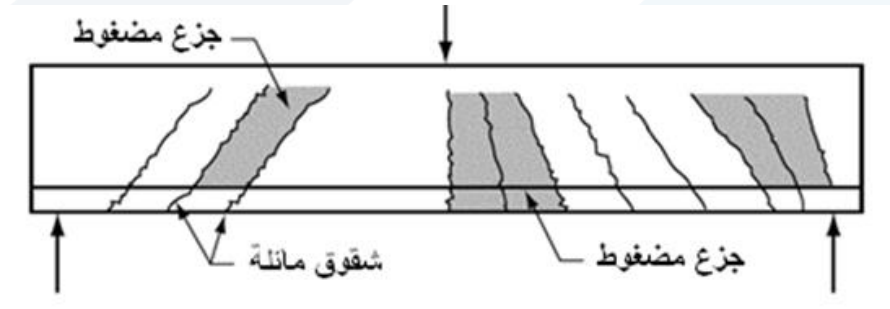

الشكل (7-6): جائز بيتوني مسلح لمقاومة الانعطاف والقص

في الواقع، تولد جملة المؤثرات الخارجية على جائز ما عزوم انعطاف وجهود قاطعة مترافقة في المقطع. ينجم عن عزم الانعطاف في هذا المقطع إجهادات شد وضغط ناظميه، بينما ينتج عن الجهود القاطعة إجهادات قص تسبب في انزلاق مستويات البيتون أفقياً وشاقولياً، وتؤدي بدورها إلى إجهادات شد وضغط قطرية (شقوق مائلة موازية للجزوع

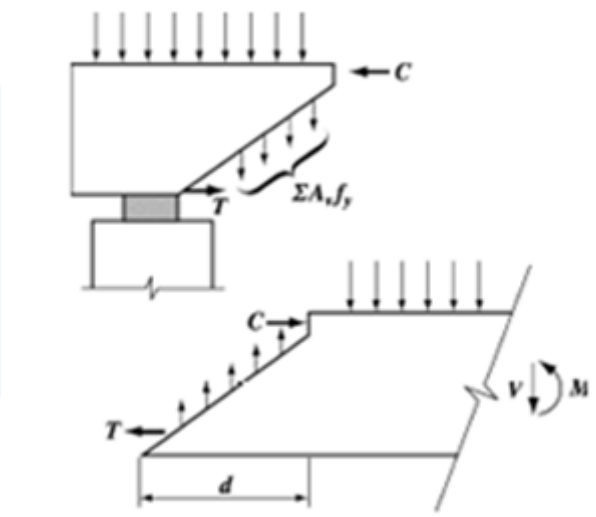
المضغوطة). ويوضح الشكل (7-7) هذه الجزوع المضغوطة الموازية للشقوق المائلة. أما الشكل (7-8) فيبين مخطط الجسم الحر في طرف الجائز.

بالتالي عند مراقبة التشققات وتطورها (جبهة التضرر) في جائز ما خاضع لحمولة ما، كما هو مبين في الشكل (7-9)، وقبل وصوله للانهيار يمكننا ملاحظة ما يلي:

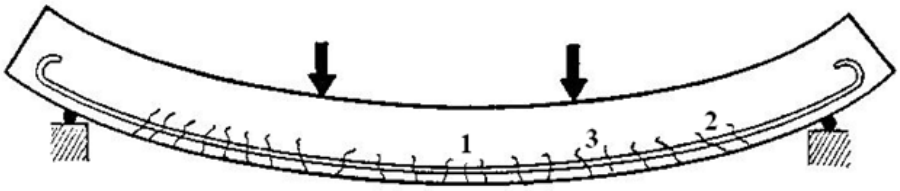
- نشوء تشققات شاقولية في المنطقة الوسطية للجائز ناجمة عن إجهادات الشد الناظمية المتولدة عن عزم الانعطاف.
- جملة من التشققات المائلة بزاوية $(45^\circ)$، بالقرب من المساند، ناجمة عن إجهادات الشد القطرية التي يسببها الجهد القاطع الأعظمي.
- جملة تشققات مختلطة ناجمة عن تأثير إجهادات الشد القطرية والناظمية، وهي تكون مائلة بين $(45^\circ \& 90^\circ)$.




الشكل (7-7): الجزوع المضغوطة الموازية للشقوق المائلة

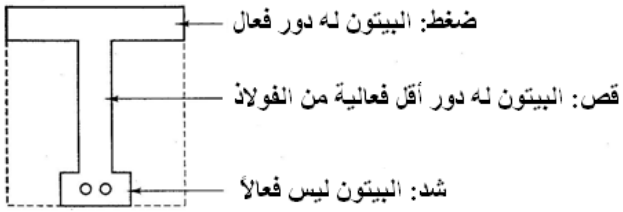



الشكل (7-8): مخطط الجسم الحر في طرف الجائز




الشكل (7-9): التشققات في جائز محمل – تطور جبهة التضررات

تؤمن مقاومة المقاطع البيتونية المعرضة لإجهادات قص عن طريق مقاومة البيتون للقص والتسليح العرضي الذي يخترق المساحات التي تعمل فيها الإجهادات المماسية الناجمة عن قوى القص. وفيما يخص مقاومة المقطع للشد بالانعطاف، يقوم التسليح الطولي بتأمينها حيث تهمل مساهمة البيتون للشد، بالمقابل يكون البيتون فعالاً جداً في مقاومة إجهادات الضغط بالانعطاف. وهذا في الواقع يلخص مفاهيم تصميم العناصر الخاضعة لانعطاف، كما هو مبين في الشكل (7-10).




الشكل (7-10): مفاهيم التصميم للعناصر المنعطفة

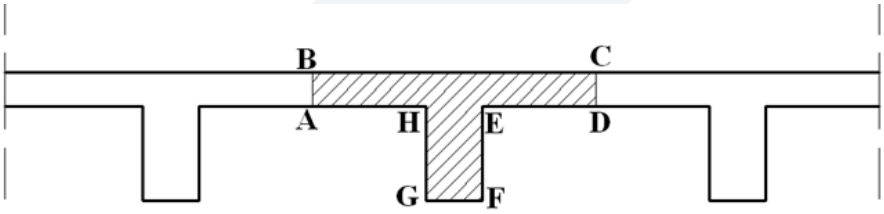
وتنص معظم الكودات العالمية ومنها الكود السوري على ضرورة تأمين نسبة تسليح عرضية أصغرية للمقاطع الخاضعة لإجهادات قص، ويمكن أن يستثنى من هذا الشرط البلاطات العادية وقواعد الأساسات.

ونذكر فيما يلي أنواع التسليح العرضي المستخدم لمقاومة الإجهادات المماسية:

- إطارات أو أساور أو أتاري عمودية على التسليح الطولي للعنصر (تسليح قائم).
- إطارات أو أساور أو أتاري مائلة بزاوية لا تقل عن $(30^\circ)$ مع تسليح الشد الرئيس. (تسليح مائل).
- أساور حلزونية مطوقة لكامل المقطع، متواصلة على كامل طول العنصر، (تسليح حلزوني).
- قضبان طولية مكسحة بزاوية لا تقل عن $(30^\circ)$ مع تسليح الشد الرئيس (متناظر)، على أن تستعمل الأساور مع هذا التسليح، بحيث لا يقاوم هذا التسليح المائل أكثر من نصف إجهادات القص.
- ويمكن استعمال اثنين أو أكثر من الأنواع السابقة.

## 7-2- اشتراطات بعدية – ترتيبات التسليح

- تتعرض الجوائز إلى جملة من الحمولات الدائمة والإضافية، وتعتمد طرائق حساب هذه الجوائز على نوعها سواء أكان بسيطاً أم مستمراً.
- تصادف مقاطع بشكل $(T)$ بكثرة في منشآت البيتون المسلح كالسقوف، والجدران الاستنادية، وجسور السيارات وبصورة عامة في جميع المنشآت التي يتم فيها مشاركة البلاطة المليئة للجوائز في المقاومة (الشكل 7-11).



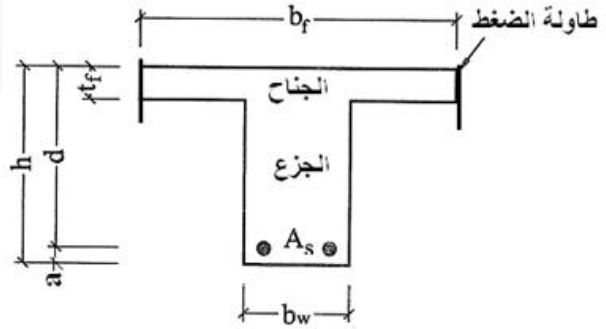

الشكل (7-11): مقطع جائز بشكل $(T)$

ويعتبر هذا المقطع اقتصادياً تماماً لأنه ينتج عن حذف أكبر كمية ممكنة من البيتون المشدود، ذلك البيتون الذي لا يشكل إلا وزنا ذاتيا ميتا غير مفيد، نظرا لكونه مهملا في حسابات المقاومة.

نسمي القسم $(ABCD)$ بلاطة الضغط أو جناح الضغط أو أكثر بساطة البلاطة، كما نطلق على القسم $(EFGH)$ اسم الجسد أو العصب. سنفترض في هذه الدراسة أن البلاطة واقعة في المنطقة المضغوطة من الجائز، فإذا لم يكن كذلك، كما يحصل في مساند الجائز المستمر حيث تقع البلاطة في منطقة الشد، تعود المسألة إلى حساب مقطع مستطيل بعرض $(GF)$ لأن البيتون المشدود لا يؤخذ بالحسبان عند تعيين التسليح المشدود.

وتكون الجوائز بشكل حرف T على نوعين:

- ✓ **النوع الأول:** نوع يكون في الأسقف المؤلفة من جوائز عادية متصلة اتصالاً وثيقاً مع البلاطات المحمولة عليها، ويكون ذلك بالصب استمرارياً، ومع تشريك التسليح بحيث يكون الجائز والبلاطة المضغوطة فوقه مترابطين ترابطاً فعالاً فيؤلفان وحدة من الوجهة الإنشائية، ويسلكان سلوكاً موحداً تحت تأثير الحمولات المطبقة، ويسمى الجائز الأصلي جسداً بعرض $(b_w)$، والبلاطة فوقه طاولة أو جناح الضغط، ويسمى القسم من البلاطة الذي يعمل بالفعل مع الجسد، العرض الفعال لجناح الضغط $(b_f)$.




لا يعد قسم من البلاطة، طاولة ضغط لجزع جائز، إلا إذا استمرت قضبان التسليح لهذه الطاولة ضمن جزع الجائز للجهتين، وعلى ألا تقل مساحة مقاطع القضبان المستمرة عن:

$$A_{ct} = 1.7 \frac{V}{d\, f_y} \frac{b'}{b_f}$$

حيث:

$A_{ct}$ مساحة مقاطع قضبان التواصل في المتر الطولي من الجائز، التي تخترق الجذع على طول بلاطة الضغط.

$V$ قوة القص في مقطع الجائز (حمولات استثمارية).

$d$ الارتفاع الفعال لمقطع الجائز.

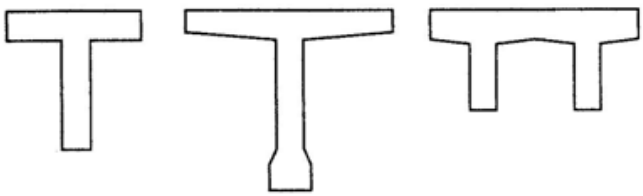
$f_y$ إجهاد الخضوع (المقاومة المميزة) لتسليح التواصل.

$b_f$ العرض الفعال لطاولة الضغط.

$b'$ العرض الفعال لجزء الطاولة الواقع على أحد طرفي الجذع.

إضافة للشرط السابق، يجب ألا تقل مساحة مقاطع القضبان المستمرة (قضبان التواصل: تسليح سالب وموجب لبلاطة الضغط) عن 0.3% من مساحة مقطع البلاطة الطولي.

✓ **النوع الثاني: يكون في المقاطع المصنوعة خصيصاً بشكل $(T)$ لإعداد طاولة ضغط خاصة.**



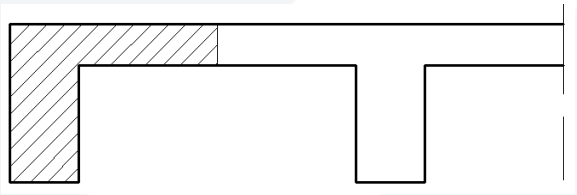
- في الواقع يرتبط العرض الفعال لجناح الضغط $(b_f)$ للمقطع بشكل حرف $(T)$ بعناصر مختلفة يمكن تلخيصها كما يلي:
  - نوع الجائز: بسيط أو مستمر.
  - طول فتحة الجائز البسيط، أو المسافة بين نقطتي انعدام العزم في الجوائز المستمرة إلى عرض الجسد.
  - نسبة سماكة طاولة الضغط إلى ارتفاع الجائز $\left(\frac{t_f}{h}\right)$.
  - المسافة بين محوري جسدين متوازيين.
  - نوع الحمولات: مركزة أو موزعة بانتظام.
  - وجود شطفات ساندة بين الطاولة وجسد الجائز.
- ويمكننا اعتماد العرض الفعال لجناح الضغط للمقطع بشكل حرف $(T)$ من النوع الأول، القيمة الدنيا من الأبعاد التالية (الكود السوري):

1) $\left(\frac{L}{4}\right)$ في حالة الجوائز المعرضة لحمولات موزعة بانتظام، أو $\left(\frac{L}{5}\right)$ لحالة الحمولات المركزة. علماً أن $(L)$ تمثل المسافة بين نقطتي انعدام العزم، ويمكن أن تقاس من مخطط العزم، أو تؤخذ 0.76 من المجاز في الفتحات الداخلية من الجوائز المستمرة ذات المجازات المتقاربة، و 0.87 من المجاز في الفتحات الطرفية.

2) عند حساب المقاومة يكون: $b = b_w + 12t_f$ . وعند حساب عزم العطالة الفعال يكون: $b = b_w + 6t_f$ .

3) المسافة بين محوري جائزين متجاورين.

- ويجب أن تحقق سماكة الجناح (سمك طاولة الضغط) الشرط التالي: $t_f \geq \frac{h}{10}$ ، وإلا يعد المقطع مستطيل بعرض: $b = b_w$
- أما بالنسبة للنوع الثاني للمقطع بشكل حرف $(T)$، فيؤخذ العرض الفعال للجناح مساوياً لـ: $b = b_f$ ، شريطة ألا يزيد على $5b_w$ ، وبحيث يكون: $t_f \geq \frac{b_w}{2}$.
- تحسب المقاطع بشكل حرف $(L)$ كما تحسب المقاطع المستطيلة، ويهمل تأثير جناح الضغط.



- الارتفاع الفعال لمقطع جائز ما $(d)$ هو المسافة بين مركز ثقل التسليح وليف حافة منطقة الضغط.
- المجاز الفعال للجوائز $(L)$: ميز الكود السوري بين حالات عدة عند تحديد المجاز الفعال للجوائز والبلاطات، والموضوع مرتبط بآلية استناده بالمسند، ولقد تم شرحها بالتفصيل في فصل سابق.
- يستخدم الجدول (1-7) من أجل تحديد قيمة الارتفاع الكلي للجائز ($h \geq \frac{L}{K}$)، في حالة الجوائز التي لا يزيد مجازها الفعال عن $15m$، على أنه يمكن تنقيص هذه القيم بشرط تحقيق شرط السهم وشرط المقاومة. وفي حال الجوائز التي يزيد مجازها الفعال عن $15m$، يجب التحقق من شرط السهم حسابياً.

| طبيعة الاستناد | غير مستمر من الجانبين | | مستمر من جانب واحد | | مستمر من الجانبين | | ظفري | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f'_c(MPa)$ | $\geq 20$ | $< 20$ | $\geq 20$ | $< 20$ | $\geq 20$ | $< 20$ | $\geq 20$ | $< 20$ |
| جائز متدلي عادي | $\frac{L}{14}$ | $\frac{L}{12}$ | $\frac{L}{15}$ | $\frac{L}{13}$ | $\frac{L}{16}$ | $\frac{L}{14}$ | $\frac{L}{6}$ | $\frac{L}{6}$ |
| جائز مخفي (بلاطات مفرغة) | $\frac{L}{16}$ | $\frac{L}{14}$ | $\frac{L}{18}$ | $\frac{L}{16}$ | $\frac{L}{20}$ | $\frac{L}{18}$ | $\frac{L}{8}$ | $\frac{L}{8}$ |

الجدول (1-7)

- لا تقل نسبة تسليح الشد الرئيس بالانعطاف عن $\mu_{s\min} = \frac{A_{s\min}}{b_w d} \geq \left(\frac{0.9}{f_y}\right)$ .

- لا تزيد نسبة تسليح الشد الرئيس في المقاطع أحادية التسليح عن $\left(0.5\mu_{Sb}=0.5\left[\frac{455}{630+f_y}.\frac{f'_c}{f_y}\right]\right)$.

ويمكن زيادتها لتصل إلى $(0.75\mu_{Sb})$ شريطة حساب السهم وعدم إجراء إعادة توزيع العزوم، ووضع كمية تسليح ضغط دنيا : $(A_S-A'_S\le 0.50A_{Sb})$

- بالنسبة للتسليح العرضي، يتم حسابه على القص ويجب ألا يقل عن:

$$\mu_{St\min}=\frac{A_{st\min}}{b_W s}\ge\left(\frac{0.35}{f_y}\right)$$

حيث $s$ : التباعد بين التسليح العرضي.

