كلية هندسة العمارة – جامعة المنارة

إعداد

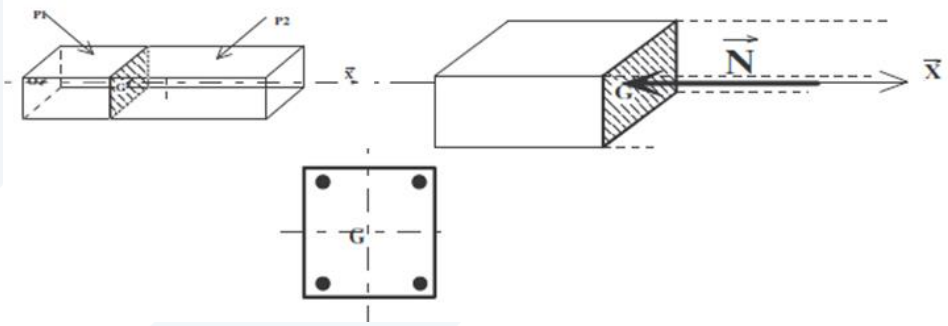
أ.د. بسام حويجة

10- الأعمدة من البيتون المسلح (التصميم وفق الحالة الحدية القصوى)

10-1- عموميات – دراسات تجريبية

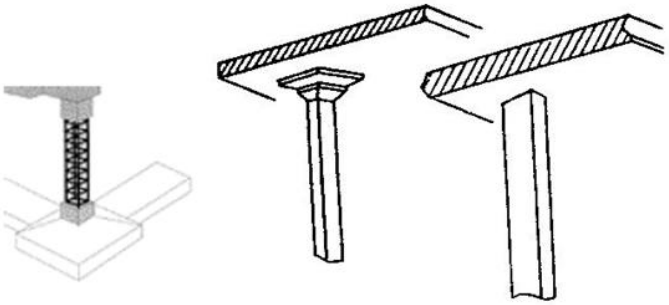
عموميات:

يخضع عنصر معين إلى الضغط البسيط عندما يمكن اختزال القوى العاملة عليه والواقعة من جهة واحدة لمقطع قائم، إلى قوة ضغط وحيدة موازية للخط الوسطي، مارة من مركز ثقل المقطع القائم، (الشكل 10-1). وبالتالي يكون العنصر البيتوني المسلح معرضا للضغط عندما تتطابق قوة الضغط الخارجية مع مركز ثقل المساحة المحتلة من قبل الفولاذ ومركز ثقل المساحة المحتلة من قبل البيتون.

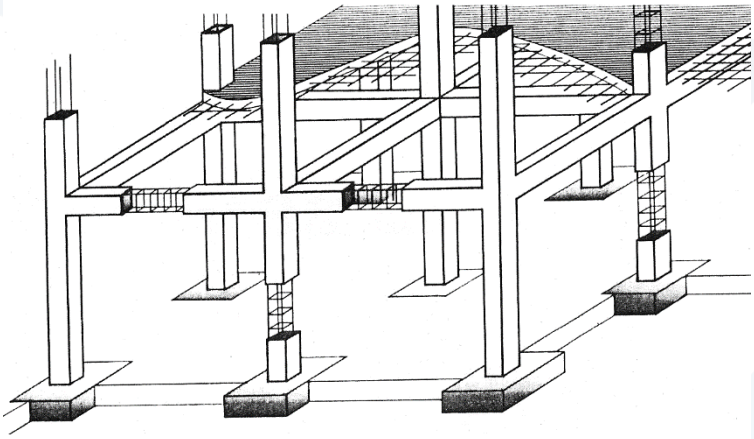


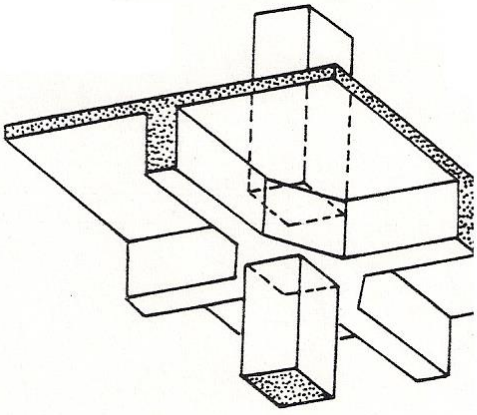
الشكل (10-1): مقطع معرض للضغط البسيط

وإن أكثر العناصر المعرضة للضغط البسيط هي الأعمدة القصيرة غير المتأثرة بظاهرة التحنيب و الخاضعة لقوة محورية (أعمدة الأبنية، ركائز الجسور، عناصر الجوائز الشبكية والأوتاد الخ...)، كما هو موضح في الشكل (10-2).

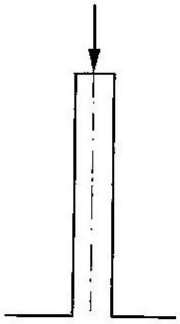


الشكل (10-2): عناصر خاضعة للضغط البسيط (لا تتأثر بظاهرة التحنيب)

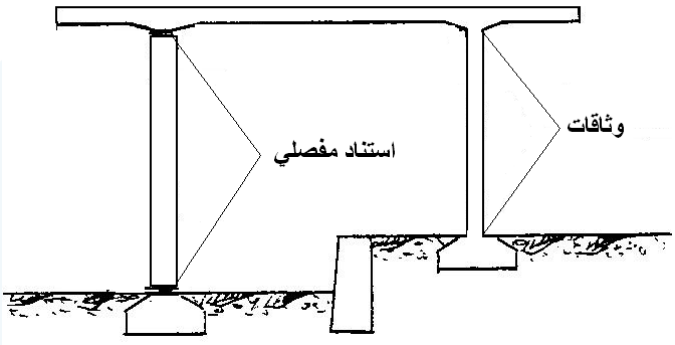




عقدة وسطية في مبنى



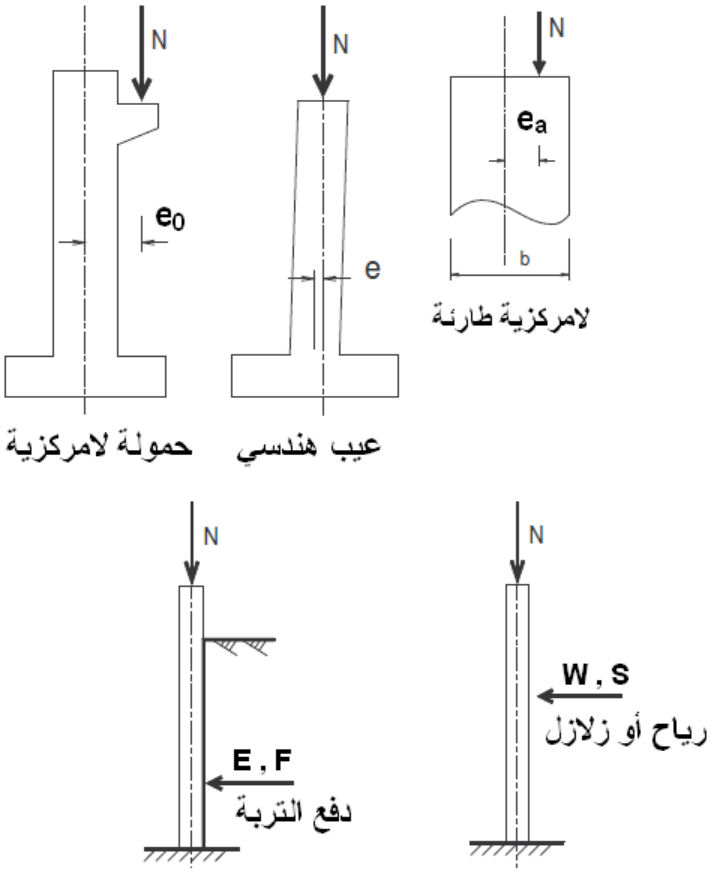
ضغط بسيط



تابع للشكل (10-2)

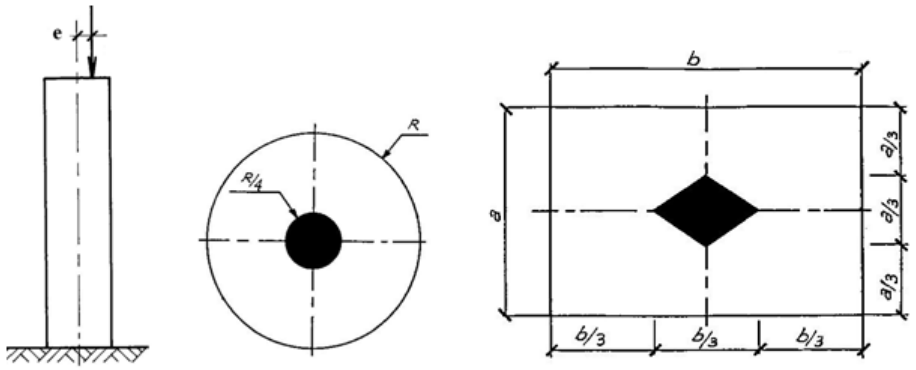
في الواقع، من النادر الحصـــول على تطابق تام بين مركز مرور القوة الخارجية ومركز ثقل العمود، بســـبب عدم الدقة الكافية في الإنشـــاء من جهة ولأن خط تأثير هذه القوة الخارجية يمكن أن يتغير حســـب موقع وكبر الحمولات الإضـــافية المطبقة على المنشأ من جهة أخرى.

ويوضح الشكل (3-10) وجود حالات أخرى يحصل فيها تباعد هذين المركزين، وحصول لامركزية صغيرة أو كبيرة مسببة عزم حدي مقداره $M_u = N'_u e$ ، حيث e : اللامركزية، و N'_u : قوة الضغط الحدية.



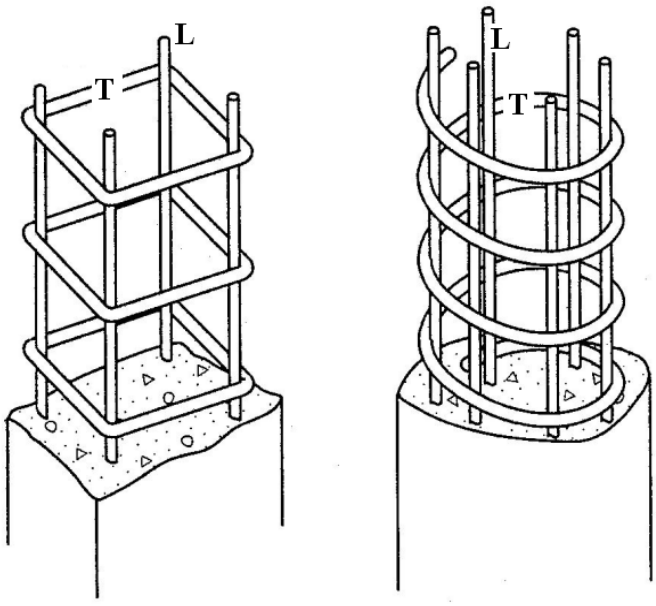
الشكل (3-10): عدم تطابق بين مركز مرور القوة الخارجية ومركز ثقل العمود (لا مركزية)

وتكون الاجهادات في المقطع هي إجهادات ضغط عندما تكون القوة الخارجية مطبقة بلا مركزية صغيرة تقع ضمن حدود النواة المركزية، كما هو مبين في الشكل (4-10).