- لا يقل قطر قضيب التسليح الطولي عن $12mm$.
- لا يزيد تباعد محاور التسليح الطولي عن $30cm$.
- لا يقل قطر التسليح العرضي عن ثلث قطر التسليح الطولي، أو عن $6mm$.
- لا تزيد المسافة بين كل فرعين متجاورين للتسليح العرضي عن $30cm$.
- تباعد التسليح العرضي يجب أن يحقق ما يلي (حالة جوائز متدلية):

$$s=\min\begin{cases}30cm\\ d/2\end{cases}$$

- تباعد التسليح العرضي يجب أن يحقق ما يلي (حالة جوائز مخفية):

$$s=\min\begin{cases}30cm\\ 2d/3-d\end{cases}$$

- في حال وجود تسليح ثنائي (ضغط)، يجب أن يحقق التسليح العرضي :

$$s=\min\begin{cases}20cm\\ 15\phi_{lc}\end{cases}$$

- التسليح الثانوي للجوائز:

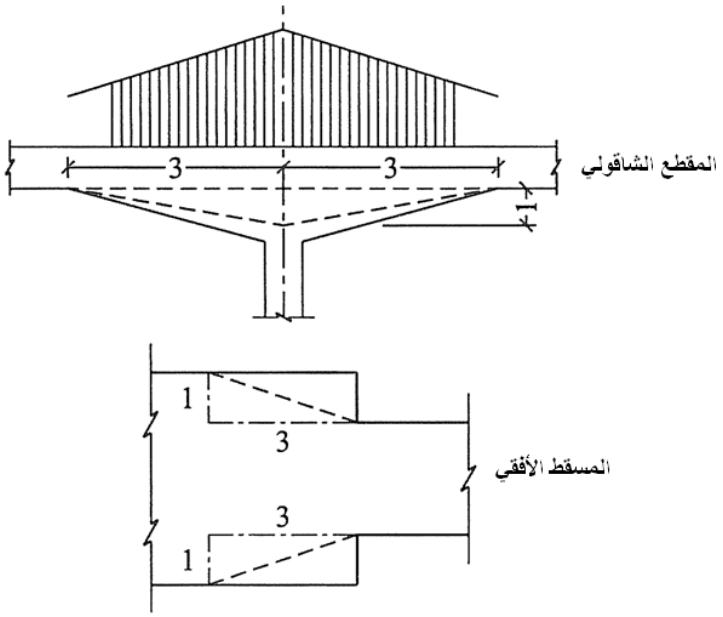
☒ **قضبان التعليق:** لا يقل عدد القضبان عن عدد فروع الأساور إلا إذا كانت اسوارة داخلية حول قضيب واحد. ويجب ألا تقل مساحة هذه القضبان عن 15% مساحة التسليح الرئيس، ولا يقل العدد عن قضيبين. ويجب أن يحقق قطر هذه القضبان:

$$\phi_l=\max\begin{cases}8mm\\ 0.5\phi_{l\max}\end{cases}$$

☒ **قضبان التقلص:** عندما يزيد ارتفاع العنصر عن $(60cm)$ أو تزيد مساحة مقطعه عن $(0.20m^2)$ ، فإنه يجب إضافة قضبان تقلص على الوجهين. ويجب ألا تقل مساحة هذه القضبان عن $(0.001b_W d)$ ، ولا يزيد تباعدها عن $(30cm)$. وكذلك يجب أن يحقق قطر هذه القضبان:

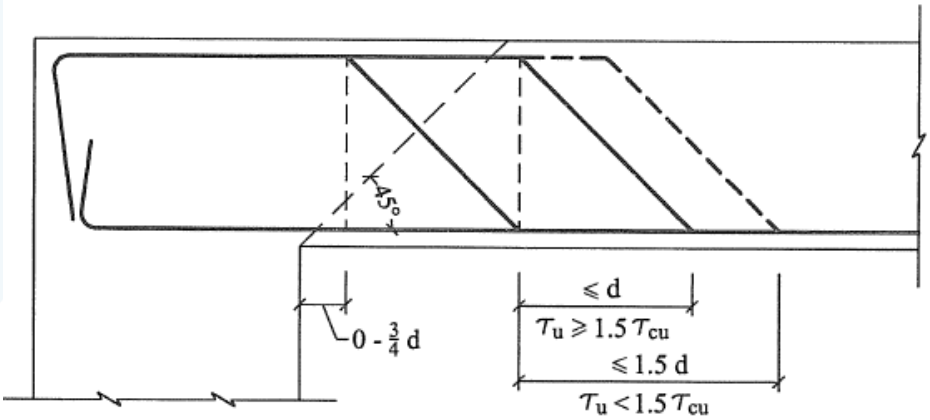
$$\phi_{sh}=\max\begin{cases}10mm\\ 0.5\phi_{l\max}\end{cases}$$

- يجب أخذ تأثير عرض المسند الحامل للجوائز بالحسبان عند حساب العزوم السالبة (تخفيضها).
- في حال تغير مقاطع الجوائز عند مناطق الاستناد بهدف مقاومة العزوم والقص، تكون الارتفاعات الفعالة هي المحددة بخطوط ميلها $\left(\frac{1}{3}\right)$ كما هو مبين في الشكل (7-12)، ويمكن تطبيق هذا المبدأ في حال تغير عرض المقطع. وعندما يزيد الارتفاع عن $(1.5h)$، فيجب أن يؤخذ تأثير هذا التغير على عطالة المقطع عند الدراسة.




الشكل (7-12): تغير المقاطع عند المساند

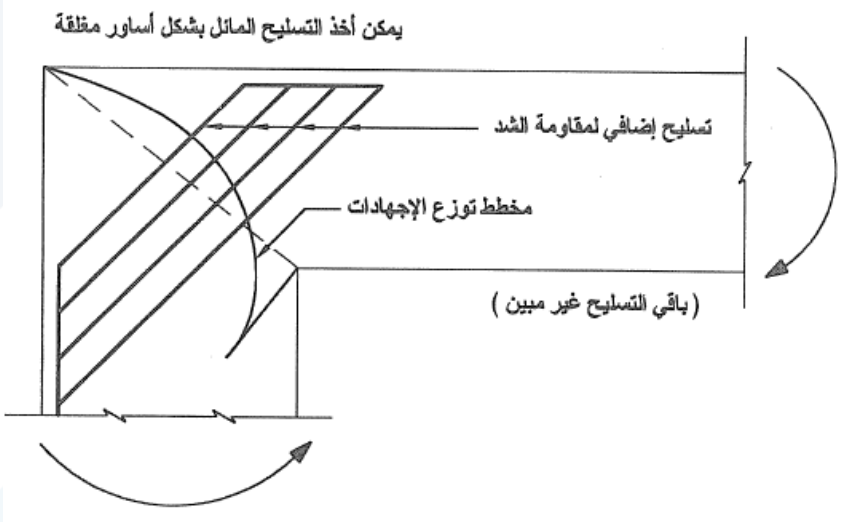
- يحدد العرض الفعال $(b_w)$ للجوائز على شكل $(T)$ وفقاً للكود السوري الأساس كما مر معنا سابقاً.
- في حال استعمال أساور مائلة أو قضبان طولية مكسحة لمقاومة القص، فيجب أن يحتوي الخط المائل بزاوية $(45^\circ)$ على محور العنصر، والمرسوم من أسفل الوجه الداخلي للركيزة، على إسوارة أو قضيب مكسح، كما هو مبين في الشكل (7-13).




الشكل (7-13): ترتيب القضبان الطولية المكسحة عند المسند

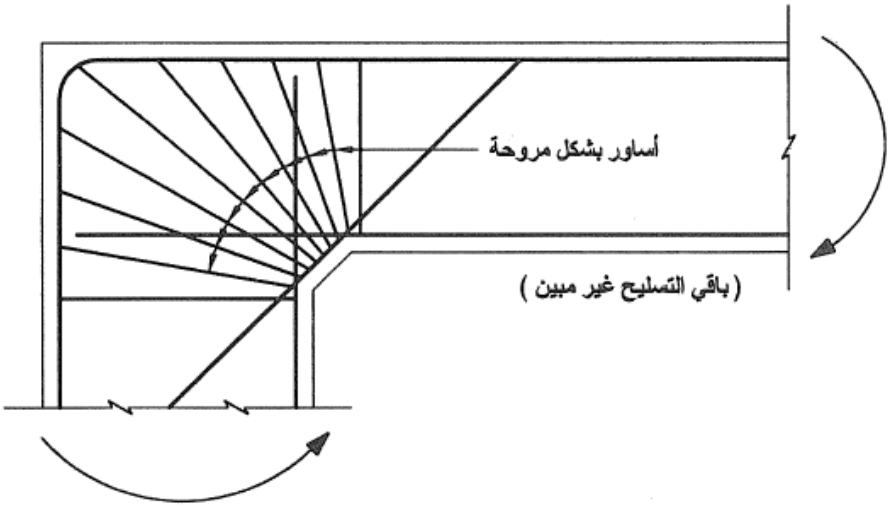
هذا ويجب ألا تزيد المسافة بين كل صفين من هذه الأساور أو القضبان المائلة على الارتفاع الفعال للجائز $d$ في حال كانت إجهادات القص الحدية أكبر من مقاومة البيتون $(\tau_u \geq 1.5\,\tau_{cu})$، وتؤخذ مرة ونصف من الارتفاع الفعال $1.5d$ عندما يكون $(\tau_u < 1.5\,\tau_{cu})$.

- يجب تأمين الاستقرار العرضي ضد التحنيب، ففي الجوائز البسيطة والمستمرة غير المربوطة في المنطقة المضغوطة، تخفض قدرة تحمل المقطع تبعاً للنسبة $\left(\frac{L}{b_W}\right)$ بعوامل تخفيض تؤخذ من الكود الأساس، أو من الجدول المذكور في فصل سابق.
- عند عقد الإطارات بين الجوائز والأعمدة، وعندما تزيد مجازات الجوائز على $10m$، فيلزم إضافة تسليح خاص في العقدة الطرفية بهدف مقاومة إجهادات الشد الناتجة على مستوى مائل صل بين الركنين الداخلي والخارجي لهذه العقدة، كما هو مبين في الشكل (7-14). ويؤخذ بنسبة 15% من مساحة التسليح العلوي المشدود للعقدة وذلك لحالة الجوائز بمجازات قريبة من $10m$، وتزاد حتى 30% للمجازات التي تصل إلى حوالي $30m$.



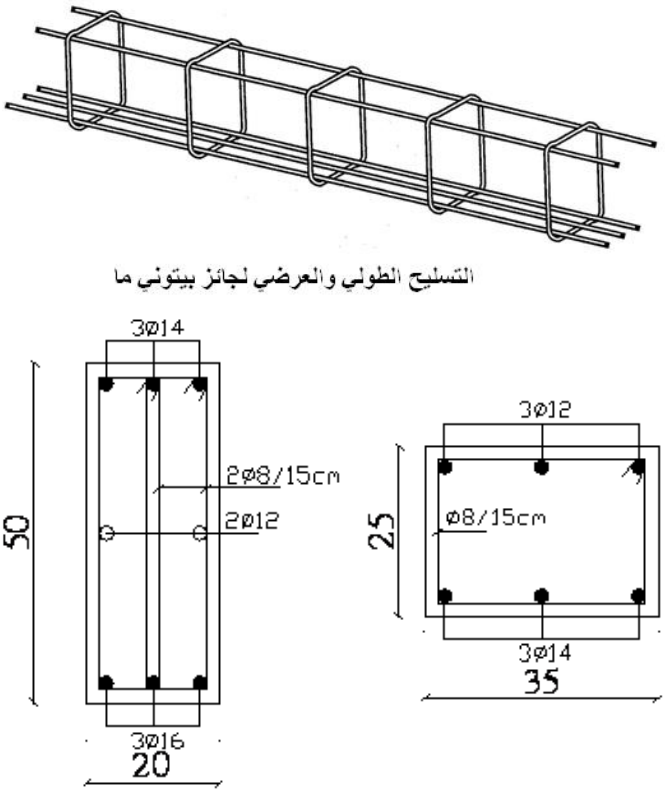

الشكل (7-14): إضافة تسليح خاص في عقدة طرفية لإطار مجازه يزيد عن عشرة أمتار

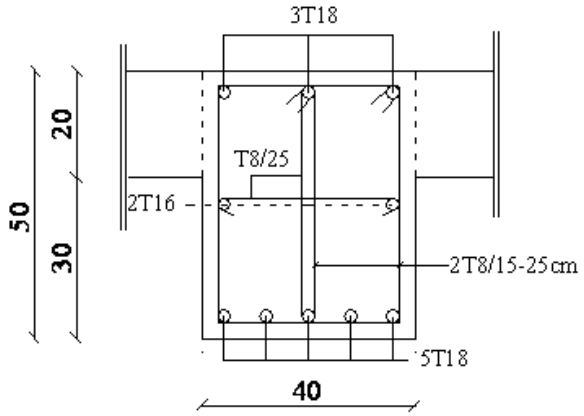
إضافة لذلك يجب تطويق بيتون العقدة بحيث تستمر أساور العمود ضمنها، أو تستعمل أساور خاصة بشكل مروحة كما هو مبين في الشكل (7-15).




الشكل (7-15): استمرار أساور العمود ضمن العقد، أو تزويدها بأساور بشكل مروحة (إطارات مجازها يزيد عن عشرة أمتار)

ونبين في الشكل (7-16) نماذج وترتيبات التسليح في الجوائز.





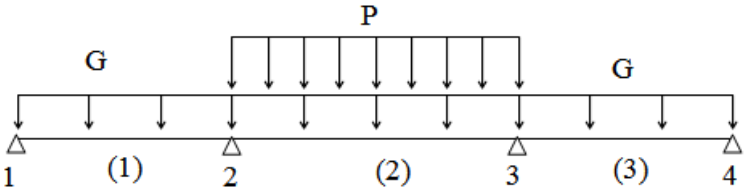

الشكل (7-16)

**3-7- حالات التحميل المهمة في الجوائز**

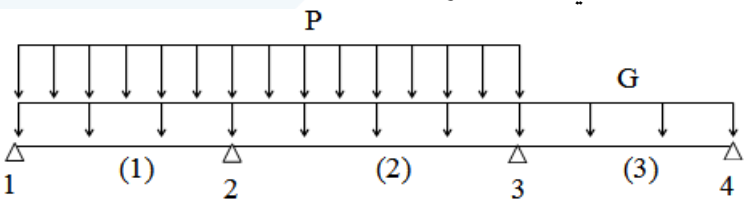
إن قيم الجهود الداخلية في جائز ما تتغير بشكل كبير كتابع لحالة التحميل المفروضة عليه، لدرجة إن إشارة عزوم الانعطاف في بعض المقاطع الحرجة قد تتغير بالتالي يجب أن نلحظ أثر ذلك عند تصميم المقاطع.

يقصد بحالات التحميل توزيع الحمولات الإضافية على الفتحات بحيث نحصل من خلال تراكبها على أكبر وأخطر الجهود الداخلية، علماً بأن الحمولات الدائمة موجودة بشكل مستمر ودائم أثناء التحميل، وهذا أمر منطقي. على سبيل المثال نبين الحالات التالية لجائز مؤلف من ثلاث فتحات بهدف البحث عن أكبر وأقل جهد داخلي:

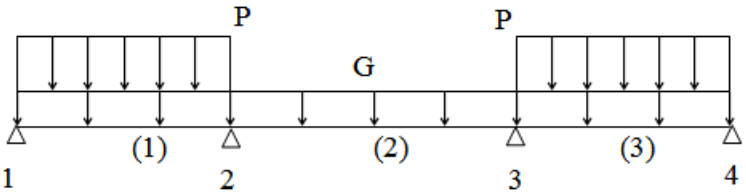
- تعيين عزم الانعطاف الأعظمي الموجب في إحدى الفتحات (الفتحة الوسطية):




- تعيين عزم الانعطاف الأعظمي السالب فوق المسند 2:




تحديد المنطقتين اللتين تؤثر فيهما عزوم انعطاف سالبة وذلك من أجل تحديد أطوال المناطق العلوية المشدودة في الفتحة الوسطية (2) (يسار المسند 3 ويمين المسند 2):



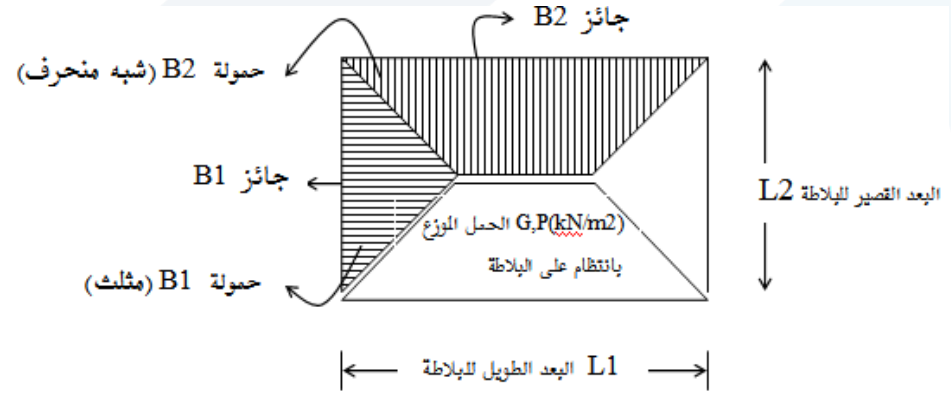
## 7-4- نقل الحمولات إلى الجوائز

- الجوائز الحاملة للبلاطات ذات اتجاه واحد (مصمتة و معصبة):

تؤخذ ردود أفعال البلاطات أو الأعصاب بصفتها أحمالاً على الجوائز مع مراعاة إدخال أثر الاستمرارية عند استخدام الطرق المبسطة: تؤخذ ردود الأفعال مساوية لردود أفعال بلاطة مستندة بشكل بسيط على الجائز ثم ضربها بعامل زيادة 10% للمسند الداخلي الأول لجائز مؤلف من أكثر من فتحتين, و 15% للمسند الوسطي في جائز مؤلف من فتحتين.

- الجوائز الحاملة لبلاطات عاملة باتجاهين (مصمتة أو مفرغة):

يوضح الشكل (7-17) آلية انتقال حمولات البلاطة إلى الجوائز المحيطة، نلاحظ بأن هذه الحمولات تنتقل على شكل مثلثي أو شبه منحرفة.




الشكل (7-17): انتقال حمولات البلاطة إلى الجوائز المحيطة (بشكل مثلثي أو شبه منحرف)

يتم التعويض عن الحمولات السابقة بحمولات موزعة بانتظام كما يلي:

☒ الجائز B1 (حمولة مثلثية):

$$w_{e1} = 0.667 * w * L_2 / 2$$
$$w_{e2} = 0.500 * w * L_2 / 2$$

حيث:

$w_{e1}$ : الحمولة المكافئة الموزعة بانتظام من أجل حساب العزم الأعظمي في الجائز البسيط.

$w_{e2}$ : الحمولة المكافئة الموزعة بانتظام من أجل حساب قوى القص و ردود الأفعال في الجائز البسيط.

☒ الجائز B2 (حمولة شبه المنحرف):

$$w_{e1} = \alpha * w * L_2 / 2$$
$$w_{e2} = \beta * w * L_2 / 2$$

تؤخذ α و β من الجدول (7-2):

| L1/L2 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| α | 0.667 | 0.725 | 0.767 | 0.802 | 0.830 | 0.851 |
| β | 0.50 | 0.545 | 0.583 | 0.615 | 0.642 | 0.667 |
| **L1/L2** | **1.6** | **1.7** | **1.8** | **1.9** | **2.0** | **-** |
| α | 0.870 | 0.885 | 0.897 | 0.908 | 0.917 | - |
| β | 0.688 | 0.706 | 0.722 | 0.737 | 0.750 | - |

الجدول (7-2)

- يضاف إلى حمولات الجوائز وزنها الذاتي و الحمولات المطبقة عليها مباشرة مثل الجدران و غيرها.
- عندما يعمل الجائز مسنداً لجائز آخر يؤخذ رد فعل الجائز المحمول بصفة حمولة مركزة على الجائز الحامل.

**7-5- حساب الجوائز**

إن حساب الجوائز المستمرة المصنوعة من البيتون المسلح وفق الطرق العادية لمقاومة المواد يستوجب إدخال تعديلات عليها بحيث ينسجم مع خواص البيتون المسلح الفعلية التي تبينها التجارب العملية. إذن عند تحديد الجهود الداخلية في هذه الجوائز يجب أن نأخذ بالاعتبار العوامل التالية:

- تغير الصلابة على طول الخطوط الوسطية للجوائز.
- التغير في درجة الوثاقات المرنة.
- نقصان عامل مرونة المادة مع الزمن و مع زيادة الحمولة.

لهذه الأسباب لجأ الباحثون لطرائق حساب مبسطة و معقولة تأخذ بعين الاعتبار السلوك الفعلي للعناصر البيتونية المسلحة. وسوف نذكر بعض من هذه الطرائق التي يمكن تطبيقها و بسهولة في حالة الأبنية العادية المخصصة للسكن، وفي الأبنية الإدارية التي تكون فيها الحمولات الإضافية من مرتبة الحمولات الدائمة أو تفوقها بقليل.

- طريقة العوامل التقريبية.
- طريقة كاكو.

أخيراً نشير إلى أنه بالإمكان تطبيق طرق الحساب النظري الموجودة في مقاومة المواد كنظرية العزوم الثلاثة أو توزيع العزوم أو غيرها، من أجل تحديد الجهود الداخلية في الجوائز بشرط أن نأخذ بالاعتبار السلوك الحقيقي للبيتون المسلح ويتم ذلك عن طريق تخفيض العزوم السالبة بنسب مئوية لا تتجاوز:

$$\left\{30\left[1-\frac{(A_S-A'_S)}{A_{Sb}}\right]\right\} \quad \text{(عادة تؤخذ حوالي 15\%)}$$

مع زيادتها في مناطق العزوم الموجبة، بمعنى إدخال الأثر الناجم عن الاستمرارية تفرضها طرق مقاومة المواد. وفي كل الأحوال، يجب التحقق من أن العزم الموجب التصميمي المعتمد في كل مجاز لا يقل عن :

- $M_t^+ \geq \frac{M_{u0}}{2} = \frac{w_u L^2}{2\times 8} = \frac{w_u L^2}{16}$ : في حالة الفتحات الوسطية.
- $M_t^+ \geq \frac{w_u L^2}{14}$ : في حالة الفتحات الطرفية.

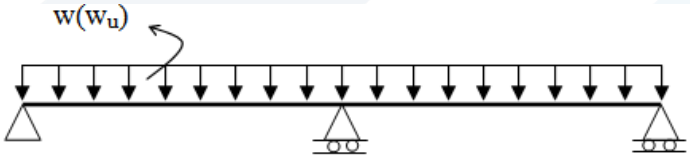
## 7-6- طريقة العوامل التقريبية لحساب الجوائز المستمرة

أ- شروط الاستخدام:

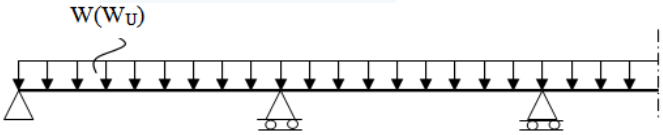
- الجوائز محملة بحمولات موزعة بانتظام.
- لا يزيد الحمل الإضافي المصعد على ضعفي الحمل الدائم المصعد.
- لا يختلف كل مجازين متجاورين عن بعضهما بنسبة تزيد عن 25%.

ب- تحديد الجهود الداخلية: تؤخذ قيم الجهود من الجداول التالية، وذلك حسب عدد الفتحات في الجائز.

- جائز مستمر ذو فتحتين فقط ، و
- جائز مستمر على ثلاث فتحات أو أكثر:




| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| العزوم | $-\frac{wL^2}{24}$ | $+\frac{wL^2}{11}$ | $-\frac{wL^2}{9}$ | | $+\frac{wL^2}{11}$ | $-\frac{wL^2}{24}$ |
| قوى القص | $0.45wL$ | | $0.6wL$ | $0.6wL$ | | $0.45wL$ |
| ردود الأفعال | $0.45wL$ | | $1.15wL$ | | | $0.45wL$ |




| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| العزوم | $-\frac{wL^2}{24}$ | $+\frac{wL^2}{10}$ | $-\frac{wL^2}{10}$ | | $+\frac{wL^2}{14}$ | $-\frac{wL^2}{12}$ | | $+\frac{wL^2}{14}$ |
| قوى القص | $\frac{wL}{2}$ | | $1.15\frac{wL}{2}$ | $\frac{wL}{2}$ | | $\frac{wL}{2}$ | $\frac{wL}{2}$ | |
| ردود الأفعال | $\frac{wL}{2}$ | | $1.1wL$ | | | $1.0wL$ | | |

حيث:

$w(w_u)$ : الحمولة الكلية (إضافية+دائمة) في واحدة الطول من مجاز الجائز عند حساب العزم الموجب وقوة القص، أو متوسط الحمولتين الكليتين للمجازين المتجاورين عند حساب العزم السالب و رد الفعل.

$L$ : المجاز الفعال للجائز عند حساب العزم الموجب، والأكبر بين المجازين المتجاورين عند حساب العزم السالب فوق المسند، ومتوسط المجازين المتجاورين عند حساب رد الفعل.

## 7-7- طريقة كاكو في حساب الجوائز البيتونية المسلحة

يمكن تطبيق هذه الطريقة في حالة الأسقف المعرضة لحمولات إضافية كبيرة مثل الأسقف الحاوية على جوائز رئيسية و ثانوية مرتبطة ببلاطة ما (صناعية).

**1) مجال التطبيق:**

- تستخدم في حساب الجوائز المستمرة المرتبطة بالبلاطات ذات حمولة إضافية مرتفعة نسبياً مثل الأبنية الصناعية (معامل، مشاغل) و المخازن ...الخ:

$$\left(P_u > 2G_u \; ; P > 5kN/m^2\right)$$

حيث: $P$ : الحمولة الإضافية.

$G$ : الحمولة الدائمة.

- أو حمولات معتدلة إذا لم يتحقق أحد الشروط الإضافية التالية:
  - ✓ عزم عطالة واحد للمقطع العرضي لكافة فتحات الجائز.
  - ✓ نسبة الاختلاف بين مجازين متتاين تقع بين 0.8 و 1.25.
  - ✓ التشققات ليست ضارة جدا لقوام البيتون المسلح و لقوام التغطية.
  - ✓ حمولات منتظمة.

**2) مبدأ الطريقة:**

يعتمد مبدأ هذه الطريقة على إجراء بعض التصحيحات على طريقة الاستمرار النظري الواردة في مراجع مقاومة المواد ( العزوم الثلاثة وغيرها ...)، و ذلك من أجل اعتبار الظواهر التالية:

- تغير عزم عطالة المقاطع العرضانية على امتداد الليف الوسطي للجائز نتيجة تغير العرض الفعلي للبلاطة العلوية (طاولة الضغط)، وهذا ما يخفض بطريقة ما العزوم فوق المساند و يزيد بالمقابل العزوم في الفتحات.
- تخامد أثر الحمولات في حالة الفتحات المتتابعة هو أكثر أهمية من تلك التي تعتمده طريقة الاستمرار النظري، و هذا ما يسمح بالحد من عدد الفتحات المعرضة لحمولات إضافية. من هنا جاءت تسمية طريقة كاكو "بطريقة الاستمرارية المبسطة".

في الواقع، إن طريقة كاكو شاملة و تطبق على الجوائز بكافة أنواعها:

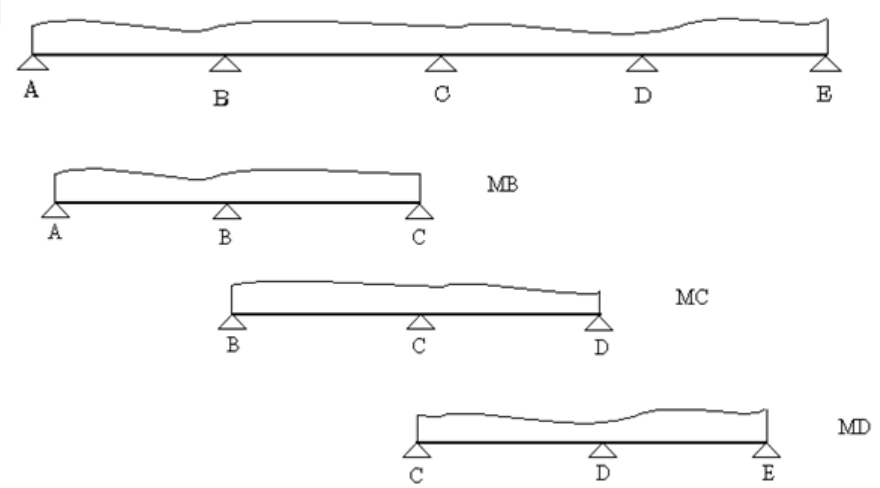
- جوائز متضامنة أو غير متضامنة مع الأعمدة.
- جوائز مع عزوم عطالة متساوية أو مختلفة للمقاطع العرضية.
- جوائز عادية أو مع وجود شطفات، الخ ....

وسنعتمد في دراستنا جزءاً بسيطاً من الطريقة التي تخص الحالات التالية، المتوافقة مع الجوائز في منشآت الأبنية:

أ- الجوائز ذات عزوم عطالة متساوية للمقاطع على طول امتداد الفتحات.

ب- الجوائز الغير متضامنة مع الأعمدة.

تقوم طريقة كاكو على حساب العزم فوق كل مسند لجائز مستمر مع اعتبار الفتحتين المجاورتين لهذا المسند فقط، ونبين فيما يلي مبدأ حساب عزوم المساند للجائز المستمر الأولي ABCD:




3) **الحمولات و الأبعاد وفق طريقة كاكو:**

- **عزوم المساند:**

من أجل حساب العزم فوق المسند $(i)$، نأخذ بالحسبان حالة تحميل الفتحات المتجاورة فقط من اليمين (e) ومن اليسار (w).

أ- حالة حمولة موزعة بانتظام في واحدة الطول $w(w_U)$ :

$$M_i = -\frac{w_w L_w'^3 + w_e L_e'^3}{8.5(L_w' + L_e')}$$

حيث: $w_w$ : حمولة الفتحة اليسارية الموزعة بانتظام في واحدة الطول.

$w_e$ : حمولة الفتحة اليمينية الموزعة بانتظام في واحدة الطول.

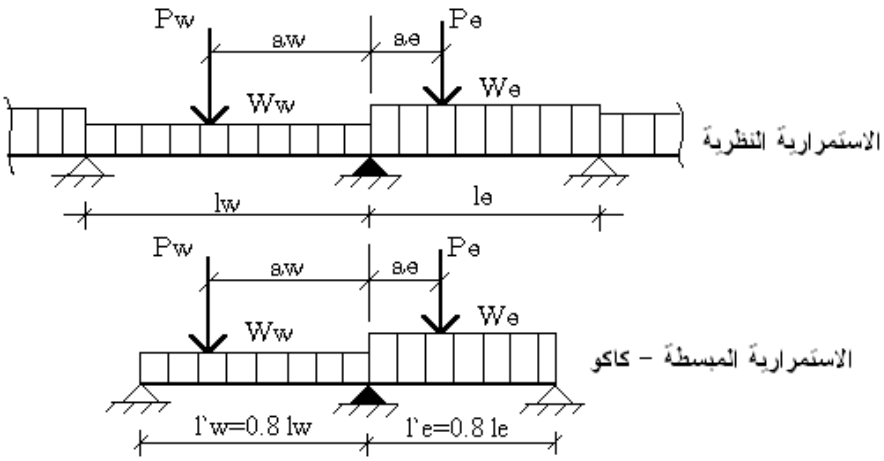
$L_w'$ : طول الفتحة الوهمية اليسارية.

$L_e'$ : طول الفتحة الوهمية اليمينية.

$L_w' = l_w; L_e' = L_e$ : إذا استندت الفتحة بشكل بسيط على المسند الآخر.

$L_w' = 0.8L_w \quad ; \quad L_e' = 0.8L_e$ : استمرارية ما بعد المسند الآخر.

$L_w; L_e$ الطول الحر للفتحة اليمينية و اليسارية.



ب- حالة حمولة مركزة P على بعد مساوي لـ a عن وجه المسند الداخلي:

$$M_i = -\frac{kP_w L_w'^2}{(L_w' + L_e')} \quad ; \quad -\frac{kP_e L_e'^2}{(L_w' + L_e')}$$

$$k = \frac{1}{2.125}\frac{a}{L'}\left(1-\frac{a}{L'}\right)\left(2-\frac{a}{L'}\right)$$

حيث:

$L' = L_w'$ ; $a = a_w$ : الفتحة على يسار المسند.

$L' = L_e'$ ; $a = a_e$ : الفتحة على يمين المسند.

ويبين السلم التابعي التالي قيمة العامل $k$ أو $k_1$ (حالة وجود شطفة) كتابع لـ $\frac{a}{L'}$.

ت- حالات خاصة:

☒ جوائز حاوية على شطفات نظامية:

يمكن الحصول على العزم $M_i$ كما يلي:

- استبدال الثابت 8.5 ب 7.7 في حالة الحمولات الموزعة بانتظام.
- استبدال العامل $k$ بـ $k_1$ .

☒ جوائز مستندة من جهة و موثوقة من الطرف الآخر:

نطبق العلاقة كما مر سابقا مع الأخذ بالحسبان:

$L_w' = 0$ ; $L_e' = 0$ حسب موقع الوثاقة.

☒ جوائز موثوقة من طرفين:

نطبق العلاقة مع اعتبار أن:

$L_w' = 0$ ; $L_e' = 0.8L_e$ أو $L_e' = 0$ ; $L_w' = 0.8L_w$

- **العزوم في الفتحات:**

نرسم منحني العزوم في الفتحات المستقلة ذات الطول $(L)$ وليس الطول الوهمي $(L')$ الناجمة عن الحمولات الدائمة، الحمولات الدائمة و الإضافية، و من ثم نعمل على تحديد خطوط الإغلاق كما يلي:

☒ من أجل العزوم الموجبة:

يكون خط الإغلاق هو الذي يصل عزوم المساند الأصغرية بالقيمة المطلقة.

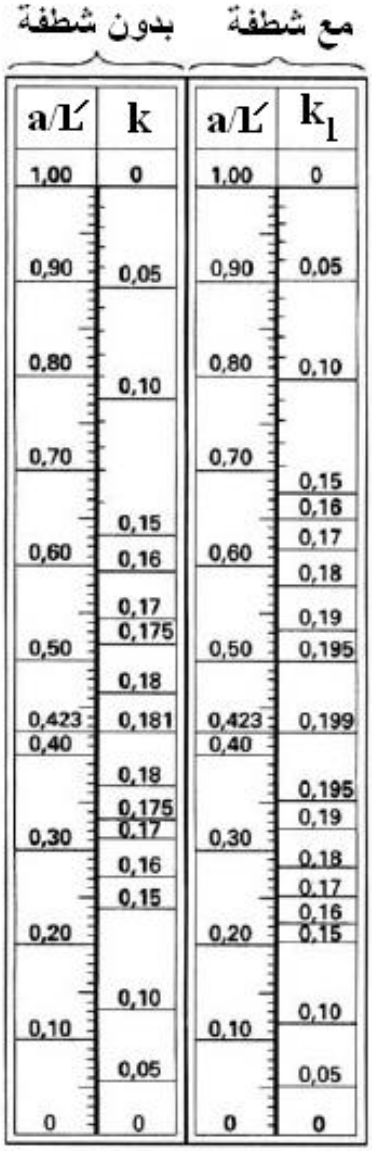
☒ من أجل العزوم السالبة:

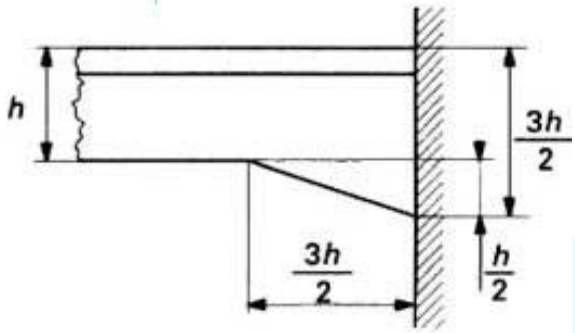
يكون خط الإغلاق هو الذي يصل عزوم المساند الأعظمية بالقيمة المطلقة.

مع فرض إمكانية تطبيق الحمولات الإضافية على مختلف الفتحات في كل حالة.

- **الجهود القاطعة:**

تحسب الجهود القاطعة بأية طريقة معتمدة في حساب الجوائز المستمرة بإدخال عزوم الاستمرارية.




شطفة نظامية

**4) تطبيقات:**

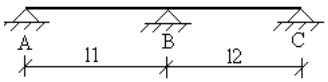
قبل أن نعرض بعض التطبيقات العملية سوف نوضح بعض المفاهيم الأساسية في حساب و تحليل الجوائز المستمرة.

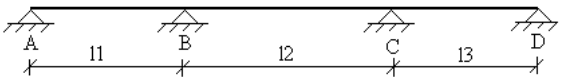
أ- تراكب الأفعال:

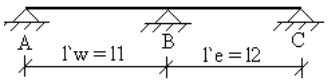
فتحات حاوية أو غير حاوية على أظفار:

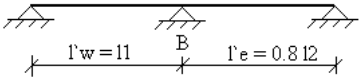
| فتحات مفرغة | فتحات محملة |
|---|---|
| 1.4G ; (G) | 1.4G+1.7P ; (G+P) |

ب- أطوال الفتحات الوهمية:



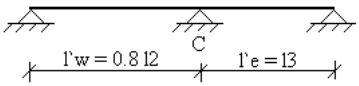



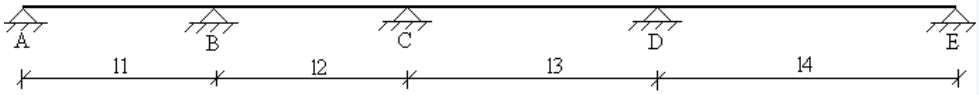



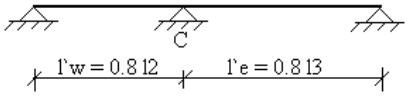




جائز بفتحتين

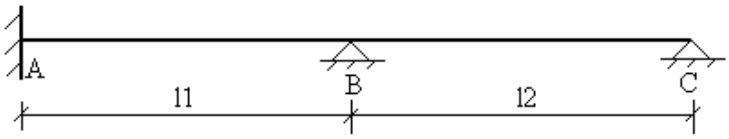
جائز بثلاث فتحات

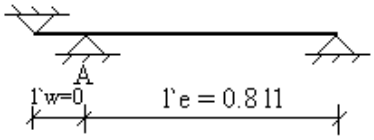


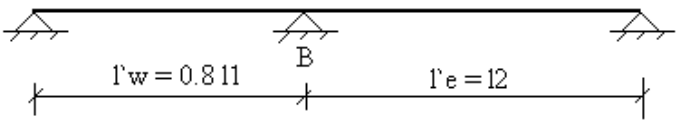



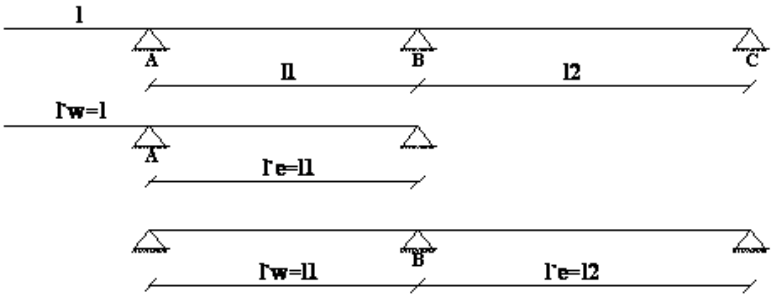

جائز ب n فتحة




جائز موثوق في الطرف A

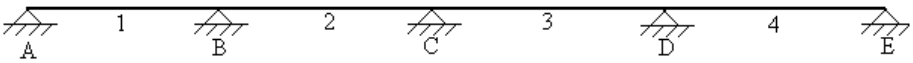



جائز مع ظفر

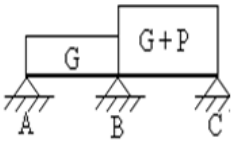
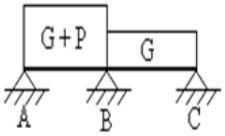
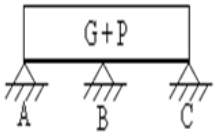
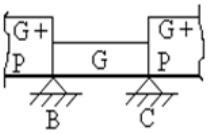
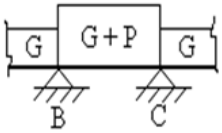
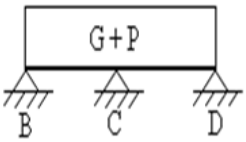
ت- حساب العزوم فوق المساند و في الفتحات:

ليكن لدينا الجائز المستمر التالي: المساند A, B, C.....