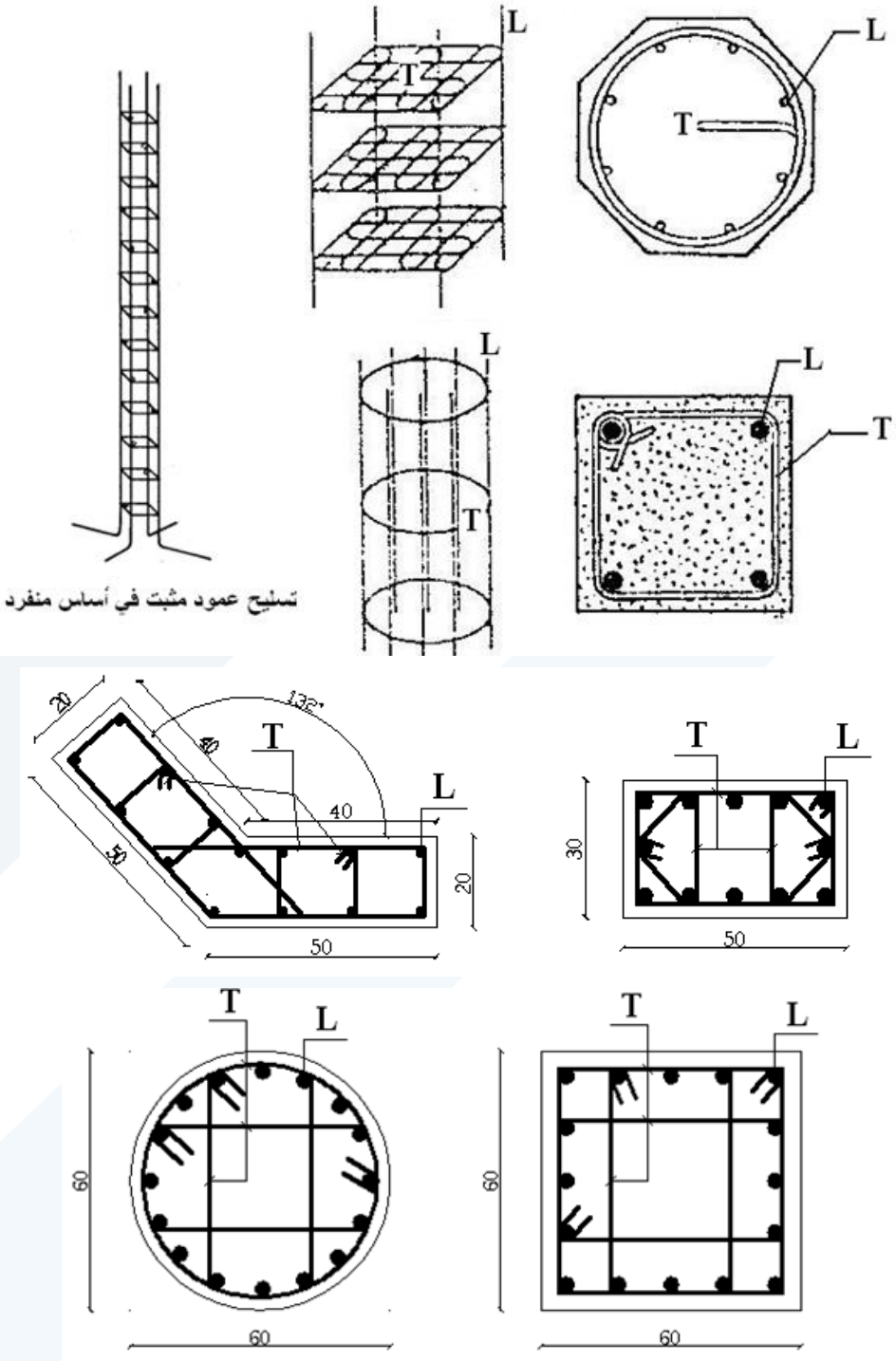


الشكل (10-4): النواة المركزية لمقطع مستطيل ودائري

تحتوي الأعمدة من البيتون المسلح على نوعين من التسليح كما هو مبين على الشكل (10-5): قضبان التسليح الطولية (L) موضوعة بصورة موازية للمحور الطولي للعمود ، والتسليح العرضي (T) الذي يقع في المستوى العمودي على محور العمود على شكل إطارات أو أساور، أتاري، شناكل، حلزون، ويمكن أن يتألف من الشبكات الملحومة.



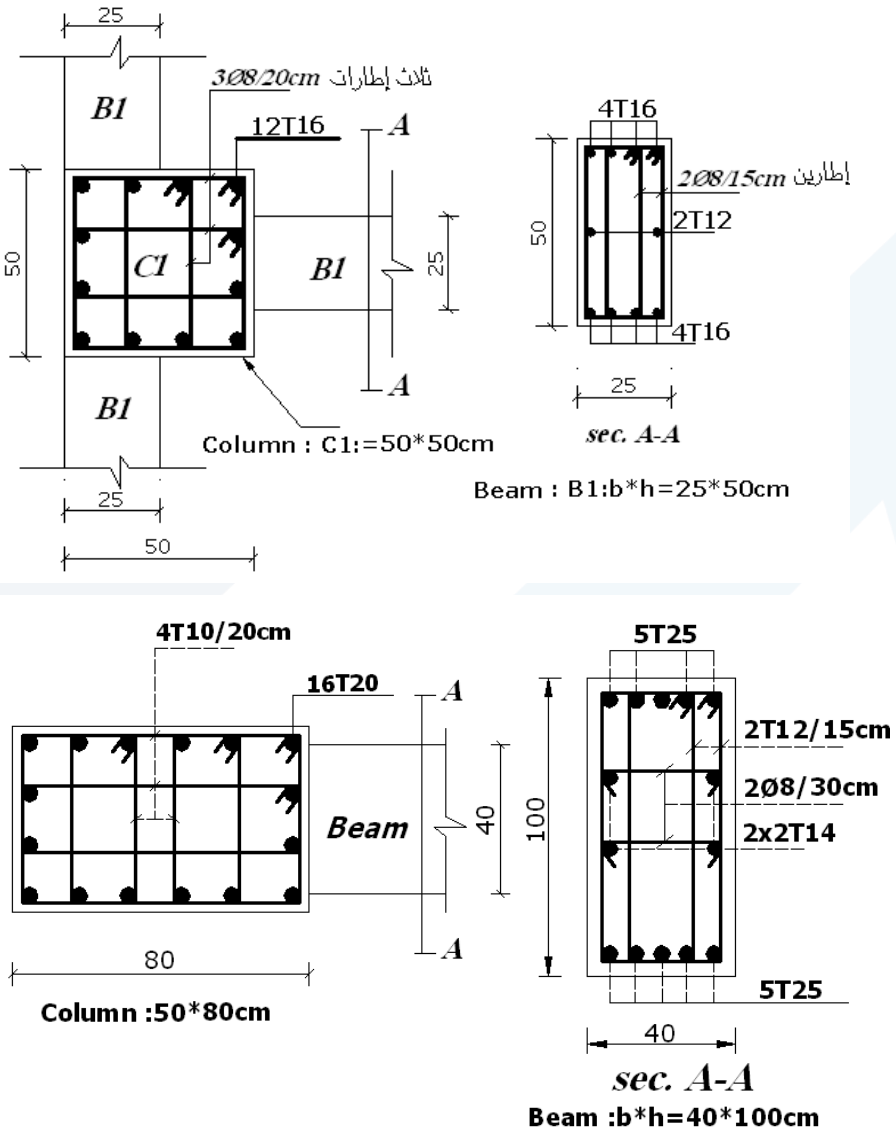
الشكل (10-5): أنواع التسليح في الأعمدة (طولي وعرضي: L & T)



تسليح عمود مثبت في أساس منفرد

تابع للشكل (10-5)

ويوضح الشكل (6-10) تفصيلات التسليح لعقد في إطار (اتصال عمود بجائز).



Beam-Column RC Joint

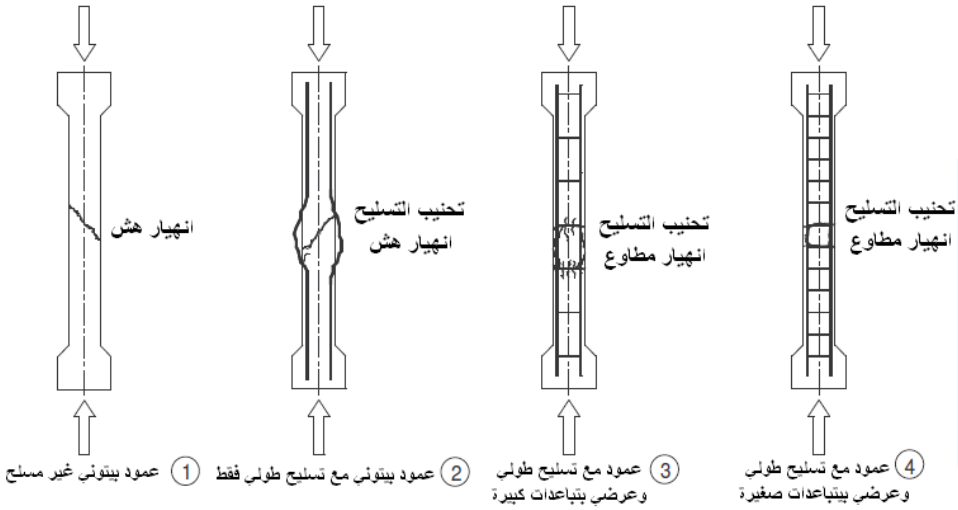
الشكل (6-10): تسليح منطقة اتصال جائز – عمود (عقدة)

<u>دراسات تجريبية:</u>

ليكن لدينا أربعة أعمدة وفق النماذج الموضحة بالشكل (7-10)، خاضعة لحمولة ضغط مركزية متزايدة تدريجياً مع الزمن:

- العمود نموذج (1): مكون من بيتون فقط (غير مسلح).
- العمود نموذج (2): مكون من بيتون وتسليح طولي فقط.

- العمود نموذج (3): مكون من بيتون وتسليح طولي مع تسليح عرضي بتباعدات كبيرة.
- العمود نموذج (4): مكون من بيتون وتسليح طولي مع تسليح عرضي بتباعدات صغيرة.

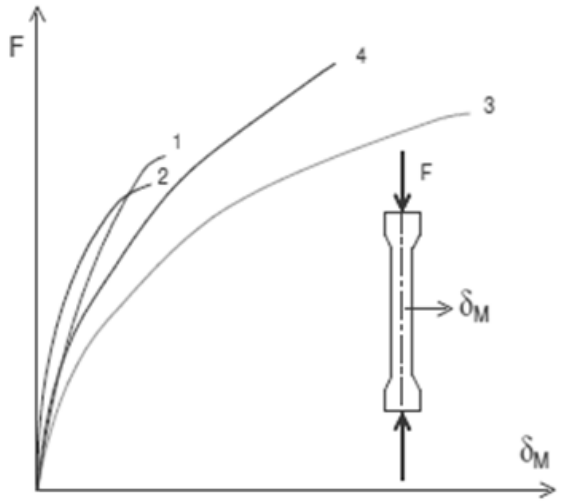


الشكل (10-7): أنماط انهيار الأعمدة المعرضة لضغط بسيط

عند البدء بالاختبار، نتخذ كافة القياسات والإجراءات اللازمة لتحديد استجابة الأعمدة لنظام التحميل المعتمد، ومراقبة التضررات وأنماط الانهيار. وعند الانتهاء من التجارب الأربعة، نلاحظ ما يلي:

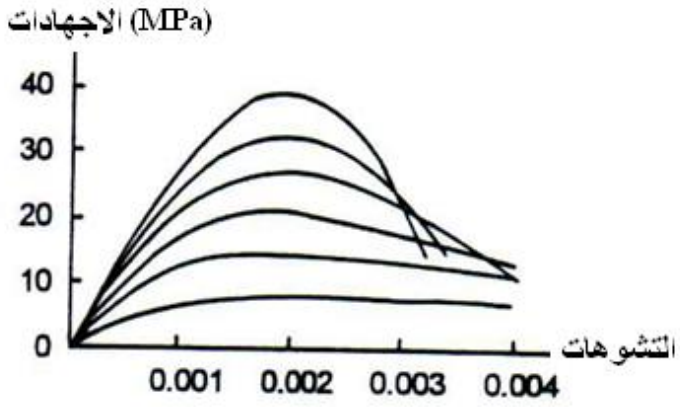
1. انهيار هش، مفاجئ دون إنذار مسبق للعمود نموذج (1)، حيث يتشكل شق وينتشر بشكل سريع (فوري) عندما تصل الاجهادات في بعض ألياف البيتون إلى مستوى أكبر من الاجهادات الحدية للبيتون على الشد.
2. في حالة العمود نموذج (2)، الحاوي على تسليح طولي فقط، نلاحظ حصول تحنيب فجائي للتسليح الطولي، وتكون حمولة الانهيار أقل من الحمولة في الحالة السابقة. بالتالي لا يكفي تزويد العمود بتسليح طولي للحصول على سلوك لدن.
3. وفي الاختبار الثالث، حالة العمود نموذج (3)، وعند زيادة الحمولة بشكل تدريجي، نلاحظ ظهور تشققات عند مستوي التسليح العرضي ومن ثم تفتت البيتون عند هذه المناطق، وسوف ينقطع التسليح العرضي بالشد أو بالانعطاف (أساور أو إطارات) عندما تصل الاجهادات إلى مستوي عالي، وهذا الانهيار بشكل عام يكون فجائي ولكن في هذه الحالة نلاحظ تقدم مستمر لحالة التشققات، وبالتالي يكون سلوك العمود لدناً.
4. وفي الحالة الأخيرة، ينفذ التسليح العرضي للعمود نموذج (4) بتباعدات صغيره، أقل من الحالة الثالثة. نلاحظ بأن السلوك المراقب حتى الانهيار مشابه للسابق، ولكن في هذه الحالة تعمل الأساور على تطويق أمثل للتسليح الطولي، ويكون الانهيار مطاوعاً.

يوضح الشكل (10-8) نتائج تسجيلات الاختبارات السابقة للأعمدة الأربعة، من خلال رسم العلاقة بين الحمولة المطبقة (F) والانتقال الأفقي عند وسط العمود (δ_M). نلاحظ أن العمودين (2 & 1) يسلكان سلوكاً خطياً، بالمقابل يكون السلوك غير خطي للعمودين (4 & 3) ، حيث تبدأ اللاخطية مع بداية ظهور التشققات في البيتون.