الفتحات 1, 2.....



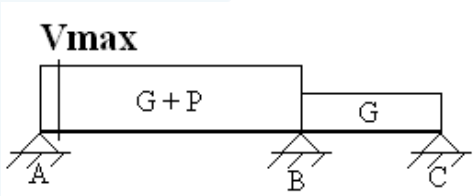

يمكن أن نحدد العزوم الأعظمية في المساند و العزوم الأعظمية و الأصغرية في الفتحات كما هو مبين في الجدول التالي، مع التذكير على ضرورة أخذ الأفعال المصعدة في الحالة الحدية القصوى، بمعنى (1.4G & 1.7P).

| العزم الأصغري في الفتحة | العزم الأعظمي في الفتحة | العزم الأعظمي في المسند |
|---|---|---|
| الفتحة AB   | الفتحة AB   | المسند B   |
| الفتحة BC   | الفتحة BC   | المسند C   |

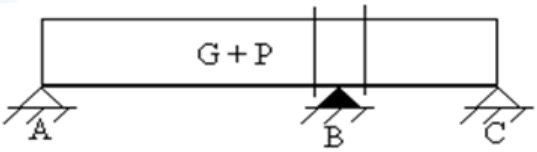
ث- حساب الجهود القاطعة الأعظمية:

إن الجهد القاطع الأعظمي $V_{max}$ يتحدد من خلال تحميل الفتحتين المتجاورتين للمسند فقط.

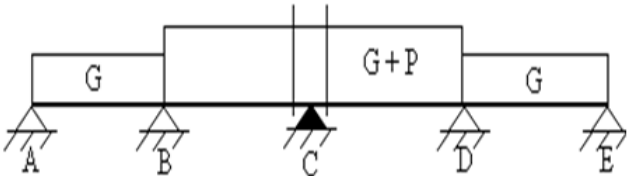
☒ مسند طرفي A:




☒ مسند داخلي B في جائز ذو فتحتين:

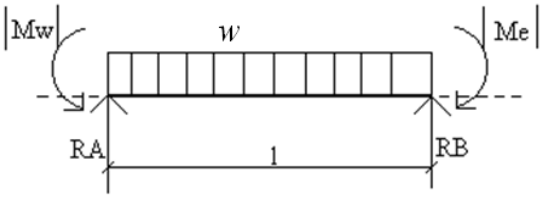



☒ مسند داخلي C في جائز ذو n فتحة:



ج- دراسة فتحة – علاقات تحديد القيم المميزة:

ليكن لدينا الفتحة المحملة بحمولة منتظمة $w$ ، كما هو مبين في الشكل التالي، ومبين عليها ردود الأفعال و العزوم المطبقة:




✓ حساب الجهد القاطع:

نشير إلى ضرورة أخذ العزوم المحسوبة سابقاً (كاكو مثلاً) بقيمها المطلقة عند تطبيق العلاقات التالية:

- الجهد القاطع عند المسند A: $V_A = \frac{wL}{2} + \frac{M_w - M_e}{L}$
- الجهد القاطع عند المسند B: $V_B = -\frac{wL}{2} + \frac{M_w - M_e}{L}$
- الجهد القاطع في الفتحة: $V_x = \frac{wL}{2} - wx + \frac{M_w - M_e}{L}$
- يكون الجهد القاطع معدوماً عند الموقع: $x_o = \frac{L}{2} + \frac{M_w - M_e}{wL} \Leftrightarrow V_x = 0$

✓ حساب ردود الأفعال:

- رد فعل المسند الطرفي (المسند A ): $R_A = V_A$ ، ويكون رد فعل المسند الوسطي (المسند B مثلاً – الجائز مكون من فتحتين AB&BC): $R_B = V_{AB} + V_{BC}$

✓ حساب عزوم الانعطاف:

- العزم عند المسند A: $|M_w|$
- العزم عند المسند B: $|M_e|$
- العزم في الفتحة: $M_x = \frac{wLx}{2} - \frac{wx^2}{2} - M_w + \frac{(M_w - M_e)}{L}x$
- ويكون العزم معدوماً عند المواقع: $x_1, x_2 = \frac{V_A \pm \sqrt{\overline{V_A}^2 + 2wM_w}}{w} \Leftrightarrow M_x = 0$

✓ قيم خاصة للعزوم:

- حالة فتحة مستقلة: $x = \frac{L}{2} \Rightarrow M_o = \frac{wL^2}{8}$
- العزم في وسط فتحة مستمرة: $x = \frac{L}{2} \Rightarrow M = M_o - \frac{M_w + M_e}{2}$
- العزم الأعظمي في فتحة مستمرة:

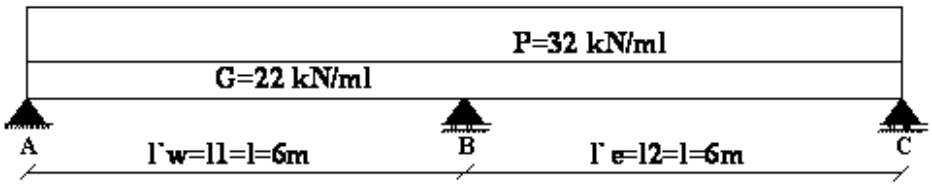
$$x = x_0 = \frac{L}{2} + \frac{M_w - M_e}{wL} \Rightarrow \begin{cases} V = 0 \\ M = M_t = M_{\max} \end{cases}$$

$$M_t = M_o - \frac{M_w + M_e}{2} + \frac{(M_w - M_e)^2}{2wL^2}$$

**7-8- دراسة جائز بفتحتين وفق طريقة العوامل التقريبية و طريقة كاكو**

لدينا الجائز المبين في الشكل التالي، مجازات فتحاته متساوية $l = 6m$ ، وخاضع لحمولات دائمة، متضمنة وزنه الذاتي، وإضافية موزعة بانتظام. إذا علمت أن شدة هذه الحمولات الاستثمارية (بدون تصعيد):

$$G = 22kN/ml \ \& \ P = 32kN/ml$$




والمطلوب:

ارسم مغلف القوى الداخلية (عزم و قص) ومن ثم احسب ردود أفعال المساند.

**الحل:**

**1) الدراسة وفق طريقة العوامل التقريبية (الواردة في الكود السوري الأساس):**

تعطي هذه الطريق القيم المميزة التصميمية، بالتالي تشكل بحد ذاتها مغلفاً للقوى الداخلية الناجمة عن الحمولات المطبقة. وقبل حساب قيم القوى الداخلية يتوجب تحديد قيمة المجاز الفعال لكل فتحة وفق ما ورد في الكود، ولكننا سنعتمد القيمة $L = 6m$ في مثالنا هذا.

نحدد قيم الحمولات المصعدة:

$$w_U = 1.4G + 1.7P = 1.4 \times 22 + 1.7 \times 32 = 30.8 + 54.4 = 85.2kN/ml$$

$$\frac{P_U}{G_U} = \frac{54.5}{30.8} = 1.77 < 2 \quad O.K.$$

$$\frac{\Delta L}{L_{\max}} = \frac{6-6}{6} = 0 < 0.25 \quad O.K.$$

والحمولات موزعة بانتظام، بالتالي يمكن تطبيق هذه الطريقة في حساب الجوائز.

**مغلف العزوم:**

- قيمة العزم التصميمي السالب عند المسند اليساري $(A)$ :

$$M_{uA} = -\frac{w_u L^2}{24} = -\frac{85.2 \times 6^2}{24} = -127.8kNm$$

- قيمة العزم التصميمي السالب عند المسند اليميني $(C)$ :

$$M_{UC} = -\frac{w_u L^2}{24} = -\frac{85.2 \times 6^2}{24} = -127.8kNm$$

- قيمة العزم التصميمي السالب عند المسند الوسطي $(B)$ :

$$M_{uB} = -\frac{w_u L^2}{9} = -\frac{85.2\times 6^2}{9} = -340.8kNm$$

- قيمة العزم التصميمي الموجب في الفتحة $(AB)$ :

$$M_{uAB} = \frac{w_u L^2}{11} = \frac{85.2\times 6^2}{11} = +278.8kNm$$

- قيمة العزم التصميمي الموجب في الفتحة $(BC)$ :

$$M_{uBC} = \frac{w_u L^2}{11} = \frac{85.2\times 6^2}{11} = +278.8kNm$$

- قيمة العزم الموجب في حالة فتحة مستقلة (استناد بسيط) :

$$M_{U0} = \frac{w_u L^2{}_{AB}}{8} = \frac{w_u L^2{}_{BC}}{8} = \frac{85.2\times 6^2}{8} = +383.4kNm$$

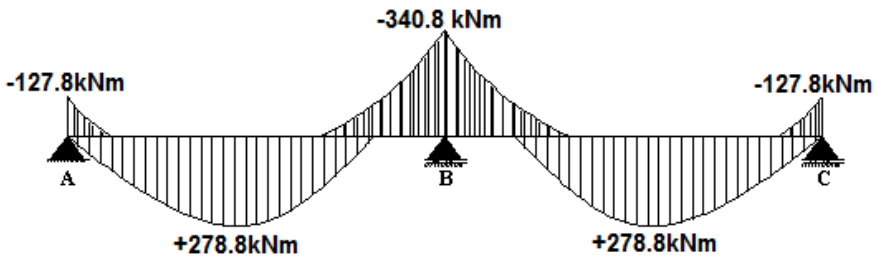
نرسم مخطط العزم، وفي هذه الحالة يجب الانتباه إلى ضرورة تحديد أطوال منطقة العزم السالب عند المساند بحيث لا تقل عن المحددة في الكود الأساس وملحقة رقم /3/. وفي حالتنا هذه نلاحظ أن طول هذه المنطقة يجب ألا يقل عن:

- عند المسند الطرفي $(A,B)$:

$$\geq \left(\frac{L_{AB}}{4};\frac{L_{BC}}{4}\right)+b_{A,C} = \frac{600}{4}+b_{A,C} = 150cm+b_{A,C}$$

- عند المسند الوسطي $(C)$:

$$\geq \max\left(\frac{L_{AB}}{3};\frac{L_{BC}}{3}\right)\times(2)+b_{A,C} = \frac{600}{3}\times 2+b_{A,C} = 400cm+b_{A,C}$$




**مغلف الجهود القاطعة (قوى القص):**

- القص عند المسند اليساري للفتحة $(AB)$ والمسند اليميني للفتحة $(BC)$:

$$V_{AB} = 0.9\frac{w_u L}{2} = 0.9\times\frac{85.2\times 6}{2} = 230kN$$

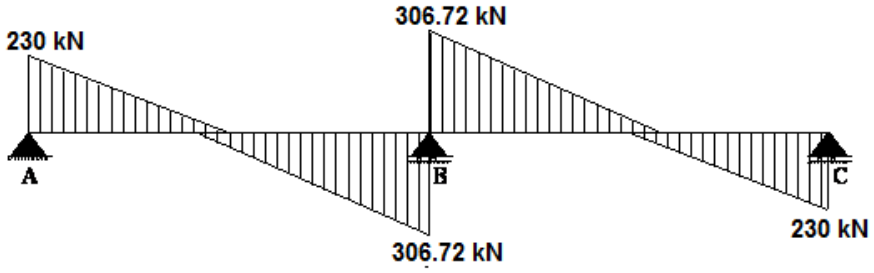
- القص عند المسند اليميني للفتحة $(AB)$ والمسند اليساري للفتحة $(BC)$:

$$V_{BA} = 1.2\frac{w_u L}{2} = 1.2\times\frac{85.2\times 6}{2} = 306.72kN$$

**ردود الأفعال:**

- المسندين الطرفيين $(A\&C)$: $R_A = R_C = 0.45 w_u L = 0.45 \times 85.2 \times 6 = 230 kN$
- المسند الوسطي $(B)$: $R_B = 1.15 w_u L = 1.15 \times 85.2 \times 6 = 587.88 kN$

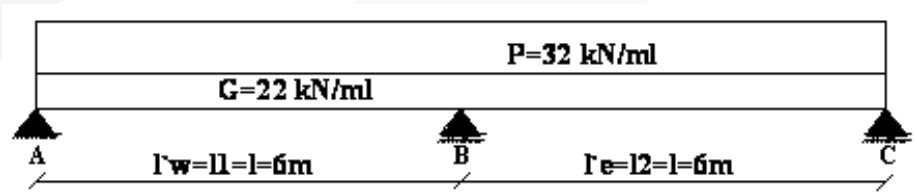
أخيراً نرسم مغلف القوى القاصة:



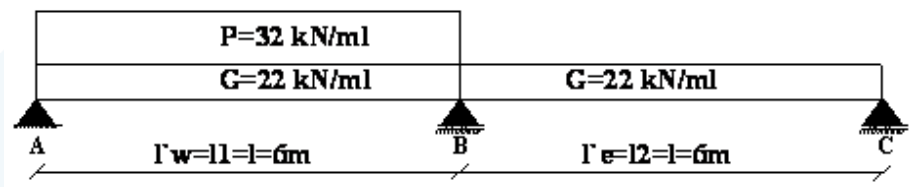

**2) الدراسة وفق طريقة كاكو:**

في البداية، يجب التنويه إلى أننا سنعتمد نفس المجاز المعتمد في الطريقة السابقة، بالرغم من أنه يجب التمييز بين القيمتين: في حالة الطريقة التقديرية يجب اعتماد المجاز المحدد من قبل الكود، أما في طريقة كاكو فيجب اعتماد طول الفتحة الحر أي بين وجوه المساند، وفي حالتنا هذه $L = 6m$.

**حالة تحميل $(1)$:**




**حالة تحميل $(2)$:**




**أ- مخططات العزم – حالة تحميل $(1)$:**

- أطوال الفتحات الوهمية: $L'_w = L'_e = L = 6m$
- الحمولة الإضافية المصعدة:

$$w_{uw} = w_{ue} = w_u = G_u + P_u = 30.8 + 54.4 = 85.2 kN/ml$$

- العزم الأعظمي في المسند الوسطي $(B)$: من علاقة كاكو

$$M_{uB}=-\frac{w_{uw}L_w'^3+w_{ue}L_e'^3}{8.5(L_w'+L_e')}=-\frac{w_uL^2}{8.5}=-\frac{85.2\times6^2}{8.5}=-360.85kNm$$

- العزم في منتصف الفتحة $(AB\ or\ BC)$:

$$M_{u(l/2)}=M_{uO}-\frac{M_{uw}+M_{ue}}{2}=383.4-\frac{0+360.85}{2}=203kNm$$

علماً أن قيمة العزم الموجب في حالة فتحة مستقلة (استناد بسيط) :

$$M_{u0}=\frac{w_uL^2{}_{AB}}{8}=\frac{w_uL^2{}_{BC}}{8}=\frac{85.2\times6^2}{8}=+383.4kNm$$

- العزم الأعظمي في الفتحة $(AB\ or\ BC)$:

$$x=x_O=\frac{L}{2}+\frac{M_{uw}-M_{ue}}{w_uL}\Rightarrow V_u=0\,;\,M_u=M_{u\max}$$

$$x=x_O=\frac{6}{2}+\frac{0-360.85}{85.2\times6}=2.29m$$

$$M_{u\max}=M_{uO}-\frac{M_{uw}+M_{ue}}{2}+\frac{(M_{uw}-M_{ue})^2}{2w_uL^2}$$

$$M_{u\max}=383.4-\frac{0+360.85}{2}+\frac{(0-360.85)^2}{2\times85.2\times36}$$

$$M_{u\max}=224.2kNm$$

**ب- مخططات العزم – حالة تحميل $(2)$:**

- أطوال الفتحات الوهمية: $L_w'=L_e'=L=6m$
- الحمولة الإضافية المصعدة:

$$w_{uw}=w_u=G_u+P_u=30.8+54.4=85.2kN/ml$$
$$w_{ue}=G_u=30.8kN/ml$$

- العزم الأعظمي عند المسند الوسطي $(B)$:

$$M_{uB}=-\frac{w_{uw}L_w'^3+w_{ue}L_e'^3}{8.5(L_w'+L_e')}=-\frac{85.2\times6^3+30.8\times6^3}{8.5(6+6)}=-245.65kNm$$

- العزم في منتصف الفتحة $(AB)$:

$$M_{u(l/2)}=M_{uO}-\frac{M_{uw}+M_{ue}}{2}=383.4-\frac{0+245.65}{2}=260.58kNm$$

- العزم الأعظمي في الفتحة $(AB)$:

$$x = x_O = \frac{L}{2} + \frac{M_{uw} - M_{ue}}{w_u L} \Rightarrow V_u = 0\,;\, M_u = M_{u\max}$$

$$x = x_O = \frac{6}{2} + \frac{0 - 245.65}{85.2 \times 6} = 2.52m$$

$$M_{u\max} = M_{uO} - \frac{M_{uw} + M_{ue}}{2} + \frac{(M_{uw} - M_{ue})^2}{2 w_u L^2}$$

$$M_{u\max} = 383.4 - \frac{0 + 245.65}{2} + \frac{(0 - 245.65)^2}{2 \times 85.2 \times 36}$$

$$M_{u\max} = 270.41 kNm$$

- العزم في منتصف الفتحة $(BC)$:

$$M_{uO} = \frac{30.8 \times 36}{8} = 138.6 kNm$$

$$M_{u(l/2)} = M_{uO} - \frac{M_{uw} + M_{ue}}{2} = \frac{30.8 \times 36}{8} - \frac{245.65 + 0}{2} = 15.78 kNm$$

- العزم الأعظمي في الفتحة $(BC)$:

$$x = x_O = \frac{L}{2} + \frac{M_{uw} - M_{ue}}{w_u L} \Rightarrow V_u = 0\,;\, M_u = M_{u\max}$$

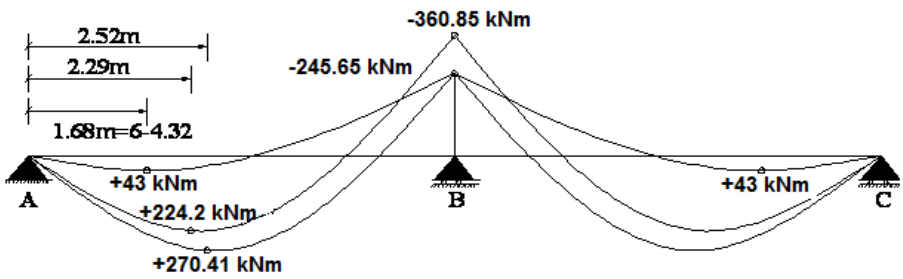
$$x = x_O = \frac{6}{2} + \frac{245.65 - 0}{30.8 \times 6} = 4.33m \rightarrow (6 - 4.33 = 1.67m)$$

$$M_{u\max} = M_{uO} - \frac{M_{uw} + M_{ue}}{2} + \frac{(M_{uw} - M_{ue})^2}{2 w_u L^2}$$

$$M_{u\max} = 138.6 - \frac{245.65 + 0}{2} + \frac{(245.65 - 0)^2}{2 \times 30.8 \times 36}$$

$$M_{u\max} = 43 kNm$$

نرسم مخططات العزوم الموافقة لحالات التحميل السابقة، ومن ثم نرسم مغلف العزوم:




**ت- مخططات القص:**

- القص الأعظمي عند المسند $(A)$- الفتحة $(AB)$ - حالة تحميل $(2)$:

$$V_{uA} = \frac{w_u L}{2} + \frac{M_{uw} - M_{ue}}{L} = \frac{85.2 \times 6}{2} + \frac{0 - 245.65}{6} = 214.66 kN$$

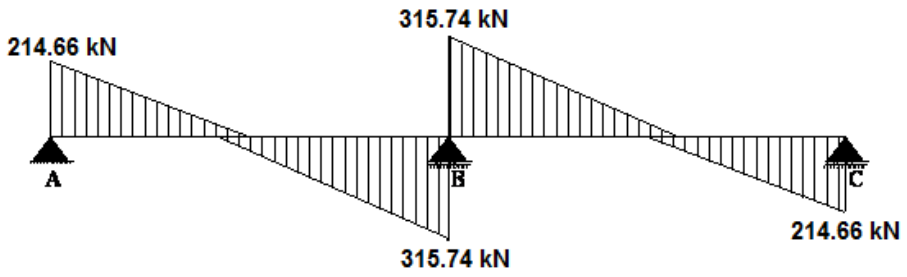
- القص الأعظمي على يسار المسند $(B)$ - الفتحة $(AB)$ - حالة تحميل $(1)$:

$$V_{uBA} = -\frac{w_u L}{2} + \frac{M_{uw} - M_{ue}}{L} = -\frac{85.2 \times 6}{2} + \frac{0 - 360.85}{6} = 315.74kN$$

- بسبب التناظر، يكون لدينا:

$$V_{uA} = V_{uC} = 214.66kN$$
$$V_{uBA} = V_{uBC} = 315.74kN$$

بالتالي، نرسم مغلف الجهود القاطعة.