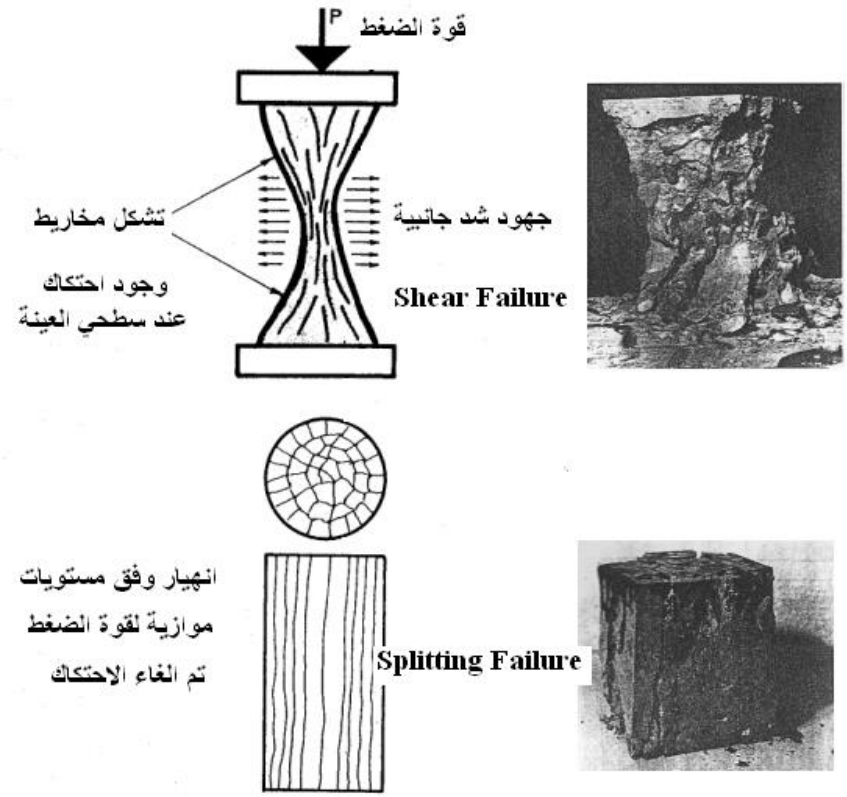


الشكل (10-8): العلاقة بين الحمولة (F) والانتقال الأفقي عند وسط العمود (δ_M)

يبين الشكل (10-9) العلاقة بين الإجهادات والتشوهات لعينات نظامية من البيتون بأنواع مختلفة، خاضعة لضغط مركزي (اختبار الضغط على عينات نظامية)، حيث نلاحظ أنه مهما اختلفت مقاومة البيتون فإن التشوهات عند الذروة تكون حوالي $(\varepsilon_0 \approx 0.2\%)$ ، وتتراوح التشوهات عند الانهيار $(\varepsilon_0 \approx 0.3\% \rightarrow 0.4\%)$. وهذا السلوك يبين أن البيتون هو مادة ذات مطاوعة ضعيفة، بالتالي يكون انهيارها هشاً (الشكل 10-10).

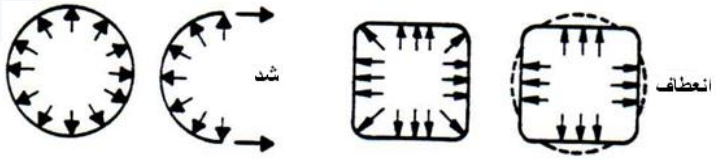


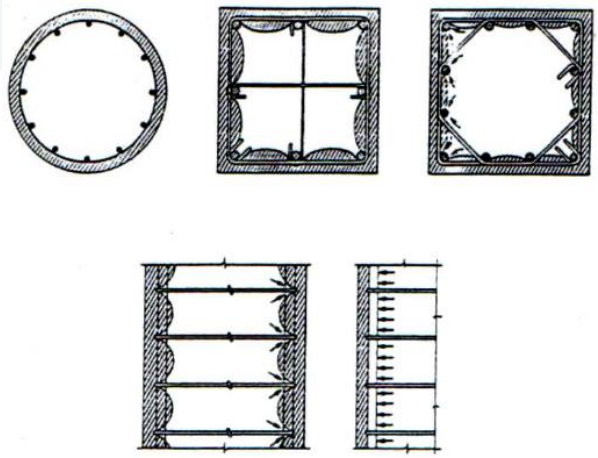
الشكل (10-9): مخطط الإجهادات والتشوهات لعينات نظامية من البيتون، خاضعة لضغط مركزي

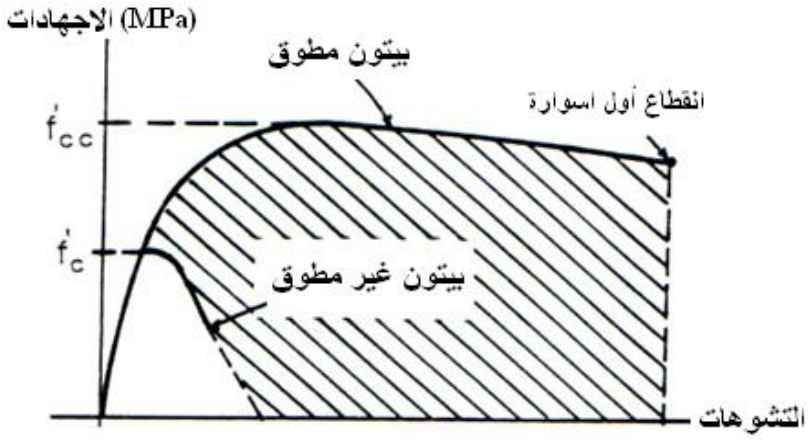


الشكل (10-10): أنماط انهيار عينة بيتونية على الضغط

ولتفادي الانهيار الهش للبيتون المعرض للضغط نعمل على تحسين مطاوعته قدر الإمكان، ويمكن أن يتم ذلك بتطويق البيتون بأساور أو بإطارات مغلقة من فولاذ التسليح. في الواقع، أثبتت التجارب أن هذا التسليح العرضي لا يؤثر على مقاومة البيتون عند تعرضه لحمولات ضغط تسبب إجهادات صغيرة، ولكن بالمقابل عندما تكون إجهادات الضغط كبيرة بمعنى قريبة من المقاومة المميزة للبيتون (f'_c) ، فتلعب هذه الأساور دوراً مهماً في زيادة مقاومة البيتون وذلك بفعل بواسون حيث يتحول قسم كبير من التشوهات الطولية الكبيرة في اتجاه التحميل إلى تشوهات عرضية. هذه التشوهات العرضية، إضافة للتشققات في البيتون، تعمل على ضغط هذه الأساور بالتالي تحاول بدورها مقاومة هذا الضغط بالشد أو بالانعطاف، كما هو مبين في الشكل (10-11).



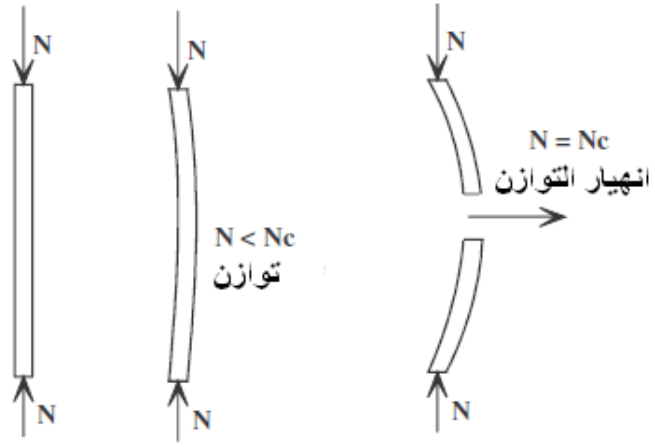




الشكل (10-11): تأثير التطويق على سلوك البيتون المعرض لضغط

10-2- تحقيق الأعمدة على التحنيب

ليكن لدينا قطعة مستقيمة طويلة بما فيه الكفاية، بحيث يكون أحد أبعاد مقطعها العرضي صغيرا بالنسبة للطول، ولنخضع هذه القطعة لحمولة ضغط (N) متجهة وفق محورها (انظر الشكل 10-12). فبقدر ما تكون هذه الحمولة صغيرة يبقى محور القطعة مستقيما ويحصل تقاصر مرن متناسب مع الجهد المطبق. وإذا ازدادت حمولة الضغط يلاحظ أنه من أجل قيمة معينة تتقوس القطعة فجأة، وتأخذ شكل منحني وتنتهي بالانهيار تحت تأثير حمولة أصغر من تلك التي يمكن أن تسبب انهيار قطعة صغيرة لها المقطع نفسه. تدعى هذه الظاهرة الفيزيائية " التحنيب " ، كما تسمى قيمة جهد الضغط الذي يسببه التحنيب "الحمولة الحرجة لأويلر (N_C)".



الشكل (10-12): تأثير التحنيب على سلوك العمود (عدم استقرار عرضي)

بالتالي، التحنيب هو ظاهرة عدم استقرار عرضي ترافق العناصر المضغوطة، إنها ظاهرة خطيرة لأنها سريعة وليس بالإمكان التنبؤ بها. ويمكن تلخيص البارامترات المؤثرة على هذه الظاهرة وفق ما يلي:

- عزم العطالة: كلما كان عزم العطالة كبيراً كلما انخفض الخطر.
- طول التحنيب: كلما زاد طول التحنيب كلما زاد الخطر.

إذن من أجل تشغيل العمود على الضغط البسيط ، كما مر سابقاً يجب ضمان عدم تحنيبه، ومن هنا جاء مفهوم نحافة العمود أو رشاقته.

10-2-1- النحافة λ:

النحافة هي النسبة بين طول التحنيب (L_O) و نصف قطر العطالة $\left(i=\sqrt{I/A}\right)$ للمقطع القائم للبيتون بمفرده، الموافق للمستوى الذي ندرس فيه التحنيب ، حيث I : عزم عطالة المقطع و A : مساحة المقطع.

واستناداً لقيمة النحافة يتم التمييز بين الأعمدة الطويلة و الأعمدة القصيرة.

وفي هذا الخصوص، ينص الكود السوري على ما يلي:

- يعتبر العنصر المضغوط طويلا إذا زادت نسبة أحد طوليه الحسابيين (بالاتجاهين المتعامدين) على سماكة مقطعه في الاتجاه المعتمد عن (12) بالنسبة للعمود المستطيل أو المربع ، وعن (10) بالنسبة للعمود الدائري. وعندما تقل النسبة عن هذه القيم المحددة فيعتبر العمود قصيراً.
- وفي حالة الأعمدة ذات المقاطع غير المستطيلة أو غير الدائرية، يعد العمود طويلا إذا زادت نحافته عن 40 ، $\left(\lambda=L_O/i>40\right)$.

10-2-2- طول التحنيب (L_O):

يحدد طول التحنيب اعتمادا على الطول الحر (L) للعنصر في الاتجاه المدروس على التحنيب، على طريقة ارتباط أطرافه (الشروط الطرفية) وفيما إذا كانت الأعمدة تنتمي إلى هياكل مقواة أو غير مقواة لمقاومة الانزياح الجانبي كأن تحتوي على جملة جدران قص أو أنظمة تربيط أو تكتيف شبكي (قطرية أو مثلثية) بصلابة لا تقل عن ستة أضعاف مجموع صلابات الأعمدة في كل طابق وفي الاتجاه المدروس. وتعتبر الهياكل غير مقواة جانبيا عندما تعتمد على صلابة أعمدتها فقط في مقاومة القوى الأفقية .

يبين الشكل (10-13) قيم الطول الحر (L) للأعمدة حسب الارتباط الموافق.