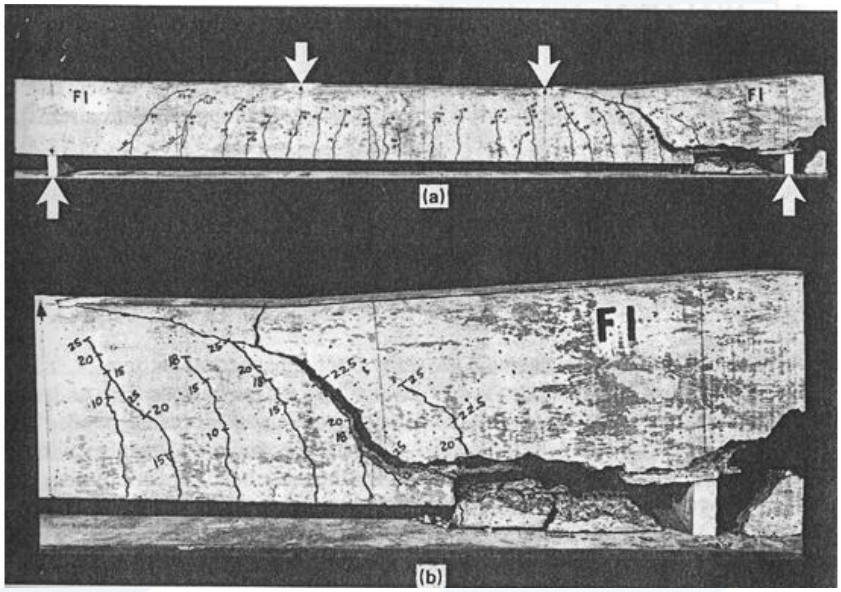



**ث- ردود الأفعال:**

$$R_{uA} = R_{uC} = 214.66kN$$
$$R_{uB} = 2 \times 314.74 = 631.48kN$$
$$\sum R_i = 2 \times 214.66 + 631.48 = 1060.8kN \geq 85.2 \times 12 = 1022.4kN$$

## 7-9- دراسة المقاطع الخاضعة لقص حدي $(V_u)$

يبين الشكل (7-18) آلية انهيار جائز بيتوني بالقص: (a) منظر عام لجهة التضررات في الجائز، و (b) تفصيلة توضح الشق القطري عند المسند اليميني.



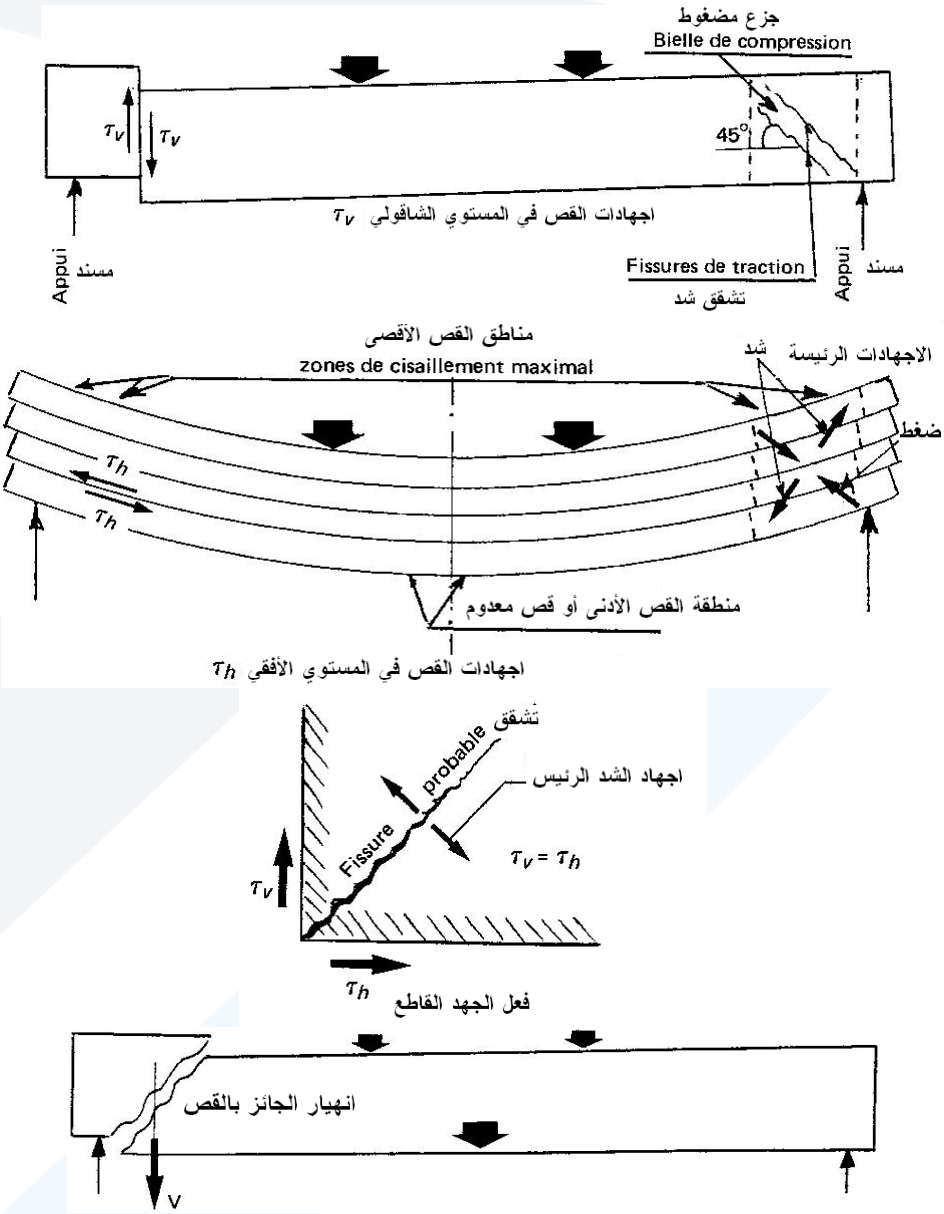

الشكل (7-18): آلية انهيار جائز بيتوني بالقص

أما الشكل (7-19)، فإنه يظهر مسارات الاجهادات في جائز مقطعه مستطيل (في المرحلة الأولى - مرونة)، ومحمل بحمولة موزعة بانتظام.

الشكل (7-19)

وتأكيداً لما ذكرناه سابقاً حول القص، نبين في الأشكال التالية المفردات المرتبطة بالقص عند دراسة جائز بيتوني معرض لحمولات خارجية:

- إجهادات القص في المستوى الأفقي والشاقولي $(\tau_h \,\&\, \tau_v)$، ومناطق القص الأدنى والأقصى.
- جزوع مضغوطة، وتشققات الشد المائلة بزاوية $(45^\circ)$ عن المحور الوسطي للجائز.
- الاجهادات الرئيسة للشد والضغط.
- فعل الجهد القاطع، والانهيار الناجم عنه.

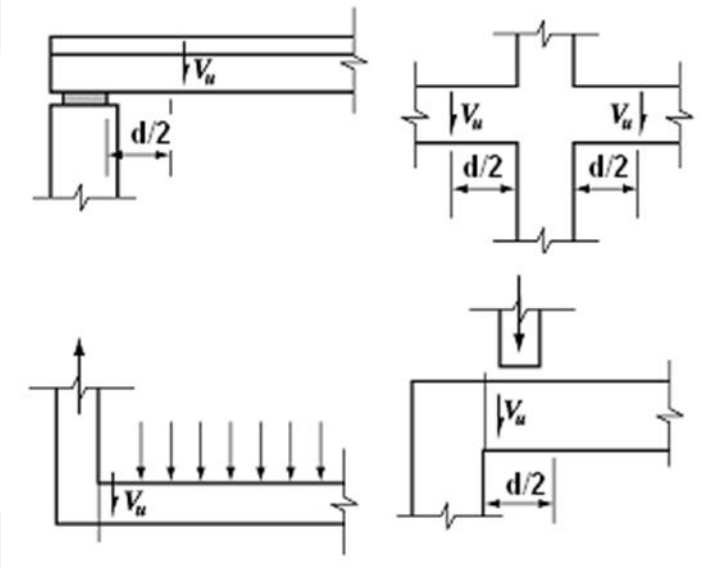



- **إجهادات القص الحدية** $(\tau_u)$:

يتم حساب إجهاد القص الحدي (الحساب الافتراضي)، من العلاقة التالية:

$$\tau_U = \frac{V_u}{\Omega b_w d} = \frac{V_u}{0.85 b_w d}$$

وتحدد قوة القص الحدية $(V_u)$، اعتماداً على مغلف القص (الجهد القاطع) المنجز وفقاً للتراكيب وحالات التحميل المعتمدة في التحليل. ونشير الى أنه في حالة الركائز المباشرة تحت الجوائز، حيث ينجم عن هذه الوضعية، انضغاط عمودي على الحافة السفلى للجائز، فيسمح باعتماد قيمة للقص الحدي الحسابي على مسافة من وجه الركيزة الداخلي مساوية إلى نصف الارتفاع الفعال للجائز $(l = 0.5d)$. وعندما يتم نقل الحمل من الأسفل (جائز مقلوب مثلاً)، يؤخذ القص الحدي الحسابي عند وجه الركيزة مباشرة، وفق الشكل (7-20).




الشكل (7-20): المواقع الافتراضية للقص الحدي

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

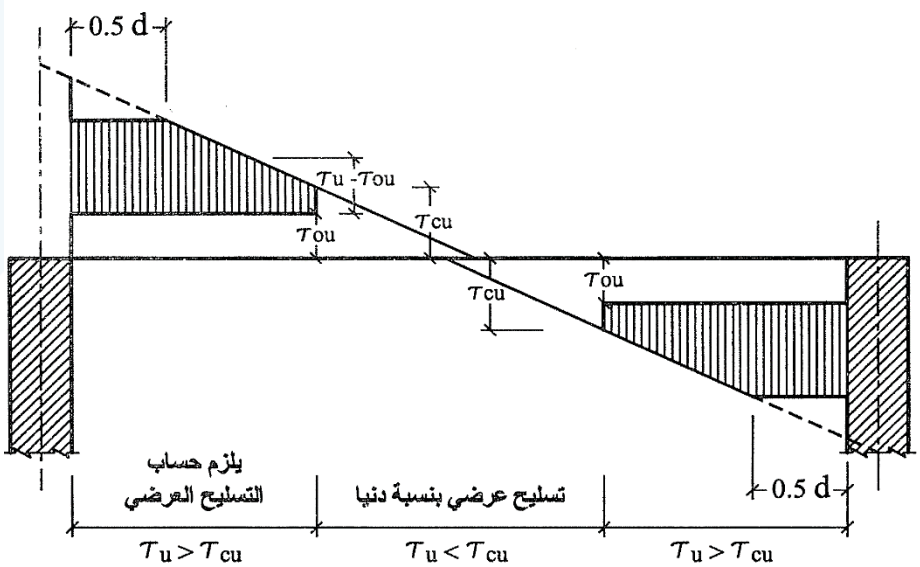
يجب ألا تزيد إجهادات القص الحدية في المقطع البيتوني عن حد معين $(\tau_{u\max})$ ، يحسب من العلاقات التالية، وفي حال عدم تحقيق هذا الشرط يجب تغيير أبعاد المقطع.

- حالة تسليح عرضاني قائم: $\tau_{u\max}(MPa) = 0.65\sqrt{f'_c}(MPa)$
- حالة تسليح عرضاني قائم ومائل (قضبان تسليح مكسحة بزاوية $(45^\circ)$ مع تسليح الشد الرئيس):

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

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

يبين الشكل (7-21)، كيفية افتراض إجهادات القص التصميمية اللازمة لحساب التسليح العرضي المقاوم للقص.




الشكل (7-21): مخطط افتراض اجهادات القص التصميمية بهدف حساب تسليح القص

يوضح الشكل (7-22) التباعد الأعظمي للتسليح العرضاني في الجائز. وأما الشكل (7-23)، يمكننا من فهم فعل هذا التسليح وآلية مقاومته 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 $(\alpha)$ عن التسليح الطولي، يؤخذ الحد الأدنى لمقطعها:

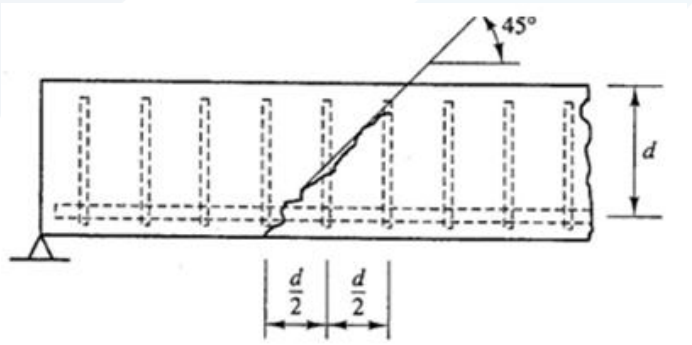
$$A_{st} = \frac{(\tau_u - \tau_{ou})}{f_y(\sin\alpha + \cos\alpha)} b_w s$$

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

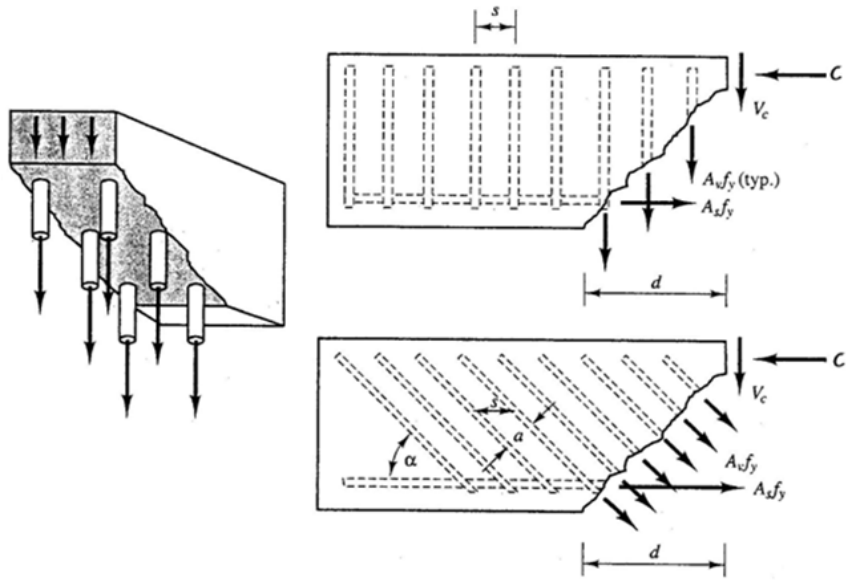
حيث $s$ : التباعد بين التسليح العرضاني.

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

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




الشكل (7-22): التباعد الأعظمي للتسليح العرضي




الشكل (7-23): آلية مقاومة التسليح العرضي للقص

## 7-10- دراسة المقاطع الخاضعة لفتل حدي $(T_u)$

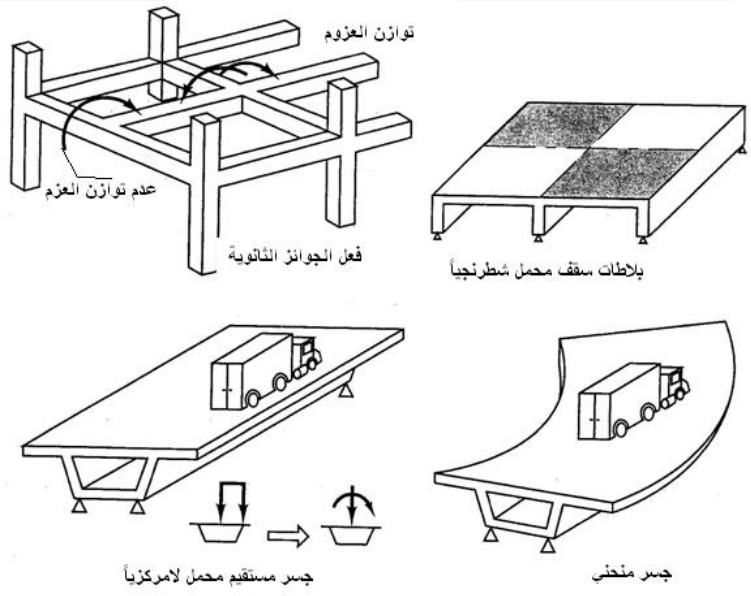
### 7-10-1- مقدمة – عموميات:

يتأثر سلوك العناصر البيتونية المسلحة المعرضة لعزم فتل $(T_u)$، بعدة عوامل، أهمها: شكل المقطع، كمية وترتيب التسليح، الخواص الميكانيكية للبيتون وفولاذ التسليح، طبيعة ومقدار القوى الداخلية الأخرى التي يمكن أن ترافق هذا الفتل $((M_u , V_u , N'_u , N_u))$. في الواقع يمكن أن يكون الفتل عنصراً أساسياً في تأمين التوازن الستاتيكي أو الديناميكي لهذه العناصر، بالتالي يجب أن نأخذه بالحسبان عند التصميم.

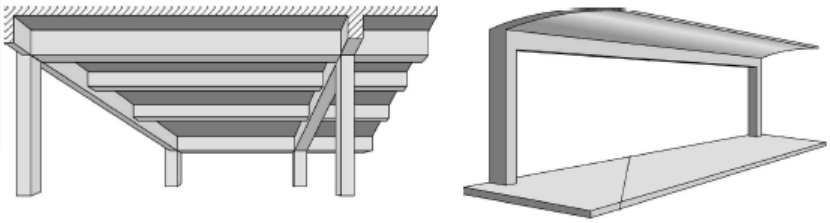
ونذكر بعض الحالات التي يمكن أن يكون فيها عزم الفتل مؤثراً في عملية التصميم (الشكل 7-24):

- الجوائز الحلقية أو أجزاء منها، إطارات فراغية أو مستوية أفقية.
- الجوائز الحاملة للشرفات، الجوائز الطرفية الحاملة للبلاطات.
- البلاطات المحملة بشكل شطرنجي، وبلاطات وجوائز جسور الطرق.

في الواقع، يظهر الفتل في العناصر بسبب وجود ممانعة لدورانها (صلابة فتلية) من قبل الأعمدة ذات الصلابات الكبيرة، فتتوزع عزوم الانعطاف السالبة للبلاطات على شكل فتل على كامل طول الجائز الطرفي بشدات معينة، وتؤثر عزوم الفتل عند نقاط اتصال الجائز الطرفي برؤوس الأعمدة على شكل عزوم انعطاف.



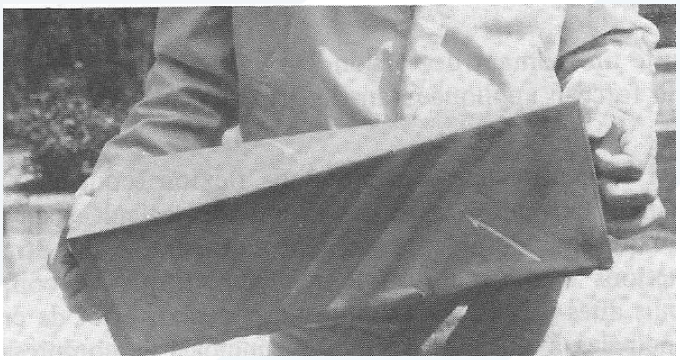

الشكل (7-24): بعض الحالات التي يمكن أن يكون فيها عزم الفتل مؤثراً في عملية التصميم



تابع الشكل (7-24)

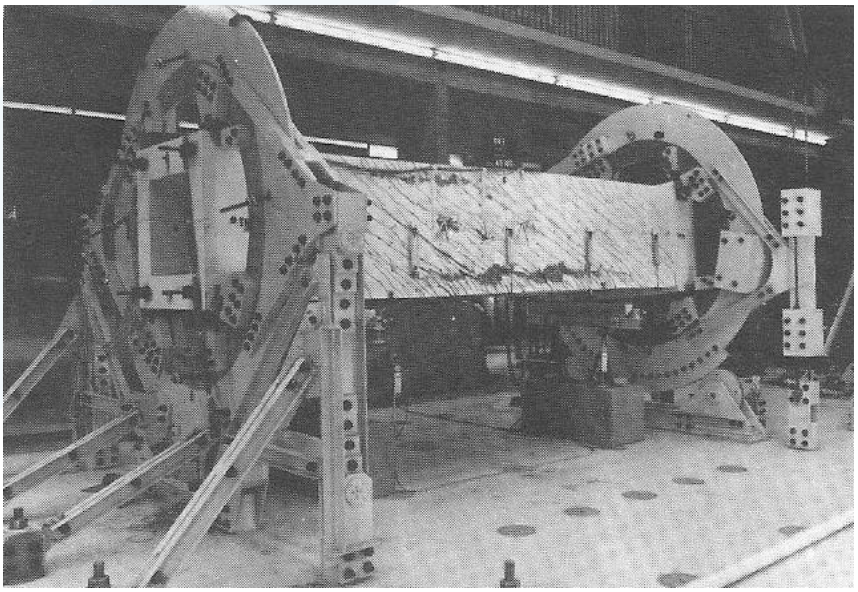
وفي كل الأحوال، وحسب طبيعة المسألة، يتم رسم مخطط الفتل على كامل طول العنصر المدروس، استناداً لطرائق التحليل المبسط أو الدقيق، ليصار إلى تصميمه من حيث الأبعاد والتسليح، ليقاوم الفتل وبقية القوى الداخلية المؤثرة.
عند تعرض عنصر ما إلى فتل صاف، وقبل ظهور التشققات تنشأ فيه إجهادات مماسية موزعة على محيطه، بالتالي تشكل إجهادات شد وضغط قطريين، بحيث يتولد إجهادات رئيسة شاده بميل $(45^\circ)$ مع اتجاه الدوران، وأما الاجهادات الضاغطة فتكون بميل $(135^\circ)$ بعكس اتجاه الدوران.

وتحسب هذه الاجهادات من العلاقة التالية: $\left(\tau_t = \frac{T}{W_t}\right)$، حيث: $T$ تمثل عزم الفتل المطبق على المقطع، و $W_t$ العزم المقاوم على الفتل. ويمكن العودة إلى قوانين مقاومة المواد لدراسة توزيع الاجهادات المماسية على مقطع العنصر، علماً أن الاجهادات الأعظمية تكون عند الأطراف، تكون معدومة في مركز العنصر وفي زواياه.
يوضح الشكل (7-25) تشوهات عينة موشورية من البيتون خاضعة لفتل، وذلك قبل أن تنهار.



الشكل (7-25): عينة موشورية من البيتون خاضعة لفتل

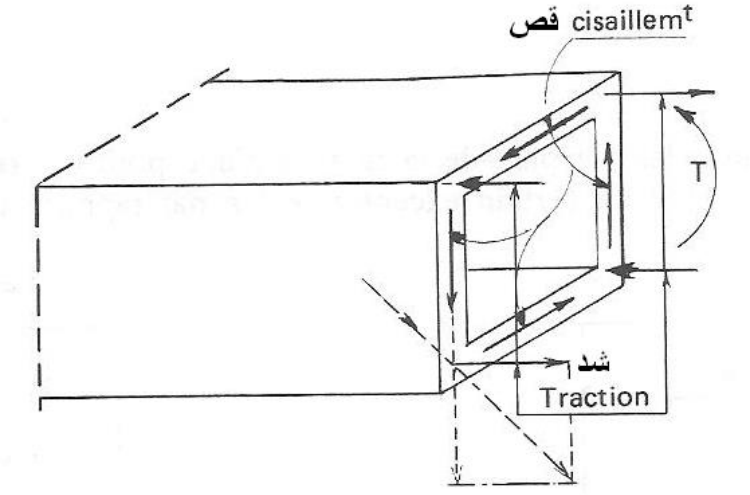
وعندما تزيد قيمة إجهادات الشد المائلة الناجمة عن الفتل، مقاومة البيتون على الشد فتبدأ التشققات المائلة بالظهور بزاوية $(45^\circ)$ على كامل طول العنصر ومحيطه، مسببة انهياره، كما هو مبين في الشكل (7-26).



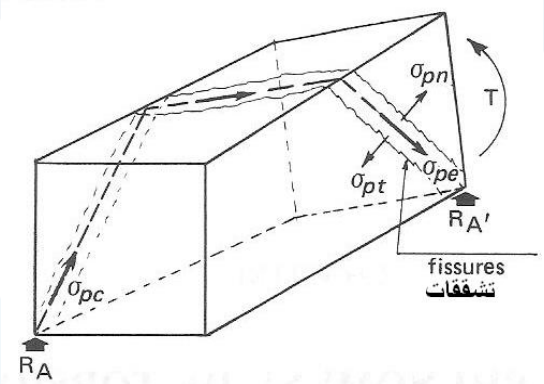
الشكل (7-26): انهيار جائز بيتوني صندوقي مربع، معرض لفتل

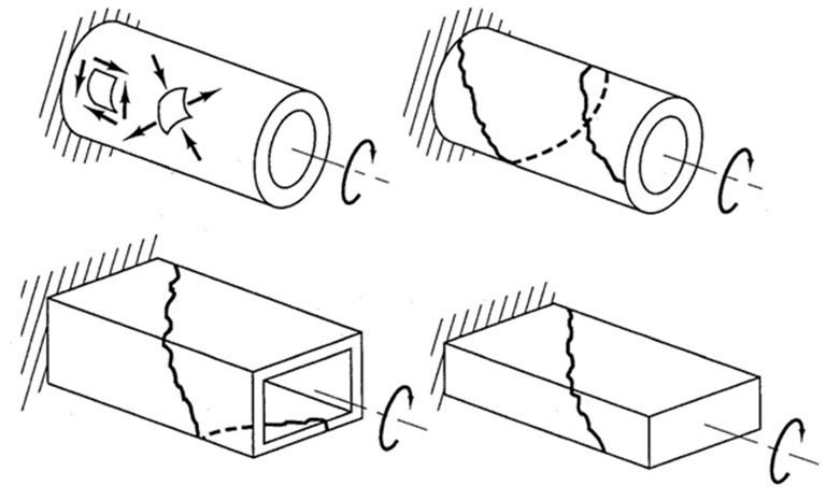
ويبين الشكل (7-27) مخطط الاجهادات الداخلية الناجمة عن الفتل.

هذا ويظهر الشكل (7-28) التشققات الناجمة عن الفتل لجوائز بمقاطع مختلفة.



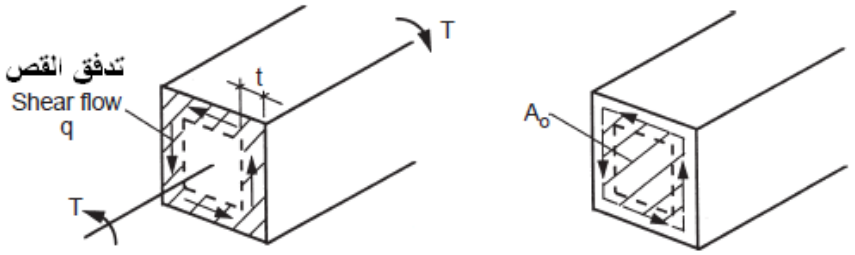

الشكل (7-27): الاجهادات الداخلية الناجمة عن الفتل



الشكل (7-28): التشققات الناجمة عن الفتل

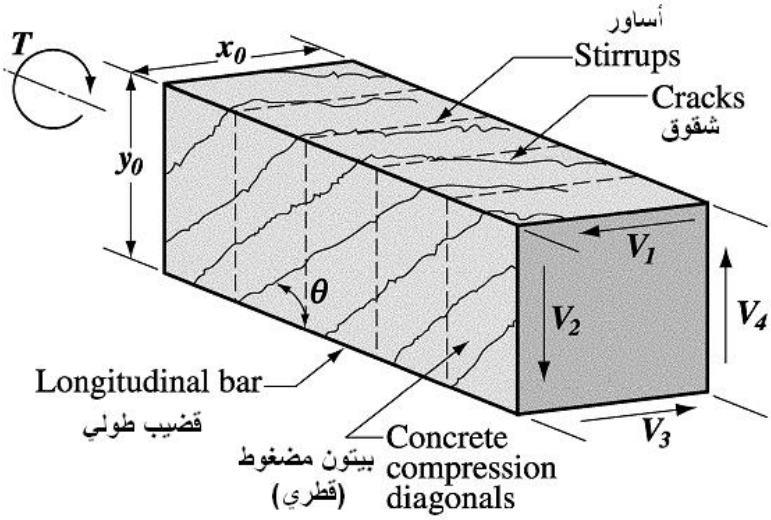
في العناصر المتشققة نتيجة تأثير فتل صاف، أثبتت التجارب أن الطبقة الرقيقة الخارجية هي التي تشارك في عمل العنصر على الفتل، بحيث يمكننا اعتبار العناصر ذات المقاطع المستطيلة أو ما شابهها عناصر ذات مقاطع صندوقية ذات جدران رقيقة (الشكل 7-29).




الشكل (7-29)

كما أن مقاومة العنصر على الفتل الصافي تنخفض بوجود التشققات بشكل كبير، وبما أن مقاومة البيتون على الشد ضعيفة فإنه يلزم تسليح خاص بالفتل، ويمكن أن يأخذ هذا التسليح الخاص إحدى الشكلين التاليين:

- تسليح حلزوني على كامل طول العنصر باتجاه اجهادات الشد المائلة في الحالات الممكنة مثل المقاطع الدائرية أو ما يشبهها. وعند وجود فتل متناوب، يستخدم تسليحان حلزونيان الأول يميني والأخر يساري.
- تسليح طولي وعرضي (قضبان طولية وأساور عرضية مغلقة)، وهذا الأسلوب هو المفضل لسهولة تنفيذه ولإمكانية جمعه مع تسليح القص و الانعطاف (الشكل 7-30).

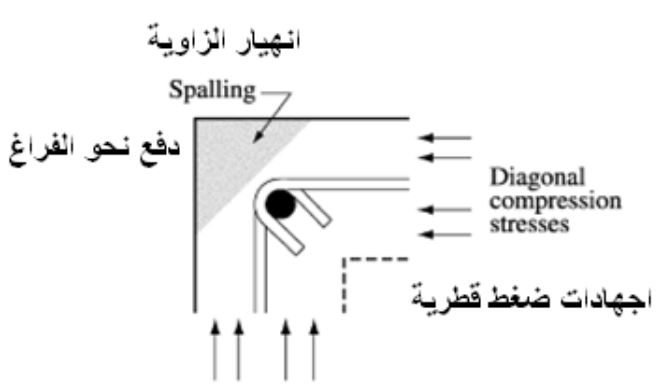



الشكل (7-30): التسليح الطولي والعرضي الخاص بمقاومة الفتل (المفضل)

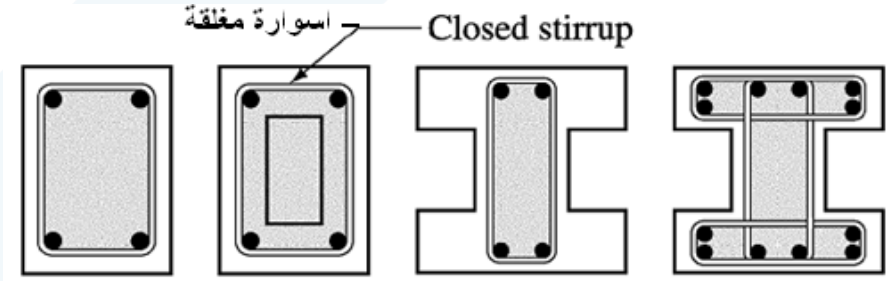
**7-10-2- أنماط انهيار العناصر الخاضعة لفتل صاف:**

بينت الدراسات والأبحاث التي جرت حول سلوك العناصر الخاضعة لفتل، أنه يمكن التمييز بين أربعة أنماط لانهيار هذه العناصر، يمكن تلخيصها كما يلي:

1. انهيار على الشد: في حال تسليح طولي ضعيف خاص بالفتل، تولد الاجهادات الشادة الرئيسة الناجمة عن الفتل، في هذا التسليح، قوى تؤدي إلى انهياره مع بقاء البيتون المضغوط سليماً بالرغم من تشكل إجهادات إضافية كبيرة ناجمة عن هذا الانهيار.
2. انهيار البيتون على الضغط: تتعلق الاجهادات في المقطع بنوع التسليح الخاص بالفتل، فبوجود تسليح طولي وعرضي يحدث تشوهات ودورانات في المقطع أكبر منها في حالة اعتماد التسليح الحلزوني مما يسبب إجهادات ضاغطة إضافية في البيتون، كما وتنخفض مقاومة البيتون في هذه المناطق، وبالتالي ينهار العنصر عند الوصول لإجهادات ضغط أكبر من مقاومة البيتون على الضغط.
3. انهيار حواف المقاطع المضلعة: في هذه الحالة، يلاحظ أن القوى الضاغطة الناجمة عن الفتل تغير اتجاهاتها عند التقاء مسارها مع حواف المقطع، مما يشكل قوى دفع نحو الفراغ (خارج المقطع) مسببة انهيار هذه الزوايا.




4. انهيار مناطق تثبيت فولاذ التسليح الخاص بالفتل: ينهار العنصر نتيجة انسحاب التسليح الطولي من مناطق التثبيت أو عندما لا تكون الأساور مغلقة بشكل جيد وتحيط بالمقطع بشكل كامل كما توصي به الكودات الخاصة بالبيتون المسلح.




**7-10-3- إجهادات القص الافتراضية $(\tau_{tu})$ 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:

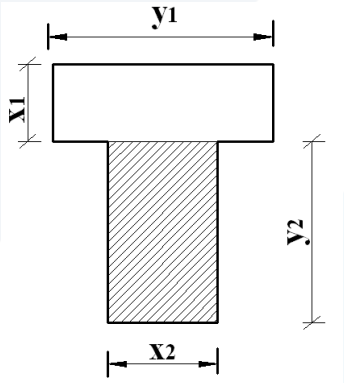
- في حالة المقاطع المستطيلة والمقاطع ذات الأجنحة، تؤخذ قيمة الاجهاد المماسي الافتراضي $(\tau_{tu})$ من العلاقة التالية: $\tau_{tu} = \dfrac{3T_u}{\sum x^2 y}$

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 $(\tau_{tu})$ من العلاقة التالية: $\tau_{tu} = \dfrac{3.2T_u}{d_k^{\,3}}$

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 $(d)$.