أ- طول التحنيب للهياكل غير المقواة جانبيا:

يؤخذ طول التحنيب لأعمدة هذه الهياكل كما يلي:

$$L_O=\alpha.L$$

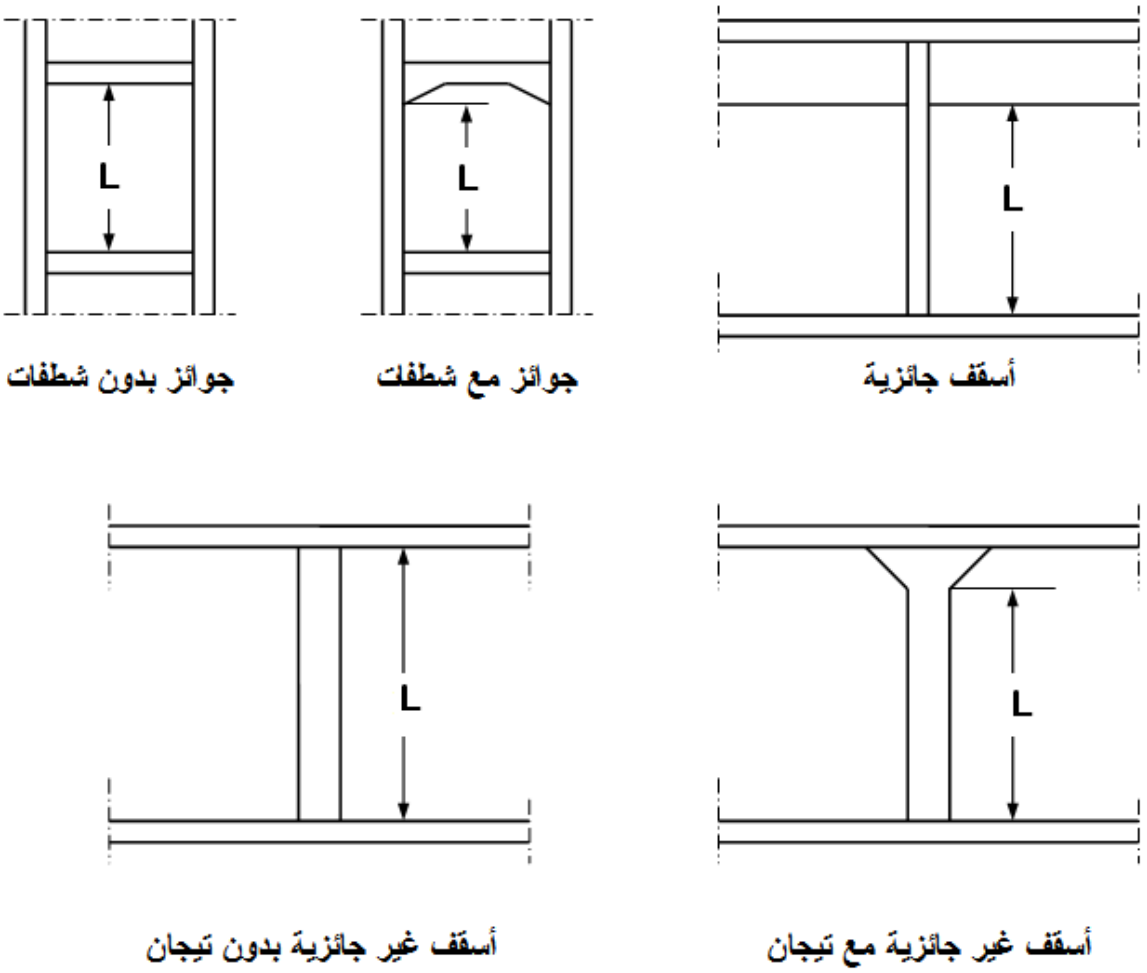
$$\alpha=f(\Psi_A,\Psi_B)$$

$$\Psi=\frac{\sum\frac{EI}{L}\,Columns}{\sum\frac{EI}{L}\,Beams}$$

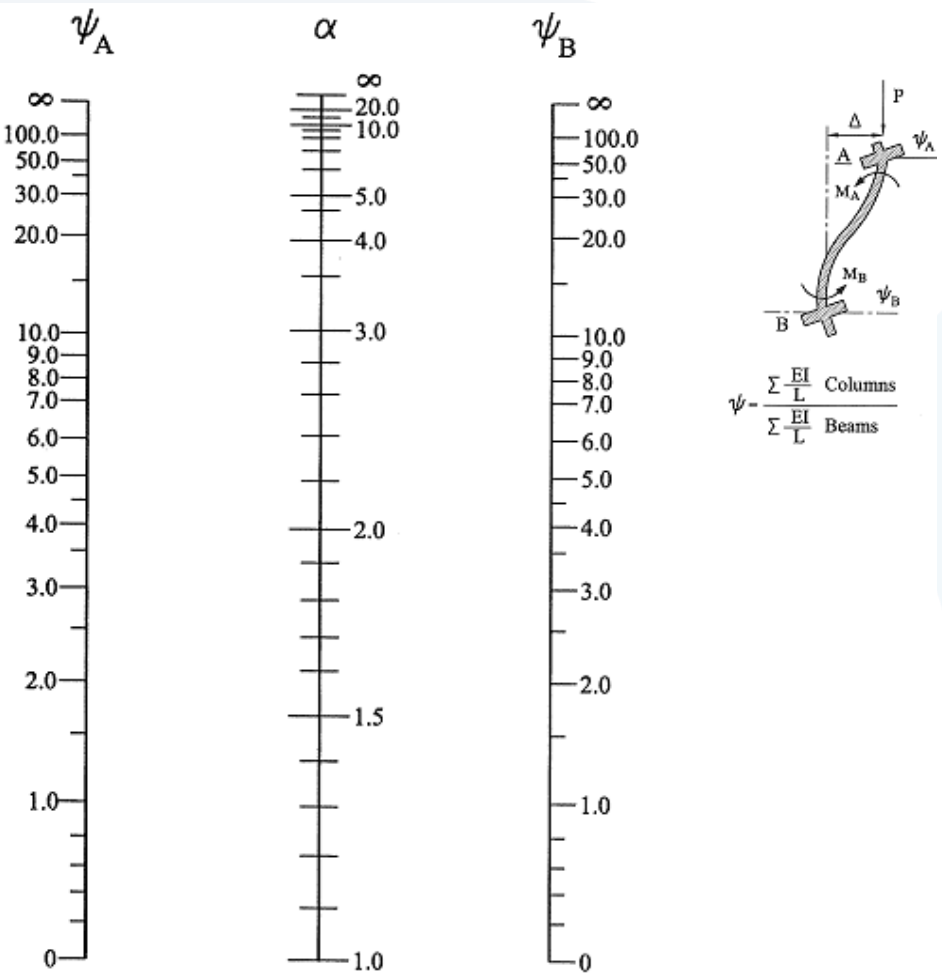
تحدد α من الشكل (10-14)، بدلالة $\Psi_{A,B}$.

حيث: $\Psi_{A,B}$ تمثل مجموع صلابات الأعمدة مقسومة على مجموع صلابات الجوائز عند طرفي العنصر : A (علوي) و B (سفلي).

مع التذكير بضرورة تخفيض عزم عطالة الجائز بالقيمة 0.6 لأخذ تأثير التشقق بالحسبان.



الشكل (10-13): الطول الحر للأعمدة (L)



الشكل (10-14): تحديد قيمة α تبعاً لقيمة $\Psi_{A,B}$

ويمكن بدلاً من حساب (L_O)، اعتماد التحليل الإنشائي من الدرجة الثانية، الذي يأخذ بالحسبان تأثير $(P-\Delta)$، بمعنى أن تحسب القوى الداخلية والعزوم الإضافية الناتجة من الانزياحات الجانبية وتأثير الحمولات الشاقولية عليها.

ب- طول التحنيب للهياكل المقواة جانبياً:

يؤخذ طول التحنيب لأعمدة هذه الهياكل كما يلي :

$L_O = L$: حالة عنصر متمفصل من طرفيه.

$L_O = 0{,}85L$: حالة عنصر متمفصل من طرف وموثوق جزئيا من الطرف الأخر.

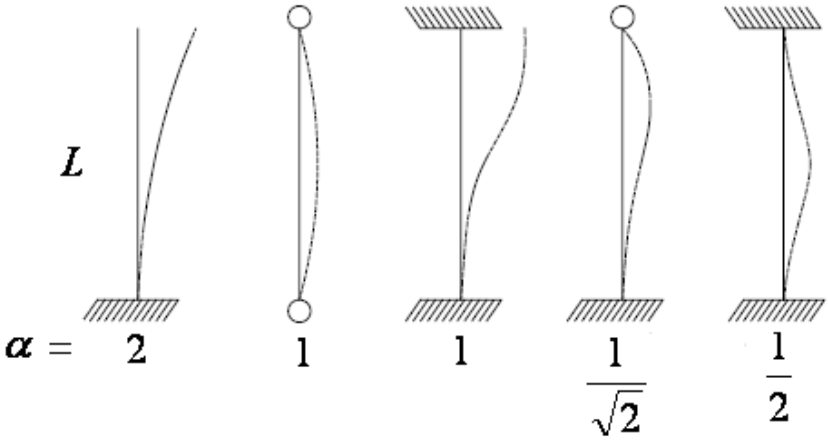
$L_O = 0{,}70L$: حالة عنصر موثوق جزئيا من الطرفين.

$L_O = L$: في حالة الأبنية العادية.

وتؤخذ أيضـاً $L_O = L$ ، في حالة الأبنية غير المقواة جانبيا (سـكنية مثلا) التي لا تزيد عن سـتة طوابق (هيكلها متناظر نسبيا)، والمقاومة للأفعال الأفقية، شرط تحقيق المتراجحة التالية: $\lambda \leq 60$.

ج- طول تحنيب العمود المعزول:

نعتمد القيمة المبينة في الشكل (10-15):



الشكل (10-15): طول تحنيب الأعمدة المعزولة $L_O = \alpha L$

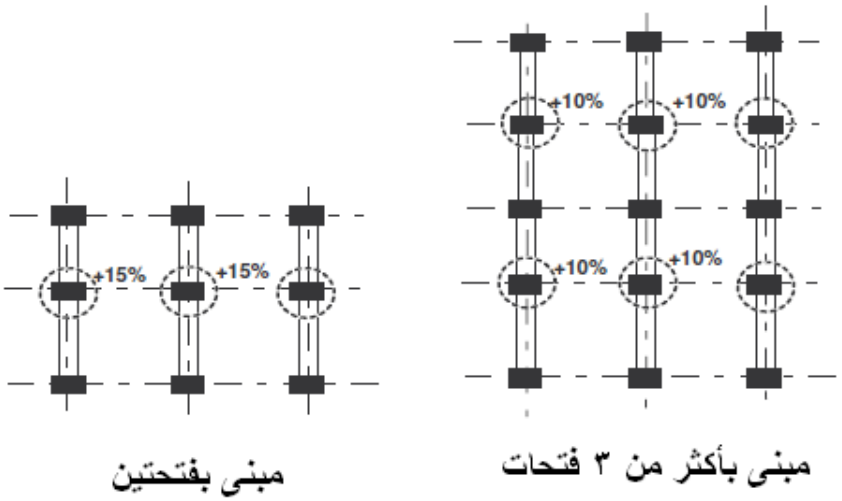
10-3- حساب الأعمدة القصيرة

10-3-1- اشتراطات عامة:

نذكر فيما يلي بعض الملاحظات الهامة والاشـتراطات الواجب تحقيقها لكي نتمكن من تصـميم الأعمدة كعناصـر خاضـعة للضغط البسيط:

- في الحالة العامة، يجب حسـاب القوى الداخلية في الأعمدة مع الأخذ بالحسـبان لأسـوأ حالات التحميل (طرق مبسـطة مع اعتبار أثر الاسـتمرارية أو طرق تحليل دقيقة). فإذا بين التحليل الإنشـائي أن العمود لا يخضـع لعزم انعطاف أو يخضع لعزم صغير يؤدي إلى لامركزية لا تزيد عن 5% من العمق الكلي لمقطع العمود $(b \times h)$ في الاتجاه المدروس $(e \leq 0{,}05b\ ;\ 0{,}05h)$ ، أو عن $(25mm)$ أو $\left(\frac{L_O}{250}\right)$ أيهما أصـغر، فإنه يمكن إهمال هذا العزم ويحسب العمود كأنه معرض للضغط البسيط. وإذا تعرض العمود لعزم انعطاف أكبر من المحدد سابقاً فيجب أن يحسب على الضغط اللامركزي.
- عند استخدام الطرائق المبسطة المسموح بها في التحليل لتحديد القوى الناظمية، يلحظ أثر الاستمرارية كعامل تصعيد كما يلي :

1. عندما تحدد القوة الناظمية من ردود أفعال الجوائز، يجب ألا يقل رد الفعل عن رد فعل الجائز البسيط الاستناد عند المساند الداخلية.
2. وعندما تحسب القوة الناظمية من خلال تحديد المساحات الطابقية التي تغذي العمود بالحمولات (الخطوط المنصفة للمسافات بين الأعمدة)، فإنه يجب زيادة الحمولات الطابقية بمقدار 10% عن كل اتجاه يكون فيه العمود أول عمود داخلي إذا كان عدد المجازات بالاتجاه المدروس يزيد عن اثنين ، و 15% إذا كان عدد المجازات بالاتجاه المدروس اثنين فقط (الشكل 10-16).



الشكل (10-16): زيادة الحمولات الطابقية للأعمدة

(طريقة مبسطة: حالة حساب حمولة العمود من المساحة الطابقية)

في الواقع، عند تطبيق طرائق الحساب المبسطة في حساب الجوائز المستمرة، كنا قد أهملنا ارتباط تلك الجوائز بالأعمدة التي تحملها، في حين تخضع تلك الأعمدة في مناطق ارتباطها مع الجوائز إلى عزوم انعطاف سببها التحميل غير المتناظر للسقف أو التحميل الشطرنجي للبلاطات، يمكن ترجمتها إلى ردود أفعال إضافية. وللتعويض عن هذه العزوم المهملة، يتعين علينا زيادة الحمولات. وفيما يخص الأعمدة الداخلية، تؤدي قاعدة الزيادات هذه إلى حمولات مطابقة تقريباً لما تعطيه الحسابات الدقيقة. أما بالنسبة للأعمدة الطرفية التي تحسب على أساس فرضية عدم الارتباط فلا تعدل حمولاتها لأن تقدير هذه الحمولات بالطرائق المبسطة يؤدي تقدير أكبر مما هي عليه، وهذا يضاف إلى حد ما بالنسبة للأمان، الأثر الذي ينتج عن عدم الأخذ بالحسبان عزوم الانعطاف التي تؤثر على تلك الأعمدة.

- استثناء مما ورد أعلاه، يمكن للمصمم وفي حالة الأبنية الهيكلية الطابقية (غير الخاضعة لحمولات أفقية) ذات المجازات المألوفة في المباني السكنية والتجارية وما شابهها، إهمال تأثير العزوم الناجمة عن الحمولات الشاقولية

وحساب مقاطع أعمدة هذه المباني على الضغط البسيط، بعد إدخال أثر العزوم الطارئة بصورة ضمنية عن طريق اعتماد عامل تصعيد يؤخذ من الجدول (10-1). يسمى هذا العامل "عامل التكافؤ (K_e) " ، ولا يدخل أثره في حساب الأساسات أو الجدران الحاملة للأعمدة.

موقع العمود (الطابق)	وسطي		طرفي		ركني	
	ظفر	بدون ظفر	ظفر	بدون ظفر	ظفر	بدون ظفر
الأخير	1,30	1,30	1,50	1,60	1,60	2,00
تحت الأخير	1,10	1,10	1,30	1,40	1,40	1,70
باقي الطوابق	1,00	1,00	1,10	1,15	1,20	1,30

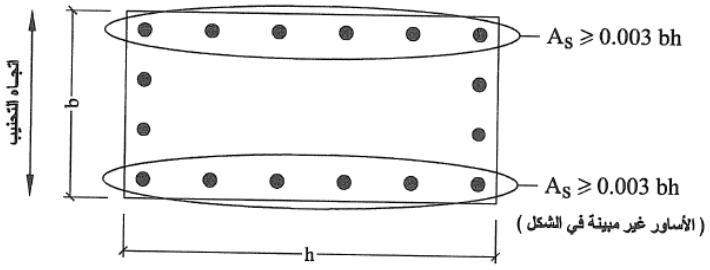
عامل التكافؤ (K_e) (تأثير العزوم الطارئة الناجمة عن الحمولات الشاقولية)

الجدول (10-1)

وفي حالة العناصر المضغوطة (الأعمدة) الطويلة، المعرضة للضغط البسيط (وما في حكمها)، يمكن أخذ تأثير التحنيب بتقسيم قدرة تحمل العنصر المضغوط (المحسوب على أساس عمود قصير) على عامل التحنيب (K_b) ، الوارد في الجدول (10-2). شريطة تحقيق ما يلي:

1) أن يكون مقطع العضو المضغوط مربعاً أو مستطيلاً أو متناظراً.

2) ألا تقل مساحة التسليح الموجودة في كل طرف من طرفي المقطع بالاتجاه المقاوم للتحنيب عن 0.003 من مساحة المقطع الكلية، وألا تزيد نحافة العمود λ على 80، كما هو مبين في الشكل التالي.



مساحات التسليح الدنيا في المقاطع المستطيلة للأعمدة النحيفة

$$\lambda = \frac{L_O}{i} \geq 40$$

λ = L/i	40	42	44	46	48	50	55	60	65	70	75	80
مقطع مستطيل L/b	11.5	12.1	12.7	13.3	13.9	14.4	15.9	17.3	18.8	20.2	21.7	23.1
مقطع دائري L/D	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.7	15.0	16.2	17.5	18.7	20.0
عامل التحنيب k_b	1.00	1.02	1.04	1.07	1.10	1.13	1.20	1.35	1.60	1.95	2.40	3.00

الجدول (10-2): عامل التحنيب (K_b) بدلالة λ

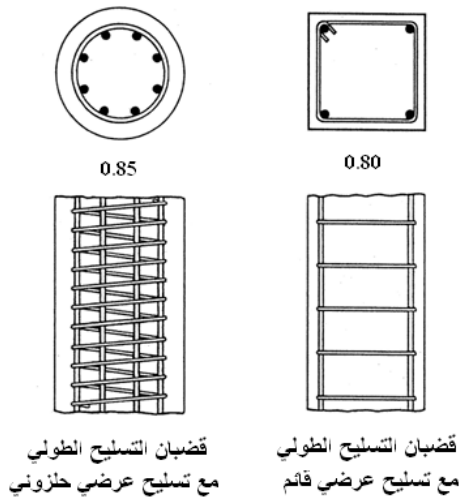
- **تحسب أعمدة البلاطات الفطرية وكذلك أعمدة كافة المنشآت الخاضعة لأفعال أفقية (زلازل أو رياح ...)**، وكذلك في حال اللامركزية الأساس كبيرة للقوى الشاقولية، أو حالة الأعمدة الطويلة، على الضغط اللامركزي.

10-2-3- العلاقات الأساسية لحساب الأعمدة القصيرة (الضغط البسيط)

$[\lambda = L_O / i \le 80]$:

تحدد القوة الناظمية الحدية القصوى للعمود N'_U ، بعد اعتبار ما يلي:

- اللامركزية الطارئة الناجمة عن التحميل اللامحوري ، التي يجب ألا تقل عن 8% من العمق الكلي لمقطع العمود $(b \times h)$ في الاتجاه المدروس $(e \le 0{,}08b\,;\,0{,}08h)$ ، أو عن $(25mm)$ أيهما أكبر. ويعتمد الكود السوري القيمة $(0{,}8)$ للأعمدة التي تحوي تسليح عرضي قائم (إطارات، أساور، أتاري ...)، و القيمة $(0{,}85)$ للأعمدة التي تحوي تسليح عرضي حلزوني (الشكل 10-17).

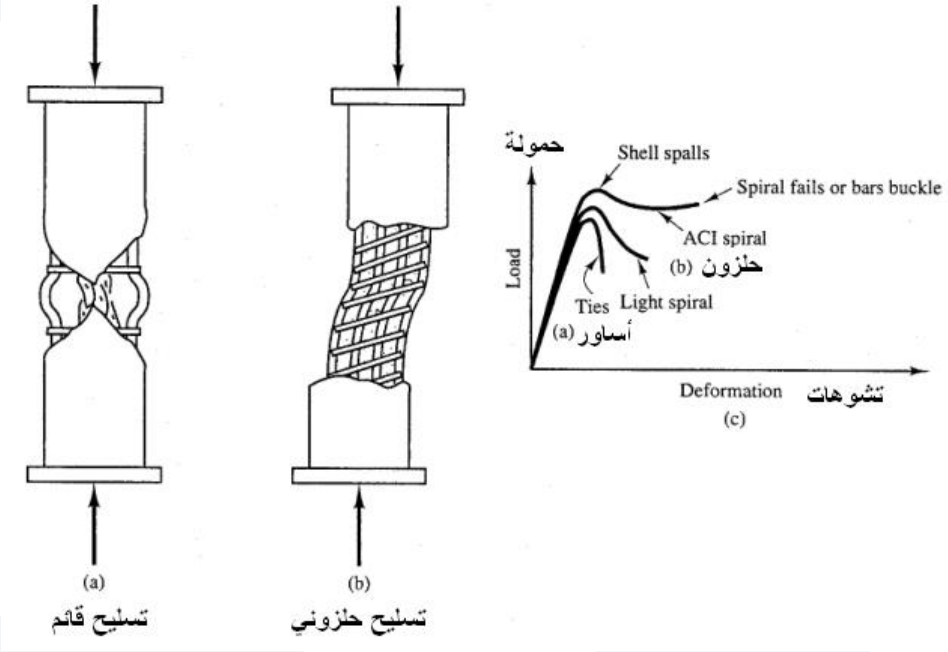


الشكل (10-17): قيمة عامل اللامركزية الطارئة تبعاً لنوع التسليح العرضي للعمود

- عامل التكافؤ (K_e) الذي يأخذ بالحسبان تأثير العزوم الطارئة الناجمة عن الحمولات الشاقولية، من الجدول (10-1).
- عامل التحنيب (K_b) الذي يأخذ بالحسبان تأثير لامركزية التحنيب، بحيث يتم تحقيق: $40 < \lambda \leq 80$ ، و $\mu_s \geq 0.3\%$ باتجاه التحنيب، من الجدول (10-2).
- عامل تخفيض المقاومة : $\Omega = 0,65$
- التحقق من نسب التسليح الأصغرية والأعظمية التي يحددها الكود السوري.
- عندما تكون نسبة النحافة $\lambda = \frac{L_O}{i} \leq 40$ ، لا تأثير كبير للتحنيب ويمكن إهماله، وتحسب الأعمدة كأعمدة قصيرة على الضغط البسيط (قوة الضغط تمر في مركز الثقل)، مع الأخذ بالحسبان تأثير كل من مايلي:
  - عامل اللامركزية الطارئة (e_a) (الصنع): $(0.8 \; or \; 0.85)$.
  - عامل العزم الطارئ: (K_e).
- وعندما تكون نسبة النحافة $40 < \lambda = \frac{L_O}{i} \leq 80$ ، هناك تأثير واضح للتحنيب ولا يمكن إهماله. بالتالي تحسب الأعمدة كأعمدة قصيرة على الضغط البسيط (قوة الضغط تمر في مركز الثقل)، مع الأخذ بالحسبان تأثير كل من مايلي:
  - عامل اللامركزية الطارئة (e_a) (الصنع): $(0.8 \; or \; 0.85)$.
  - عامل العزم الطارئ: (K_e).
  - عامل لامركزية التحنيب (e_c): (K_b) ، وبحيث نؤمن نسبة تسليح دنيا بالاتجاه المدروس، لا تقل عن $\mu_s \geq 0.3\%$.

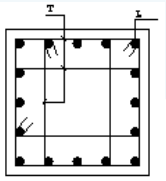
وعندما لا تتحقق المعايير السابقة (متطلبات دراسة العمود كعمود قصير)، نلجأ إلى دراسة العمود على الضغط اللامركزي، كعمود طويل.

ونشير إلى ضرورة التمييز بين الأعمدة الحاوية على تسليح عرضي قائم (أساور أفقية) وتلك المطوقة بتسليح حلزوني، حيث أثبتت الدراسات أن أنماط الانهيار وقدرات تحملها مختلفة، كما هو مبين في الشكل (10-18).



الشكل (10-18): أنماط انهيار الأعمدة البيتونية تبعاً لنوع التسليح العرضي

10-2-3-1- حالة استخدام تسليح عرضي قائم:

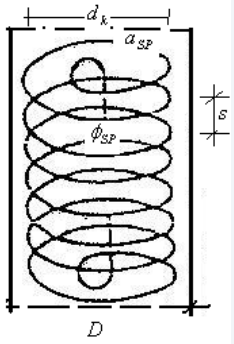


$$N'_u = 0{,}80\Omega\left[0{,}85\, f'_c\, A'_c + f_y\, A'_s\right]\frac{1}{K_e\, K_b}$$

$$\mu'_s = \frac{A'_s}{A'_c}$$

10-2-3-2- حالة استخدام تسليح عرضي حلزوني:

يستخدم هذا النوع من التسليح العرضي بهدف زيادة قدرة تحمل الأعمدة للحمولات الشاقولية، وعادة يستعمل عندما تزيد نسبة التسليح الطولي للأعمدة عن $\mu'_{sl} \geq 2\%$.



$$N'_u = 0{,}85\,\Omega\left[0{,}85\,f'_c\,A'_k + f_y\,A'_s + 2{,}50\,f_{ysp}\,A_{sp}\right]\frac{1}{K_e\,K_b}$$

$$\mu'_{ks} = \frac{A'_s}{A'_k} \quad ; \quad \mu_{sp} = \frac{A_{sp}}{A'_k} \quad ; \quad A_{sp} = \frac{\pi\,d_k\,a_{sp}}{s}$$

$$A'_c = \frac{\pi D^2}{4} \quad ; \quad A'_k = \frac{\pi\,d_k^2}{4} \quad ; \quad a_{sp} = \frac{\pi\,\phi_{sp}^2}{4}$$

ونبين فيما يلي بعض الملاحظات الهامة حول التسليح الحلزوني:

- ضرورة تحقيق شرط عدم انهيار طبقة التغطية البيتونية في هذه العناصر بحيث لا تزيد مقاومة المقطع عن مرة ونصف القوة الناظمية القصوى لحالة الأعمدة الحاوية على تسليح عرضي قائم :

$$N'_{uR} \le 1{,}50 \times 0{,}52\left[0{,}85\,f'_c\,A'_c + f_y\,A'_s\right]\frac{1}{K_e\,K_b}$$

- والتحقق من أن خطوة الحلزون $4cm \le s = cte \le \min[8cm\,;\,d_k/5]$ ، تبقى ثابتة على كامل طول العمود، وفي حال وصل الحلزون عن طريق التراكب يجب أن يتم عن طريق تراكب 1.5 لفة على الأقل.

باعتبار أن :

f'_c : المقاومة المميزة للبيتون.

f_{ysp} ; f_y : المقاومة المميزة للتسليح الطولي والعرضي (حلزوني) بالترتيب.