### 7-10-4- الحد الأدنى للتسليح العرضي في حالة الفتل الحدي $(T_u)$:

يهمل تأثير الفتل في الحسابات، عندما تكون قيمة الاجهاد المماسي الافتراضي $(\tau_{tu})$ 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: $A_{st\,min} = \dfrac{0.35}{f_y} b\,s$

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

### 7-10-5- إجهاد القص الحدي الأعظمي الناتج عن الفتل والمسموح تشكله في المقطع $(\tau_{tu\,max})$:

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

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

### 7-10-6- 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:

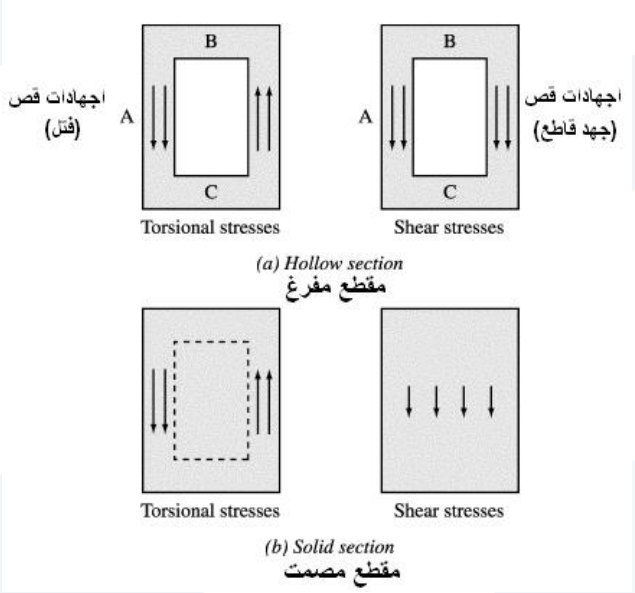
$$A_{sl} \ge \begin{cases} * \quad A_{sl1} = 2 A_{st}\left(\frac{x_1 + y_1}{s}\right), \; Torsion\ only \\ * \quad A_{sl2} = \left[\frac{2.8 x s}{f_y}\left(\frac{\tau_{tu}}{\tau_{tu} + \tau_u}\right) - 2 A_{st}\right]\left[\frac{x_1 + y_1}{s}\right], \; Torsion\ \&\ Shear \\ \quad with\ 2 A_{st} \ge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

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 7-31)، 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 سابقاً، وقيمة عظمى من العلاقة التالية لحالة الفتل:

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

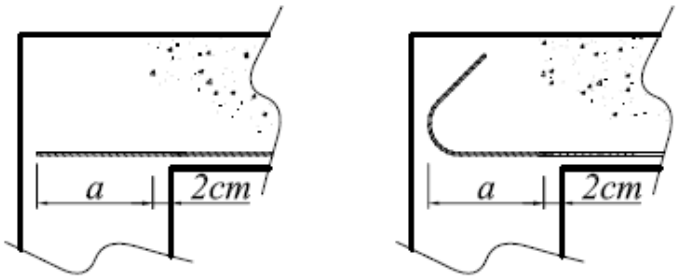



الشكل (7-31): اجهادات القص الناجمة عن القص والفتل في مقطع ما

**7-11- تحقيقات خاصة بمناطق الاستناد**

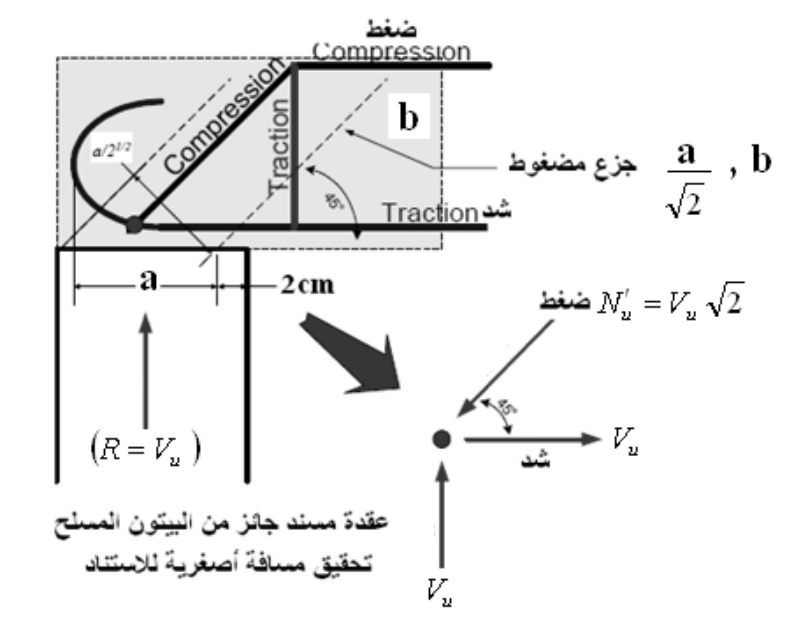
**7-11-1- أبعاد المسند:**

تحصل عملية نقل الجهود في نهاية الجائز بالقرب من المساند بواسطة جزع بيتوني مضغوط ومائل بزاوية $(45^\circ)$ على المحور الوسطي للجائز، وذلك نتيجة تأثير الجهد القاطع عند المسند $(V_u)$، الذي يولد قوة ضغط حدية تساوي $(N'_u = V_u\sqrt{2})$. من هنا يجب ضمان عدم انهيار هذا الجزع البيتوني على الضغط، وبالتالي تأمين مسافة استناد دنيا مقدارها $(a)$، كما هو مبين في الشكل (7-32). وهذه المسافة تكون عادة أصغر من زراع الرافعة للجائز $(z \approx 0.9d)$.




الشكل (7-32): تأمين مسافة استناد دنيا للجائز

ويوضح الشكل (7-33) حاصل القوى المؤثرة في عقدة مسند طرفي لجائز من البيتون المسلح.




الشكل (7-33): القوى المؤثرة في عقدة مسند طرفي لجائز بيتوني مسلح

بالتالي، يجب التحقق من إجهادات الضغط في الجزء المضغوط، وتأمين مسافة استناد كافية $(a)$، وفق العلاقة التالية:

$$\sigma_{cu} = \frac{V_u\sqrt{2}}{\frac{a}{\sqrt{2}}b} = \frac{2V_u}{ab} \le 0.7(0.85 f'_c) \Rightarrow$$

$$a \ge \frac{2V}{0.7 \times 0.85 \times f'_c \times b}$$

حيث: $b$ تمثل العرض الفعال للجائز، ويؤخذ في هذه الحالة العرض الأصغري.

**7-11-2- قوى الشد في التسليح الطولي السفلي:**

- **حالة مسند طرفي:**

باعتبار أن الجهد القاطع ينتقل إلى المسند عن طريق الجزء البيتوني المائل، فإنه يجب على قضبان التسليح السفلية مقاومة جهد شد مساوي للجهد القاطع، وكذلك تأمين إرسائها في المسند عن طريق أطوال تثبيت مستقيمة أو منحنية. بالتالي يجب الانتباه جيداً عند رفع القضبان الطولية السفلية بهدف مقاومة القص بحيث نترك عدداً كافياً من القضبان، محقق لمقاومة قوى الشد.

ويتم تحديد التسليح اللازم عن طريق العلاقة التالية: $A_{sl} \ge \frac{V_u}{0.9 f_y}$

أما طول التثبيت المستقيم اللازم لإرساء هذا التسليح انطلاقاً من وجه المسند الداخلي، يتم حسابه كما يلي:

$$L_d \ge \frac{V_u}{0.85 n\, p_i\, \tau_{cu}}$$

حيث:

$\tau_{cu} = \Psi_s f_{ct}$ إجهاد التلاحم الحدي.

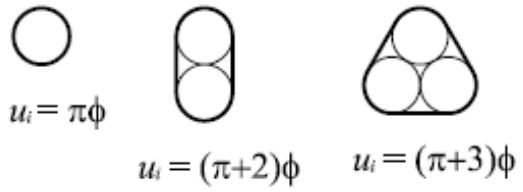
$f_{ct} = 0.45\sqrt{f'_c}\,(MPa)$ مقاومة البيتون للشد البسيط.

$\Psi_s = 1$ حالة قضبان ملساء.

$\Psi_s = 1.5$ لحالة القضبان عالية المقاومة كبيرة التلاحم (محلزنة).

$n$ عدد القضبان أو الحزم.

$p_i$ المحيط المفيد للقضيب أو للحزمة، ويحسب كما هو مبين في الشكل التالي:




عندما يكون $L_d \le a$ ، يكفي تثبيت مستقيم، وإلا يجب تأمين الإرساء عن طريق تثبيت منحني باستخدام عكفات نظامية.

- **حالة مسند داخلي:**

في هذه الحالة، هناك عزم انعطاف حدي في المسند $M^-_u$ ، يسبب قوة شد أو ضغط في التسليح السفلي، من الجهة اليسارية أو اليمينية، تعادل $\left(\frac{M_u}{0.9d}\right)$. وعند حساب مقطع التسليح الطولي السفلي يجب أخذ القيمة الجبرية لهذه القوة، وبالتالي نميز بين الحالتين التاليتين:

- $\left(V_u + \frac{M_u}{0.9d}\right) < 0$ : لا داعي لإجراء أي تحقيق

- $\left(V_u + \frac{M_u}{0.9d}\right) > 0$ : يجب أن نتحقق من أن: $A_{sl} \ge \dfrac{\left(V_u + \frac{M_u}{0.9d}\right)}{0.9\, f_y}$

وكذلك يجب إرساء التسليح بحيث يؤمن مقاومة قوة مقدارها: $V_u + \frac{M_u}{0.9d}$.

ويجب أيضاً التحقق من إجهادات الضغط كما مر معنا سابقاً لحالة المسند الطرفي البسيط وذلك من الجهتين اليمينية واليسارية.

ويتم التحقق من كفاية مقطع المسند $A'_c$ ، بالعلاقة التالية: $\frac{R_u}{A'_c} \le 0.90(0.85 f'_c)$

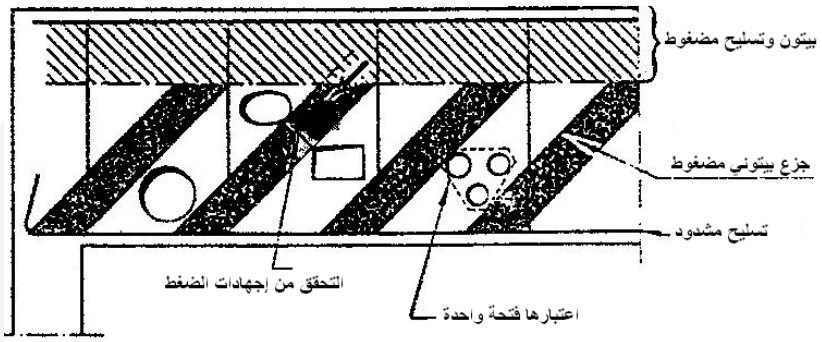
حيث: $R_u$ تمثل رد فعل المسند الكلي الحدي.

## 7-12- الجوائز الحاوية على فتحات

عند دراسة الجوائز البيتونية المسلحة الحاوية على فتحات، فإنه يجب التمييز بين الفتحات الصغيرة والفتحات الكبيرة:

**1- الفتحات الصغيرة:**

نقول عن الفتحات بأنها صغيرة إذا غيرت بشكل طفيف آلية العمل الكلاسيكية. وبالتالي يجب، بالنسبة لجائز ما حاوي على تسليح عرضي قائم، أن توضع هذه الفتحات الصغيرة بين الجزوع البيتونية المضغوطة والقوائم المشدودة (الأساور). وعندما يكون التسليح العرضي مؤلف من نظام مختلط، بمعنى قائم (أساور) و مكسح، فإنه بالإمكان تنفيذ فتحات صغيرة بين التسليح المكسح والقائم والجزوع البيتونية المضغوطة. وفي حال تواجد مجموعة من الفتحات الصغيرة المتقاربة، يعتبر المغلف المحيط لهذه الفتحات كفتحة واحدة فقط. كما هو موضح في الشكل (7-34):




الشكل (7-34): الفتحات الصغيرة في الجوائز

ويجب ضمان عدم انهيار الجزوع البيتونية المجاورة للفتحات، على الضغط الحدي المرتبط بالجهد القاطع $(V_u)$، والمساوي $(N'_u = V_u\sqrt{2})$. ويتم تحقيق ذلك من خلال تأمين سماكة أصغرية لهذا الجزع المضغوط مقدارها $(a)$، وهذا يعني ألا تزيد إجهادات الضغط الحدية عن قدرة تحمل بيتون الجزع على الضغط البسيط، بالتالي نكتب المعادلة التالية:

$$\sigma_{cu} = \frac{V_u\sqrt{2}}{a\,b} \le 0.7(0.85\,f'_c) \Rightarrow$$

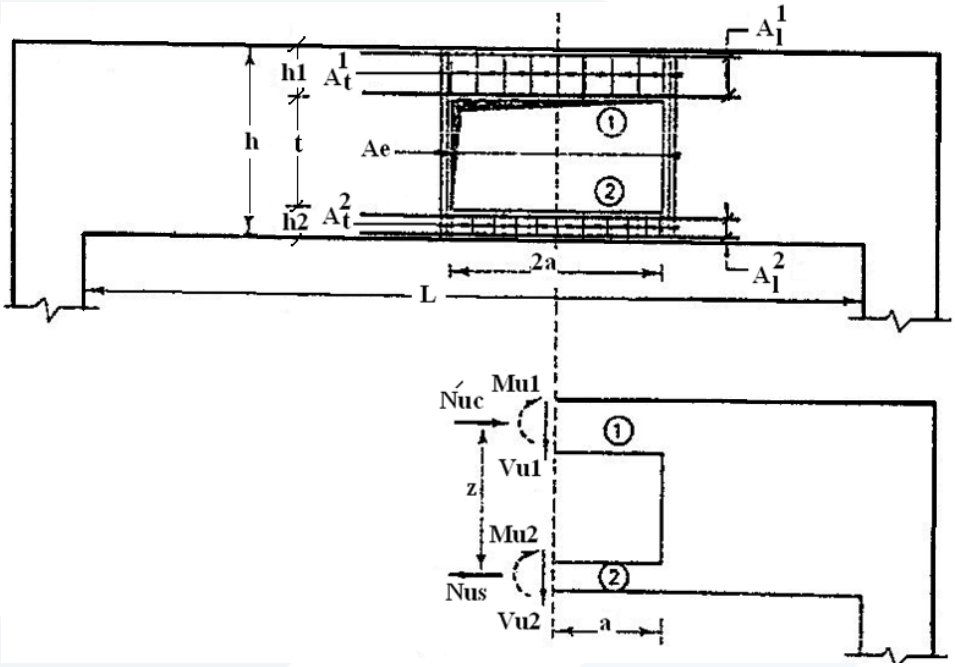
$$a \ge \frac{V\sqrt{2}}{0.7\times 0.85\times f'_c\times b}$$

حيث: $b$ تمثل العرض الفعال للجائز (عند موقع الفتحة).

**2- الفتحات الكبيرة:**

بعكس الفتحات الصغيرة، فإن الفتحات الكبيرة تغير بشكل كبير من سلوك الجوائز البيتونية المسلحة، وهذه الفتحات الكبيرة لا تسمح للجائز أن يعمل كجائز شبكي وذلك على الأقل في مناطق تواجدها.

يوضح الشكل (7-35) جائز بيتوني مسلح حاوي على فتحة كبيرة بأبعاد $(2a\times t)$، وخاضع لعزم انعطاف حدي $(M_u)$، ولجهد قاطع حدي $(V_u)$ في المقطع المعتبر.




الشكل (7-35): جائز حاوي على فتحة كبيرة

يتوزع الجهد القاطع الحدي $(V_u)$، على اللمعتين العلوية $(1)$ والسفلية $(2)$، بشكل يتناسب مع عطالة كل منهما، وفق ما يلي:

$$V_{u1} = V_u \frac{I_1}{I_1 + I_2} = \frac{h_1^{\ 3}}{h_1^{\ 3} + h_2^{\ 3}} V_u$$

$$V_{u2} = V_u \frac{I_2}{I_1 + I_2} = \frac{h_2^{\ 3}}{h_1^{\ 3} + h_2^{\ 3}} V_u$$

حيث: $h_1$ ارتفاع اللمعة العلوية، و $h_2$ ارتفاع اللمعة السفلية.

يولد الجهدان القاطعان $(V_{u1} \& V_{u2})$، إجهادات قص، وتتم مقاومتها بتسليح عرضي قائم وفق حساب كلاسيكي بسيط، لنحصل على:

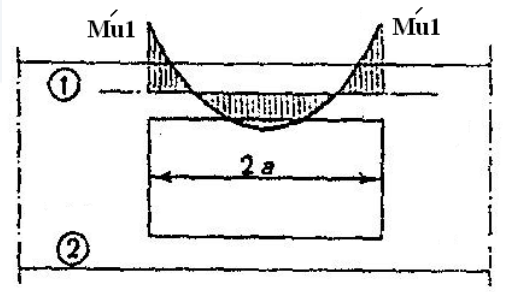
$$V_{u1} \rightarrow A_t^{\ 1}$$

$$V_{u2} \rightarrow A_t^{\ 2}$$

وأيضاً، ينتج عن هذين الجهدين القاطعين عزوم انعطاف إضافية مقدارها:

- اللمعة العلوية: $\pm V_{u1}\, a$
- اللمعة السفلية: $\pm V_{u2}\, a$

من جهة أخرى، تسبب الحمولات الشاقولية المطبقة على اللمعة العلوية عزم انعطاف حدي آخر مقداره $(M'_{u1})$، كما هو مبين في الشكل التالي. بينما يمكن إهمال مثل هذا العزم للمعة السفلية فيما لو أهملنا تأثير الوزن الذاتي لهذه اللمعة.




وتخضع اللمعتين إلى جهود ناظمية حدية ناجمة عن العزم الحدي في المقطع المعتبر، وتحسب من العلاقة التالية:

$$N'_{uc} = N_{us} = \frac{M_u}{z} \approx \frac{M_u}{0.9d}$$

بحيث تكون جهد ضغط في اللمعة العلوية $N'_{uc}$ ، وشد في اللمعة السفلية $N_{us}$ .

بالتالي تصمم اللمعتين العلوية والسفلية بحيث تعملان على الانعطاف المركب (شد وضغط لا مركزين)، ونحسب التسليح الطولي لهما وفق الطريقة المناسبة، $A_l^1 \& A_l^2$ ، حيث لدينا:

- اللمعة العلوية (ضغط لامركزي):

$$\begin{pmatrix} M_{u1} = \pm V_{u1}\, a + M'_{u1} \\ N'_{u1} = N'_{uc} \end{pmatrix} \Rightarrow A_l^1$$

- اللمعة السفلية (شد لامركزي):

$$\begin{pmatrix} M_{u2} = \pm V_{u2}\, a \\ N_{u2} = N_{us} \end{pmatrix} \Rightarrow A_l^2$$

أخيراً، يجب حساب مساحة التسليح $A_e$ ، الكلية الشاقولية المحيطة بحيث يتم توزيعها على جانبي الفتحة. وهذه المساحة تساوي على الأقل للمقطع البديل فيما لم يحذف التسليح العرضي بسبب وجود الفتحة، بمعنى المقطع المصمت: $V_u \Rightarrow A_e$

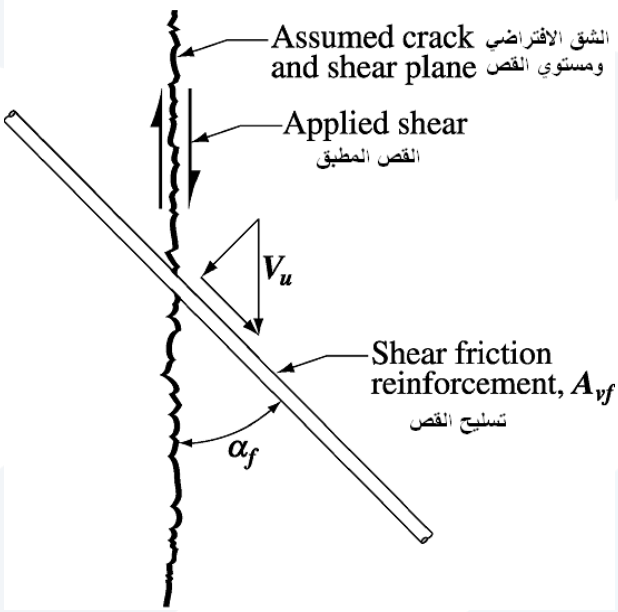
## 7-13- تصميم العناصر الخاضعة لقص مباشر

### 7-13-1- مقدمة:

يمكن أن يسبب القص المباشر انهيار غير حميد للعناصر البيتونية وخاصة في المنشآت مسبقة الصنع. ويمكن أن تتواجد هذه المسألة في الحالات التالية:

- في المناطق المجاورة للعقد.
- المنشآت المختلطة: تركيب عناصر مصبوبة في المكان مع عناصر مسبقة الصنع.