A'_k : مساحة مقطع النواة المطوقة.

A_{sp} : المقطع المكافئ للأساور الحلزونية.

$a_{sp} = \pi\phi_{sp}/4$: مقطع تسليح قضيب الحلزون.

$\phi_{sp} \ge 8mm$: قطر تسليح قضيب الحلزون.

$$\mu_{sp\max} \ge \mu_{sp} \ge 0.45\frac{f'_c}{f_{ysp}}\left(\frac{A'_c}{A'_k} - 1\right)$$

$$\mu_{sp\max}=0.34\left[\left(1.412\frac{A'_c}{A'_k}-1\right)\frac{f'_c}{f_{ysp}}+0.484\frac{A'_s}{A'_k}\frac{f_y}{f_{ysp}}\right]$$

10-4- الاشتراطات البعدية وترتيبات التسليح في الأعمدة

- لا يقل أصغر بعد للعمود المستطيل عن $20cm$ ، ولا تقل مساحته عن $b\times h\geq 900cm^2$ ، وعندما تزيد النسبة بين بعدي المقطع عن $\left(\frac{h}{b}\geq 5\right)$ يدرس كجدار.
- لا يقل قطر العمود الدائري عن $35cm$.
- تحدد نسب التسليح الطولي كما يلي:
  - أعمدة واقعة في المناطق الزلزالية $(2,3)$: $\mu_{s\max}=2.5\%$
  - أعمدة واقعة في المناطق الزلزالية $(0,1)$: $\mu_{s\max}=5\%$
  - في مناطق التراكب: $\mu_{s\max}=6\%$
  - التسليح الأصغري للمقطع الحسابي: $A_{s\min}=0.01A'_c$
  - التسليح الأصغري لمقطع أكبر من الحسابي: $A_{s\min}=0.006A'_c$
- عدد قضبان التسليح الطولي لا يقل عن 6 في حالة العمود الدائري، وقضيب واحد في كل زاوية لعمود مضلع.
- لا يقل قطر قضيب التسليح الطولي عن $12mm$.
- لا يزيد تباعد التسليح الطولي عن $30cm$ أو أصغر بعد لمقطع العمود، أيهما أقل.
- لا يقل قطر التسليح العرضي عن ثلث قطر التسليح الطولي، أو عن $6mm$ ، أو $8mm$ في حالة زادت مساحة مقطع العمود عن $0.25m^2$.
- تباعد التسليح العرضي يجب أن يحقق ما يلي:

$$10cm\leq t=\min\begin{cases}30cm\\ b\\ 15\phi_{l\min}\end{cases}$$

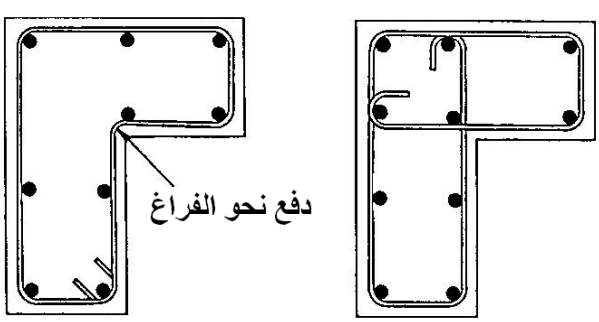
- يجب ألا يترك أي تسليح طولي دون تسليح عرضي عندما يزيد التباعد بين القضبان الطولية عن $15cm$.
- لا تزيد الزاوية بين فرعي الأسوارة عن 135 درجة إلا إذا كان التباعد بين قضبان التسليح الطولي أقل من $150mm$ فيمكن أن يكتفى بتحقيق هذا الشرط على قضبان الزوايا ومن ثم على القضبان الوسطية بالتناوب.

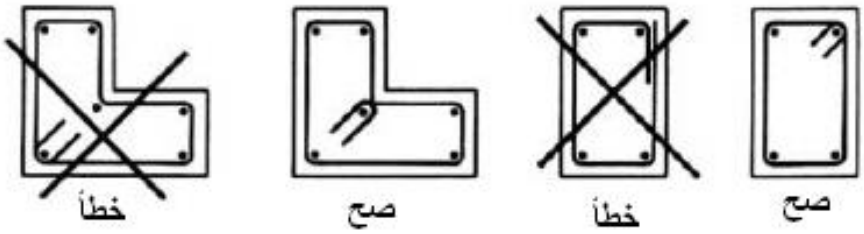
- يفضل إضافة شناكل أو إطارات، إضافة للأساور الحلقية، للأعمدة الدائرية التي يزيد قطرها عن $40cm$.
- يكثف التسليح العرضي في مناطق وصل القضبان، بحيث يتضاعف العدد، مع الانتباه إلى عدم تنفيذ وصلات هذا التسليح على خط شاقولي واحد. وتكثف الأساور أيضاً في حالة الأعمدة المعزولة (منفردة)، وفي حالة الأعمدة المخفية لجدران القص.
- في المناطق الزلزالية (2(A-B-C)&3)، يجب استعمال نسبة تسليح عرضي دنيا، كما في حالة الجوائز، بمعنى:

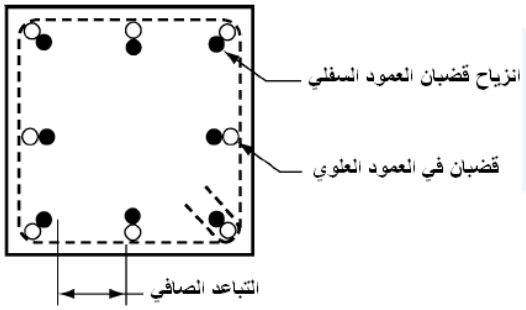
$$A_{st\min} = \frac{0.35}{f_y} b s \,(or\ h s)$$

- عندما تزيد أو تساوي نحافة الأعمدة (المستطيلة أو المربعة) على 40، ($\lambda = \frac{L_O}{i} \geq 40$)، يجب ألا تقل مساحة التسليح الموجودة في كل من طرفي المقطع بالاتجاه المعرض للتحنيب عن 0.3% من مساحة المقطع الكلية.

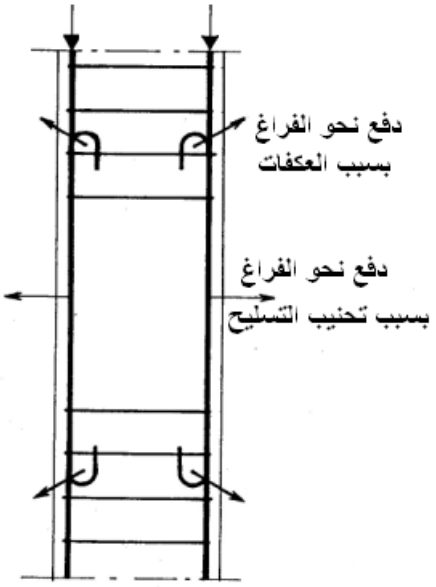
وتبين الأشكال التالية ملخص الاشتراطات المذكورة أعلاه، إضافة لجملة من الإجراءات والترتيبات الخاصة بتسليح الأعمدة.



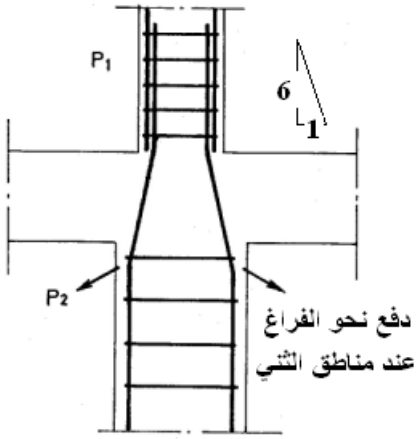




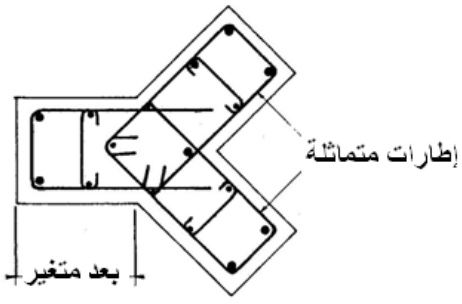
توضع قضبان التسليح الطولي في الأعمدة



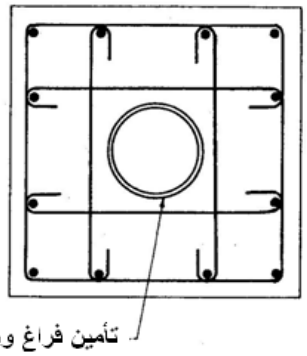
تجنب العكفات في التسليح الطولي للأعمدة



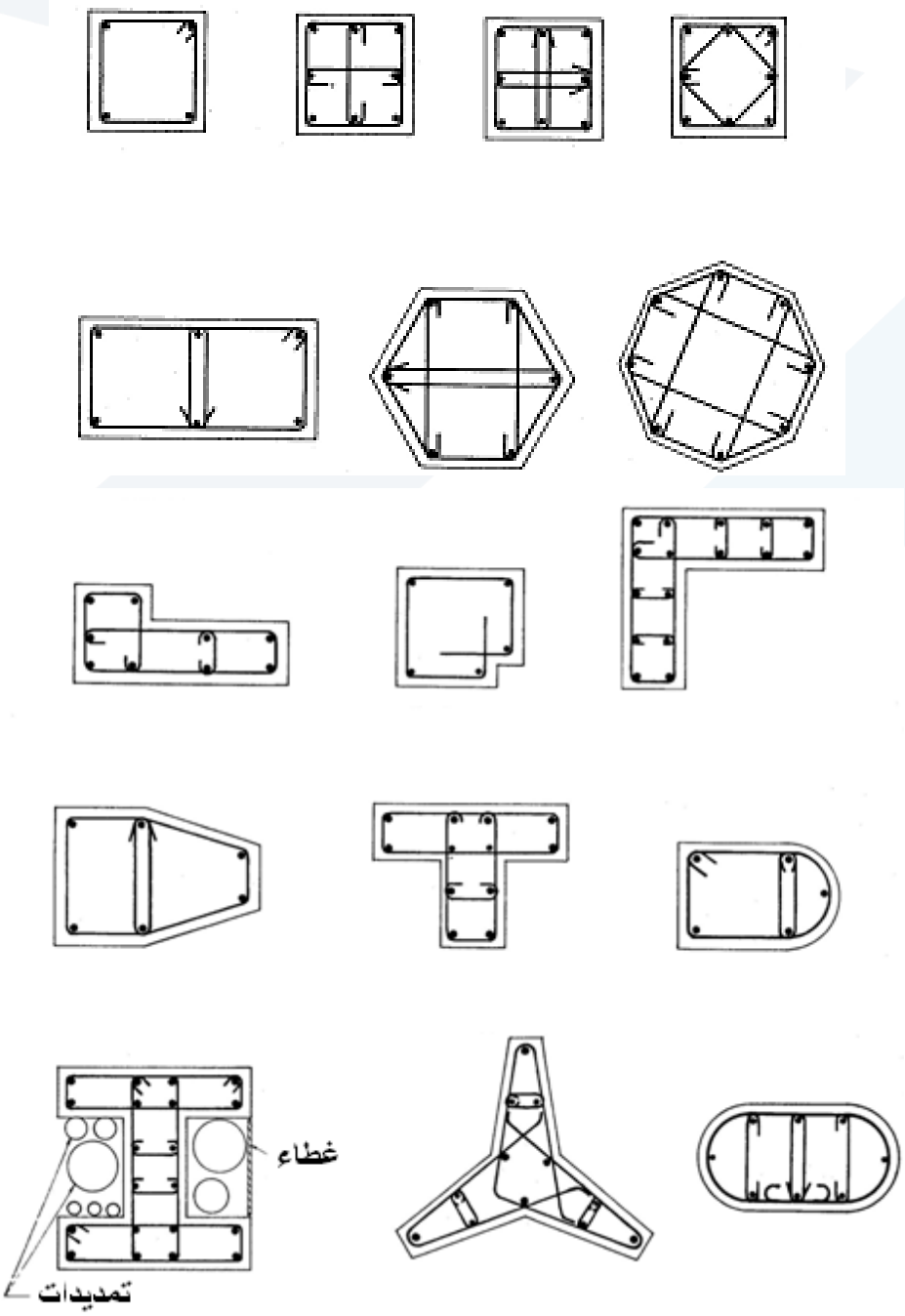
ترتيب يفضل تجنبه
ضرورة تحقيق ميل أقل من 1/6



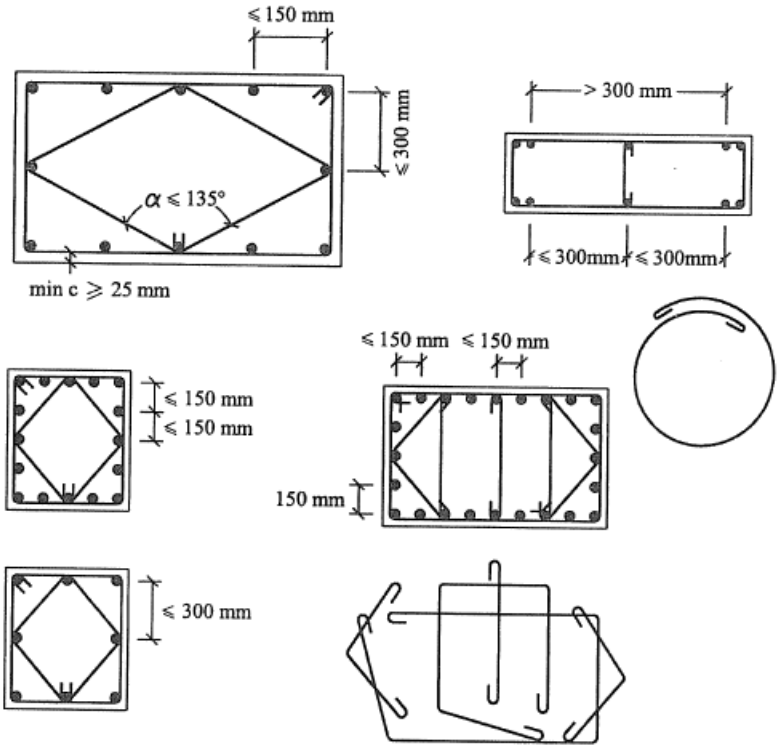
تسليح عمود Y مع تغير جانب منه



تسليح عمود مربع حاوي فراغ وسطي



نماذج تسليح مقاطع الأعمدة البيتونية بأشكال مختلفة



ترتيبات التسليح العرضي في الأعمدة

(الكود السوري)

تسليح عمود في بناء عالي

10-5- تطبيقات على حساب الأعمدة القصيرة

التطبيق الأول: عمود مستطيل قصير مع تسليح عرضي قائم:

يطلب حساب تسليح عمود مقطعه مستطيل $b \times h = 40 \times 80\,cm$ ، وخاضع للحمولات الاستثمارية التالية (غير مصعدة):

- حمولات ناظمية دائمة: $N'_G = 2000kN$
- حمولات ناظمية إضافية: $N'_P = 300kN$

علماً أن:

- $f'_C = 25MPa \quad ; \quad f_y = 400MPa$
- $L_O = 450cm$: طول التحنيب.
- $K_e = 1$: عامل التكافؤ.
- التسليح العرضي المستخدم قائم.

الحل:

1. **دراسة التحنيب:**

نتحقق من اشتراطات العمود القصير (الضغط البسيط):

$$\frac{L_O}{b} = \frac{450}{40} = 11.25 \le 12 \quad O.K.$$

وسوف نتحقق انطلاقاً من عامل النحافة:

$$\lambda = \frac{L_O}{i} \le 40 \quad ; \quad i = \sqrt{\frac{I}{A'_c}} \quad ; \quad I = \frac{hb^3}{12} \quad ; \quad A'_c = bh$$

$$\Rightarrow b \ge \frac{L_O}{11.55} \approx 39cm \quad O.K.$$

بالتالي التحنيب محقق.

2. **الحمولة الحدية القصوى:**

$$N'_u = 1.4N'_G + 1.7N'_P = 1.4 \times 2000 + 1.7 \times 300 = 3310kN$$

3. معادلة توازن القوى:

$$N'_u = 0.8\Omega\left[0.85 f'_c A'_c + f_y A'_s\right]\frac{1}{K_e}$$

$$N'_U = 3310\times10^3 = 0.8\times0.65\left[0.85\times25\times400\times800 + 400A'_s\right]\frac{1}{1}$$

$$\Rightarrow A'_s = -1087mm^2 < 0$$

وهذا يعني أن البيتون يقاوم الحمولة الخارجية لوحده، وأننا نحتاج لتسليح أصغري وفق اشتراطات الكود.

4. حساب التسليح:

باستخدام تسليح أصغري وفق الكود يلزمنا مقطع حسابي مقداره:

$$3310\times10^3 = 0.8\times0.65\left[0.85\times25\left(A'_c\right) + 400\left(0.01A'_c\right)\right]\frac{1}{1}$$

$$\Rightarrow A'_c = 2521cm^2 < 40\times80 = 3200cm^2$$

يكون التسليح الطولي هو الأكبر من ما يلي:

$$A'_{s1} = 0.01\times2521 = 25.21cm^2$$

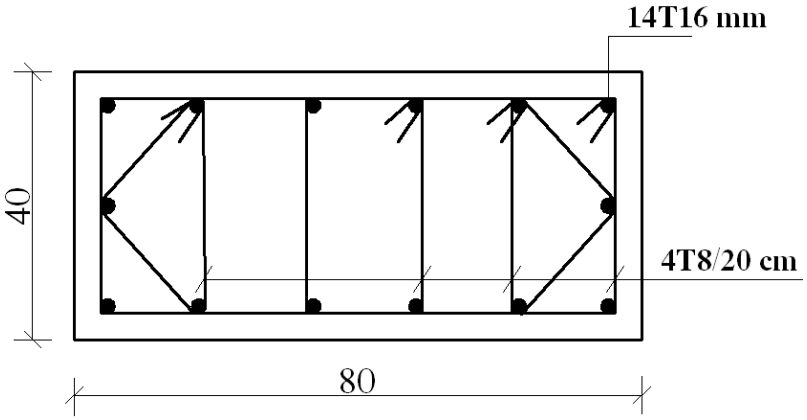
$$A'_{s2} = 0.006\times3200 = 19.20cm^2$$

$$\therefore A'_s = 25.21cm^2 \quad USE\ 14T16mm$$

التسليح العرضي:

$$\phi_t = \max\begin{cases} 8mm \Leftrightarrow \left(A'_C = 0.32m^2 \geq 0.25m^2\right) \\ \dfrac{\phi_l}{3} = \dfrac{16}{3} = 5.3cm \end{cases} \Rightarrow \phi_t = 8mm$$

$$t = \min\begin{cases} 30cm \\ b = 40cm \\ 15\phi_{l\min} = 15\times1.6 = 24cm \end{cases} \Rightarrow t = 20cm$$



التطبيق الثاني: عمود دائري قصير مع تسليح عرضي قائم:

يطلب حساب تسليح عمود دائري، وسطي وعائد لطابق متكرر في بناء سكني، وخاضع للحمولات الاستثمارية التالية:

- حمولات ناظمية دائمة: $N'_G = 800kN$
- حمولات ناظمية إضافية: $N'_P = 200kN$

علماً أن:

- $f'_C = 20MPa \quad ; \quad f_y = 400MPa$
- طول التحنيب: $L = L_O = 400cm$.
- التسليح العرضي المستخدم قائم.

الحل:

1. **دراسة التحنيب:**

نتحقق من اشتراطات العمود القصير (الضغط البسيط):

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

$$\Rightarrow D = 2R \ge \frac{L_O}{10} = 40cm$$

بالتالي يلزمنا عمود بقطر لا يقل عن 40 سم حتى نستطيع حسابه كعمود قصير(ضغط بسيط).

2. **الحمولة الحدية القصوى:**

$$N'_u = 1.4N'_G + 1.7N'_P$$
$$N'_u = 1.4 \times 800 + 1.7 \times 200 = 1460kN$$

3. **حساب التسليح:**

باستخدام تسليح طولي أصغري وفق الكود يلزمنا مقطع حسابي مقداره:

$$N'_u = 1460 \times 10^3 = 0.8 \times 0.65\left[0.85 \times f'_c A'_c + f_y A'_s\right]\frac{1}{K_e}$$

$$= 0.52\left[0.85 \times f'_c A'_c + f_y \mu'_s A'_c\right]\frac{1}{1}$$

$$= 0.52A'_c\left[0.85 \times f'_c + f'_y(0.01)\right]$$

$$N'_u = 1460 \times 10^3 = 0.52A'_c\left[0.85 \times 20 + 400 \times 0.01\right]$$

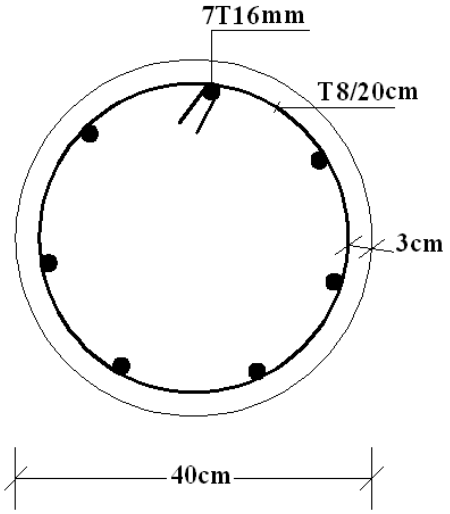
$$\Rightarrow A'_c \approx 1337cm^2 \rightarrow D \approx 40cm$$

نلاحظ أن شرط التحنيب المحدد لقطر العمود هو مطابق نسبياً لتحقيق شرط المقاومة، بالتالي سوف نختار مساحة التسليح الأصغرية:

$$\therefore A'_s = 0.01 \times 1337 = 13.37 cm^2 \quad USE\ 7T16mm\ or\ 9T14mm$$

التسليح العرضي:

$$\phi_t = T8mm \quad ; \quad t = 20cm$$



التطبيق الثالث: عمود دائري قصير مع تسليح عرضي قائم و حلزوني:

يطلب تصميم عمود دائري باستخدام تسليح عرضي قائم وآخر حلزوني، علماً أن:

- الحمولات الناظمية الدائمة غير المصعدة: $N'_G = 1200kN$
- الحمولات الناظمية الإضافية غير المصعدة: $N'_P = 300kN$
- المقاومة المميزة للبيتون: $f'_C = 20MPa$
- المقاومة المميزة للتسليح الطولي والعرضي: $f_y = f_{ysp} = 400MPa$
- طول التحنيب: $L_O = 400cm$، عامل التكافؤ: $K_e = 1$

الحل:

أولاً- التسليح العرضي المستخدم قائم:

1. دراسة التحنيب:

$$D \geq \frac{L_O}{10} = \frac{400}{10} = 40cm$$

2. الحمولة الحدية القصوى:

$$N'_u = 1.4N'_G + 1.7N'_P$$
$$N'_u = 1.4\times 1200 + 1.7\times 300 = 2190kN$$

3. حساب مساحة مقطع البيتون مع نسبة تسليح أصغرية:

$$\mu'_s = 1\%$$

$$N'_u = 2190\times 10^3 = 0.8\times 0.65\left[0.85\times f'_c A'_c + f_y A'_s\right]\frac{1}{K_e}$$
$$= 0.52\left[0.85\times f'_c A'_c + f_y \mu'_s A'_c\right]\frac{1}{1}$$
$$= 0.52A'_c\left[0.85\times f'_c + f'_y(0.01)\right]$$
$$= 0.52A'_c\left[0.85\times 20 + 400\times 0.01\right]$$
$$\Rightarrow A'_c \approx 2005.5cm^2 \rightarrow D = 50.5cm$$

$$USE\begin{cases} D = 55cm\left(A'_c = 2375cm^2\right) \\ 10T16mm \end{cases} \quad \begin{pmatrix} A_S = 0.01\times 2005.5 = \underline{20.06cm^2} \\ A_S = 0.006\times 2375 = 14.25cm^2 \end{pmatrix}$$

التسليح العرضي:

$$\phi_t = T8mm \quad ; \quad t = 20cm$$

4. حساب مساحة مقطع البيتون مع نسبة تسليح أعظمية:

$$\mu'_s = 2.5\%$$

$$N'_u = 2190\times 10^3 = 0.8\times 0.65\left[0.85\times f'_c A'_c + f_y A'_s\right]\frac{1}{K_e}$$
$$= 0.52A'_c\left[0.85\times 20 + 400\times 0.025\right]$$
$$\Rightarrow A'_c \approx 1560cm^2 \rightarrow D = 44.6cm$$

$$USE\begin{cases} D = 45cm\left(A'_c = 1590cm^2\right) \\ A'_s = 0.025\times 1560 = 39cm^2 \Leftrightarrow 10T22mm \end{cases}$$

التسليح العرضي:

$$\phi_t = T8mm \quad ; \quad t = 20cm$$

ثانياً – حالة التسليح الحلزوني:

ننطلق من شرط التحنيب:

$$D \geq 40cm \Rightarrow A'_c = 1256cm^2$$

$$d_k = 40 - 2\times 3 = 34cm \Rightarrow A'_k = \frac{\pi \times \overline{34}^2}{4} = 907cm^2$$

$$N'_u = 2190kN$$

$$N'_u = 0{,}85\Omega\left[0{,}85\, f'_c\, A'_k + f_y\, A'_s + 2{,}50\, f_{ysp}\, A_{sp}\right]\frac{1}{K_e}$$

$$\mu'_{ks} = \frac{A'_s}{A'_k} \quad ; \quad \mu_{sp} = \frac{A_{sp}}{A'_k} \quad ; \quad A_{sp} = \frac{\pi\, d_k\, a_{sp}}{s}$$

$$A'_c = \frac{\pi D^2}{4} \quad ; \quad A'_k = \frac{\pi\, d_k^2}{4} \quad ; \quad a_{sp} = \frac{\pi\, \phi_{sp}^2}{4}$$