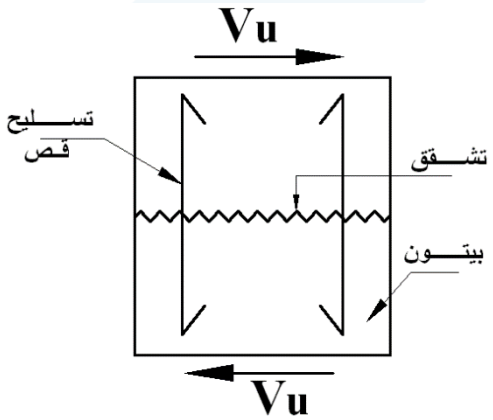
بالتالي يتوجب تنفيذ تسليح خاص عند مستويات القص بهدف مقاومة القص، ومنع الانهيار الهش والسريع المباشر لهذه العناصر. ويبين الشكل (7-36) الشق الافتراضي في مستوى القص، وكذلك التسليح المائل بزاوية تميل بمقدار $\alpha_f$ عن هذا المستوى.




الشكل (7-36): الشق الافتراضي في مستوى القص والتسليح المائل

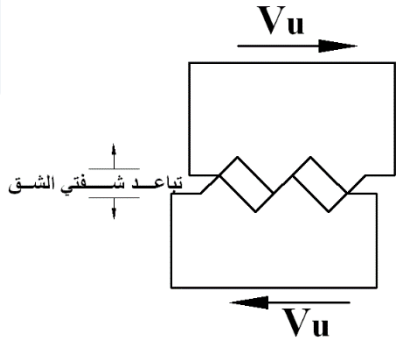
**7-13-2- تحديد القوى المؤثرة عند مستوي القص ـ حساب التسليح اللازم:**

يبين الشكل (7-37) الشق الافتراضي المتعامد مع تسليح القص. إن قوة القص الحدي تولد انزلاق نسبي للجزء العلوي مقارنة بالجزء السفلي، ويقاوم هذا الانزلاق بالاحتكاك البيني على كامل سطح التشقق.




الشكل (7-37): الشق الافتراضي متعامد مع تسليح القص

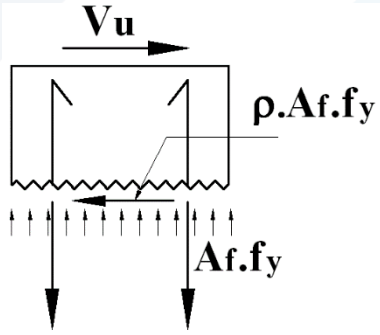
يزداد عامل الاحتكاك $(\rho)$ مع زيادة خشونة السطح وعدم انتظامه، والسطح غير المنتظم يولد انفصال تدريجي للجزأين عن بعضهما البعض (الشكل 7-38)، ويتعرض التسليح القائم على مستوي الانزلاق إلى إجهادات شد نتيجة تباعد سطحي الشق (شفتي الشق).




الشكل (7-38)

في الواقع، بينت التجارب أن الفولاذ سيجهد حتى وصوله إلى المقاومة المميزة (حد الخضوع) عندما يحصل الانهيار بالقص المباشر، وذلك عندما يكون هذا التسليح مثبت بشكل جيد.

ويوضح الشكل التالي الجسم الحر لبيتون الجزء العلوي:




نتيجة الحركة النسبية بين الجزأين العلوي والسفلي، ولتسهيل الحساب، تم إهمال مساهمة التسليح لمقاومة القص (التسليح متعامد مع الشق)، ويمكن التعويض عن ذلك بزيادة قيم عامل الاحتكاك.

علماً أن:

$A_f$ : مقطع التسليح الذي يعبر الشق

$f_y$ : المقاومة المميزة لفولاذ التسليح على ألا تزيد عن $f_y \leq 400\ MPa$

$\rho.A_f.f_y$ : مقاومة الانزلاق للبيتون

$\rho$ : عامل الاحتكاك، ويمكن اعتماد القيم المبينة في الجدول التالي:

| وصف الحالة | عامل الاحتكاك $(\rho)$ |
|---|---|
| بيتون مصبوب بشكل عادي. | 1.4 |
| بيتون مصبوب على بيتون متصلب مع سطح خشن /6 ملم/. | 1.0 |
| بيتون مصبوب على بيتون متصلب مع سطح ناعم. | 0.6 |
| إرساء فولاذ إنشائي في البيتون. | 0.7 |

وبكتابة معادلة توازن القوى الأفقية، يمكن تحديد مساحة مقطع التسليح كما يلي:

$$V_u = \Omega \rho A_f \ f_y \Rightarrow A_f = \frac{V_u}{0.85 \rho \ f_y}$$

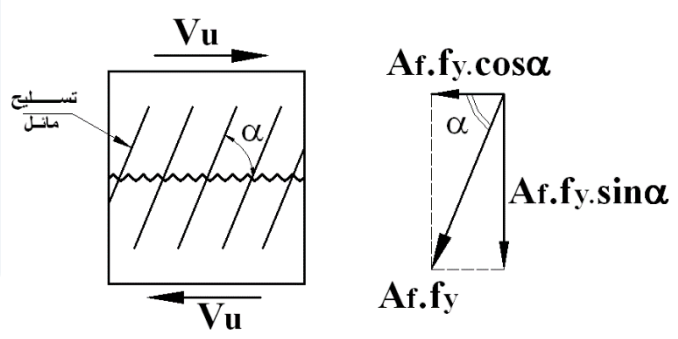
بافتراض أن نسبة التسليح : $\mu = \frac{A_f}{A_c}$ ، حيث $A_c$ مساحة السطح المتشقق.

يمكن التعبير عن إجهاد القص الاسمي كما يلي:

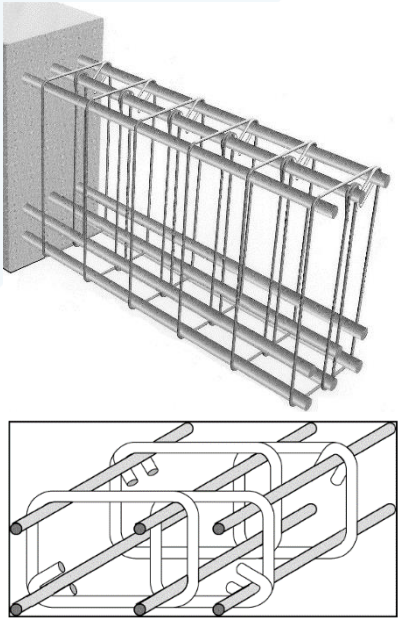
$$\tau_u = \frac{V_u}{A_c} = \frac{\Omega \rho A_f \ f_y}{A_c} = \Omega \rho \mu \ f_y$$

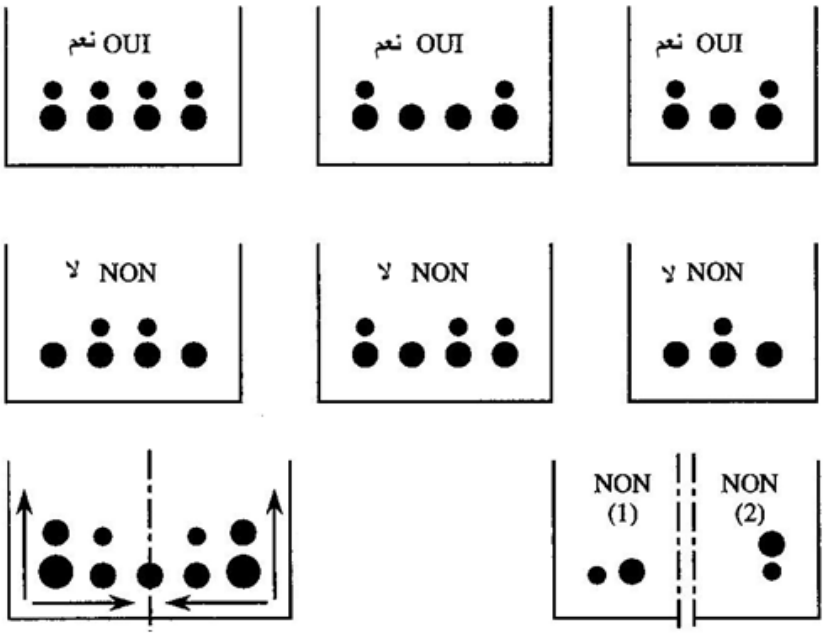
وعندما يكون التسليح مائل بزاوية $\alpha$ ، عن الشق كما هو مبين أدناه، تصبح معادلة التوازن على النحو التالي:

$$V_u = \Omega A_f \ f_y (\rho \sin\alpha + \cos\alpha) \Rightarrow A_f = \frac{V_u}{0.85 \ f_y (\rho \sin\alpha + \cos\alpha)}$$

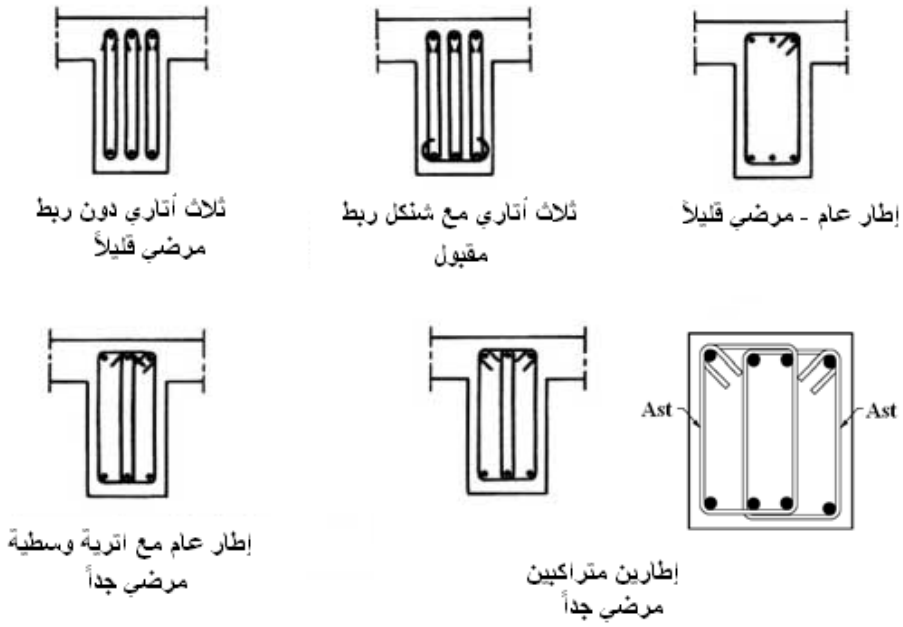



**14-7- ترتيبات التسليح وتفصيلات إنشائية خاصة بالجوائز**

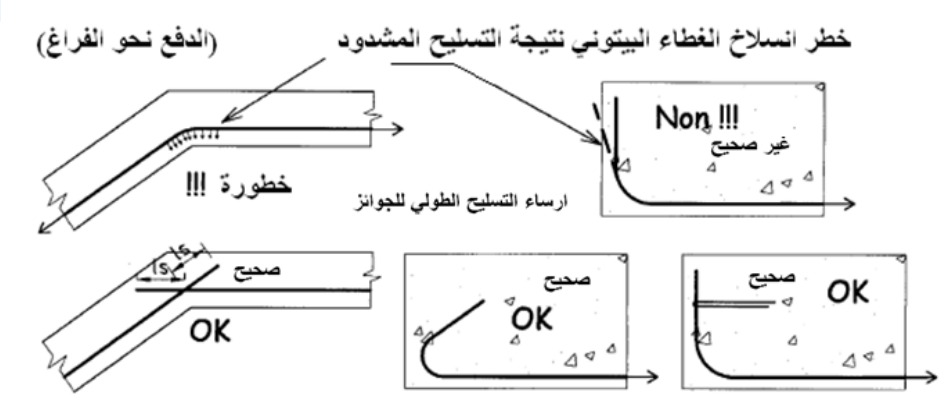




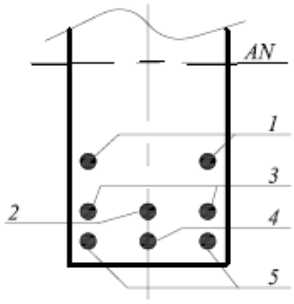

توزيع التسليح الطولي في المقطع وفق القطر



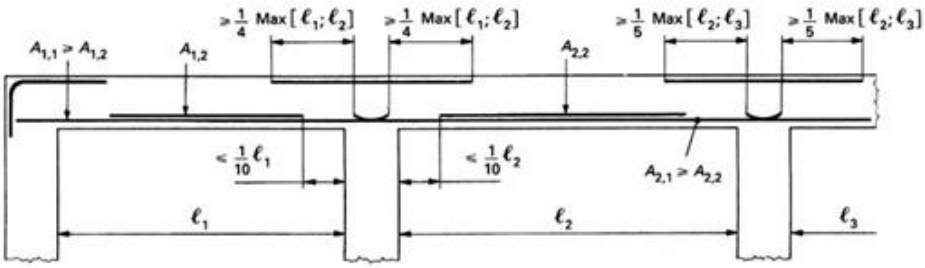

أنواع التسليح العرضي المقبول للجوائز



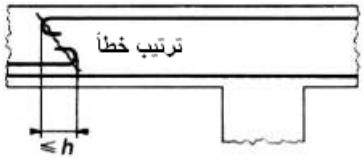

ارساء التسليح الطولي للجوائز

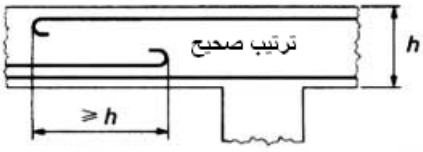



تسلسل إيقاف قضبان التسليح في مقطع جائز

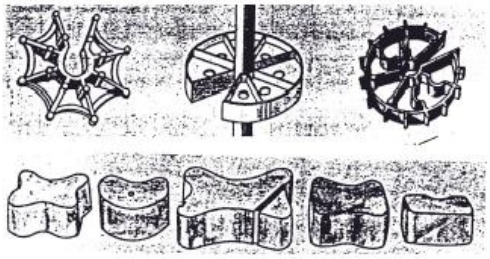



قاعدة إيقاف قضبان التسليح في الجوائز وفق الكود الفرنسي

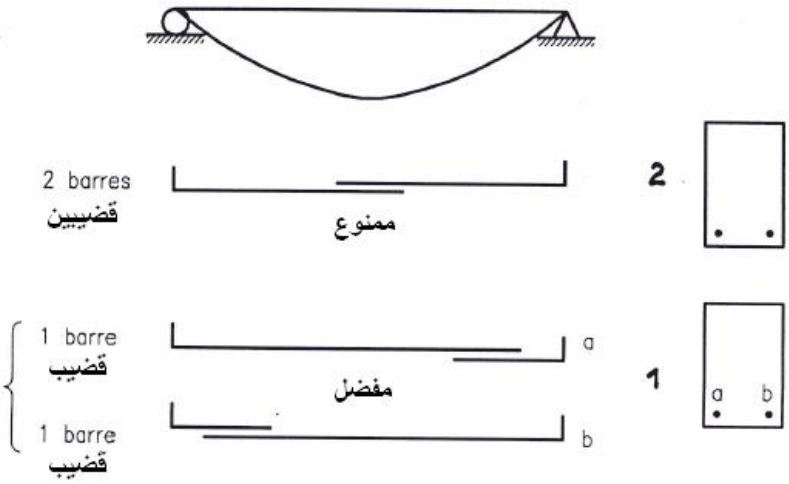


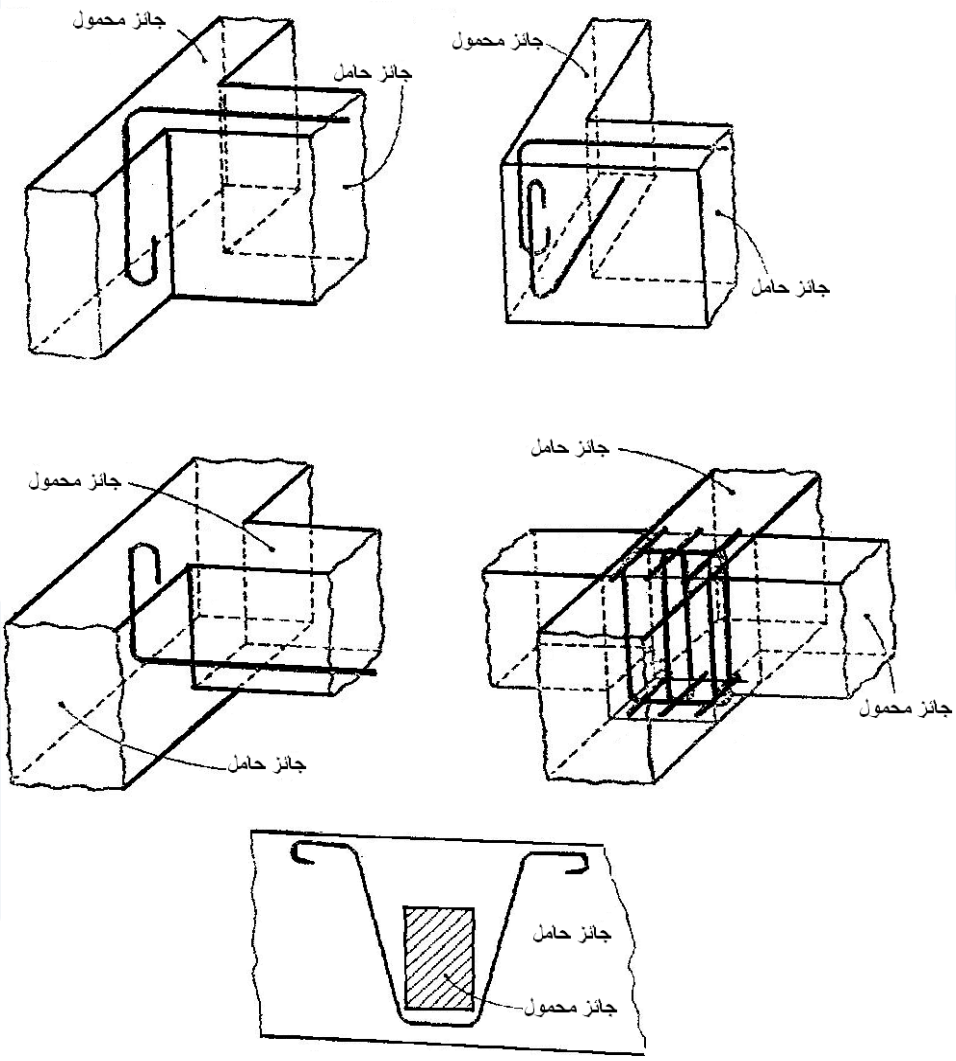

التباعد بين التسليحين الموقوفين
(السفلي والعلوي)



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