نحدد نسبة التسليح الحلزوني (μ_{sp}):

$$\mu_{sp} \geq 0.45\frac{f'_c}{f_{ysp}}\left(\frac{A'_c}{A'_k} - 1\right) = 0.45\frac{20}{400}\left(\frac{1256}{907} - 1\right) = 0.009$$

نحدد نسبة التسليح الطولي (μ'_{ks}) من معادلة التوازن:

$$N'_u = 0{,}85\Omega\left[0{,}85\, f'_c\, A'_k + f_y\, A'_s + 2{,}50\, f_{ysp}\, A_{sp}\right]\frac{1}{K_e}$$

$$N'_u = 0{,}85\times 0.65\left[0{,}85\, f'_c\, A'_k + \mu'_{ks}\, A'_k\, f_y + 2{,}50\mu_{sp} A'_k\, f_{ysp}\right]\frac{1}{1}$$

$$N'_u = 0{,}85\times 0.65\times A'_k\left[0{,}85\, f'_c + \mu'_{ks}\, f_y + 2{,}50\mu_{sp}\, f_{ysp}\right]$$

$$2190\times 10^3 = 0{,}85\times 0.65\times 90700\left[0{,}85\times 20 + \mu'_{KS}\times 400 + 2{,}50\times 0.009\times 400\right]$$

$$\Rightarrow \quad \mu'_{ks} = 0.0443 >> 0.025 \quad N.G.$$

نعود ونختار نسبة التسليح الأعظمية:

$$\mu'_{ks} = 0.025 \Rightarrow \quad A'_s = 0.025\times 907 = 22.68cm^2$$

نحسب الآن (μ_{sp}) اللازمة:

$$2190\times 10^3 = 0{,}85\times 0.65\times 90700\left[0{,}85\times 20 + 0.025\times 400 + 2{,}50\times 400\mu_{sp}\right]$$

$$\Rightarrow \quad \mu_{sp} = 0.0167$$

$$\mu_{sp\max} = 0.34\left[\left(1.412\frac{A'_c}{A'_k} - 1\right)\frac{f'_c}{f_{ysp}} + 0.484\frac{A'_s}{A'_k}\frac{f_y}{f_{ysp}}\right]$$

$$\mu_{sp\max}=0.34\left[\left(1.412\frac{1256}{907}-1\right)\frac{20}{400}+0.484\frac{22.68}{907}\frac{400}{400}\right]=0.02$$

$$\mu_{sp}=0.0167<\mu_{sp\max}=0.02\ \ O.K.$$

بالتالي نحسب المقطع المكافئ للتسليح الحلزوني:

$$A_{sp}=\mu_{sp}\,A'_{k}=0.0167\times 907=15.15cm^2$$

نختار خطوة الحلزون:

$$4cm\le s=6cm\le \min\left[8cm\,;\,d_K/5=34/5=6.8cm\right]$$

ونحدد مقطع وقطر قضيب الحلزون:

$$a_{sp}=\frac{A_{sp}\,s}{\pi\,d_k}=\frac{15.15\times 6}{3.14\times 34}=0.85cm^2$$

$$\phi_{sp}=\sqrt{\frac{4a_{sp}}{\pi}}=1.04cm$$

$$USE\,\phi_{sp}=10mm\quad;\quad s=5cm$$

$$\Rightarrow a_{sp}=\frac{\pi\times 1^2}{4}=0.785\Rightarrow A_{sp}=\frac{\pi\,d_k\,a_{sp}}{s}=\frac{3.14\times 34\times 0.785}{5}=16.76cm^2$$

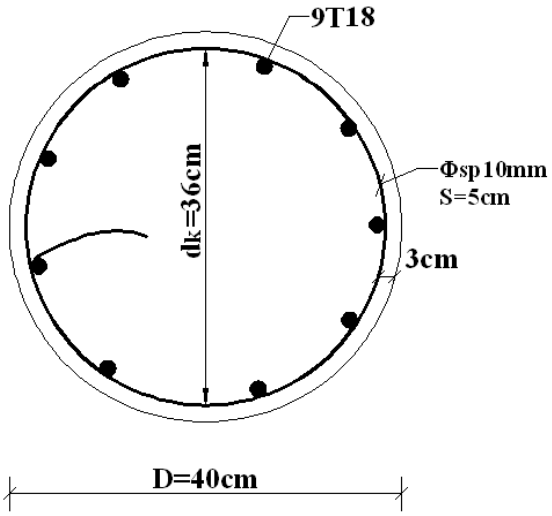
$$\Rightarrow \mu_{sp}=\frac{16.76}{907}=0.0185<\mu_{sp\max}=0.02\quad O.K.$$

ويكون التسليح الطولي: $A'_s=22.68\ cm^2\quad USE\quad 9T18\ mm=22.9\ cm^2$

أخيراً نتحقق من شرط عدم انهيار طبقة التغطية:

$$N'_{uR}=0,85\times 0.65\left[0,85\times 20\times 90700+400\times 2290+2,50\times 400\times 1676\right]$$
$$=2284kN$$

$$2284\,kN\le 1.5\times 0.52\left[0.85\times 20\times 125600+400\times 2290\right]=2380\,kN\quad O.K.$$



10-6- حساب الأعمدة الطويلة – حالة حد الاتزان الناتج عن التحنيب

كما رأينا سابقاً، تحسب الأعمدة في المباني على أساس أنها أعمدة قصيرة عندما يتحقق ما يلي:

- حمولة الضغط المطبقة هي حمولة ناظمية مركزية.
- تأثير التحنيب مهمل، بمعنى: $\left(\lambda = \frac{L_O}{i} \le 40\right)$.

بالمقابل تحسب الأعمدة على الضغط اللامركزي في الحالتين التاليتين:

- قوة الضغط لا تمر من مركز ثقل المقطع $\left(e = \frac{M_u}{N'_u}\right)$.
- الأعمدة طويلة حيث لا يمكن إهمال تأثير التحنيب: $\left(\lambda = \frac{L_O}{i} > 40\right)$. في الواقع، وبسبب التأثير المتبادل بين الأحمال الناظمية وتشوهات العنصر النحيف المضغوط، يتحول حساب حالة حد الاتزان الناتج عن تحنيب العناصر الطويلة، إلى حساب المقاومة القصوى للعزوم الأصلية $(M_{u0} = N'_u(e_0))$، وتلك الناجمة عن التحنيب $(M_{uc} = N'_u(e_c))$.

نعرض فيما يلي القيم العظمى المسموحة للنحافة (λ) وفق ما ورد في الكود السوري:

أ. يجب ألا تزيد نحافة العنصر المضغوط $\left(\lambda = \frac{L_O}{i}\right)$ في كل اتجاه عن 100 إلا في الحالتين التاليتين:

- عندما يجري تحليل حسابي للمنشأ بالطرق الدقيقة مع أخذ الأفعال من الدرجة الثانية بالحسبان (أي تأثير انحراف المنشأ على القوى الداخلية فيه، $(P-\Delta)$)، سواء أكان العمود معرض لضغط بسيط أم غيره.
- في العناصر المضغوطة ذات الأهمية الثانوية كالعناصر التزينية أو المتقاربة.

ب. وفي جميع الحالات، يجب ألا تزيد نحافة العنصر المضغوط في كل اتجاه عن 150.

بالنتيجة، يمكن أن يؤخذ بالحسبان أثر التحنيب، بحساب مقطع العمود أو العنصر المضغوط الذي لا تزيد نحافته عن 100، في حالة الحد الأقصى تحت تأثير القوة الناظمية الحدية المطبقة عليه (N'_u)، مترافقة مع عزم انعطاف حدي (M_u) مقداره:

$$M_u = N'_u(e_0 + e_a + e_c)$$

حيث: e_0 تمثل اللامركزية الأصلية المطبقة، الناجمة عن الحمولات الخارجية.

e_a اللامركزية الطارئة.

$$e_0 = \frac{M_{ui}}{N'_{ui}}$$

$$e_a = \max\left[25mm\,;\frac{h}{20}\,;\frac{L_0}{250}\right]$$

مع الانتباه إلى ضرورة تحقيق ما يلي:

- لامركزية التحنيب الإضافية معدومة $(e_c = 0)$: $e_0 + e_a \geq \frac{h}{12.5}$
- لامركزية التحنيب الإضافية غير معدومة: $e_0 + e_a + e_c \geq \frac{h}{10}$

حيث: L_0 طول التحنيب للعنصر المضغوط، على ألا يقل عن طوله الحر L.

h البعد الكلي للمقطع في اتجاه التحنيب المدروس.

M_{ui} العزم الحدي الأعظمي، و N'_{ui} القوة الناظمية الحدية المرافقة.

ويتم حساب قيمة اللامركزية الإضافية e_c كما يلي:

$$e_c = \frac{\beta\lambda^2(e_0 + e_a + h)}{30000} \leq \frac{\beta\lambda^2 h}{15000}$$

حيث:

$\beta = 1.65 - 0.65\alpha$ في حالة الجو الجاف.

$\beta = 1.30 - 0.33\alpha$ في حالة الجو الرطب.

$$\alpha = \frac{M_{us}}{M_{ui}} \leq 1.00$$

M_{us} : الجزء من M_{ui} ، الناتج عن الحمولات الآنية : رياح، زلازل، مركبات أو آلات متحركة (بضمنها الأثر الديناميكي)، والحمولة الحية المطبقة على السطوح ذات الاستعمال القليل أو النادر.

من أجل $\alpha \leq 0$ نعتمد قيمتها المطلقة بما لا يزيد على 1.

وفي الحالات التي تكون فيها $\alpha > 0$ ، يجب أن يتم التحقق من قدرة تحمل العمود لحالة تحميل لا تشمل الحمولات الآنية مع افتراض قيمة $\alpha = 0$.

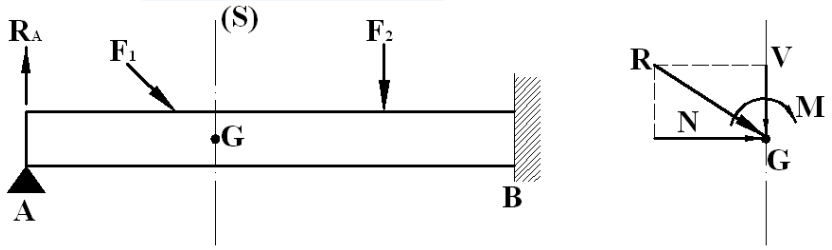
10-7- الإطارات من البيتون المسلح

أ- مقدمة عن الانعطاف المركب:

يخضع العنصر الإنشائي للانعطاف المركب عندما يمكن اختزال القوى العاملة عليه (بما فيه ردود أفعال المساند) والواقعة إلى يسار المقطع القائم (S) بالنسبة لمركز ثقل المقطع (G)، إلى عزم (M) وقوة مائلة (R) ، بقيمة ما على مستوى المقطع.

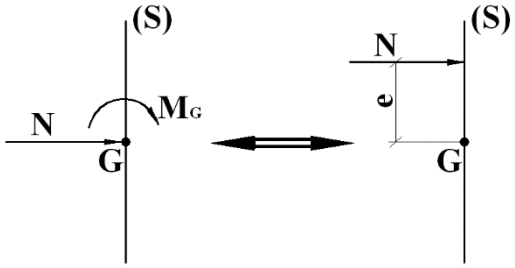
يمكن تحليل هذه المحصلة (R) إلى مركبتين، كما هو مبين في الشكل (10-19).

- جهد ناظمي (N) عمودي على مستوى المقطع.
- جهد قاطع (قوة قص) (V) واقع في مستوى المقطع.



الشكل (10-19): عنصر إنشائي خاضع لانعطاف مركب

لندرس جملة من القوى مؤلفة من (N) و (M_G) ، حيث (M_G) يمثل العزم بالنسبة لمركز ثقل المقطع للقوى الخارجية الواقعة على يسار هذا المقطع، وفق الشكل (10-20). تكافئ هذه الجملة تلك الجملة المؤلفة من القوة (N) الواقعة على مسافة $\left(e = \frac{M_G}{N}\right)$ من النقطة G ، لأن لهاتين الجملتين العزم المحصل نفسه والمحصلة العامة نفسها بالنسبة للنقطة G ، تدعى e اللامركزية .



الشكل (10-20)

يشتغل المقطع إذن على الانعطاف المركب :

- إذا خضع لعزم انعطاف (M) وجهد ناظمي (N) مطبق في مركز الثقل أو في أية نقطة (O) من المقطع .
- إذا خضع لجهد ناظمي غير مركزي.

عندما يكون الجهد الناظمي المطبق جهد ضـغط نقول إن المقطع معرض لضـغط لامركزي (N',M) ، وعندما يكون الجهد الناظمي المطبق جهد شد نقول إن المقطع معرض لشد لامركزي (N,M) .

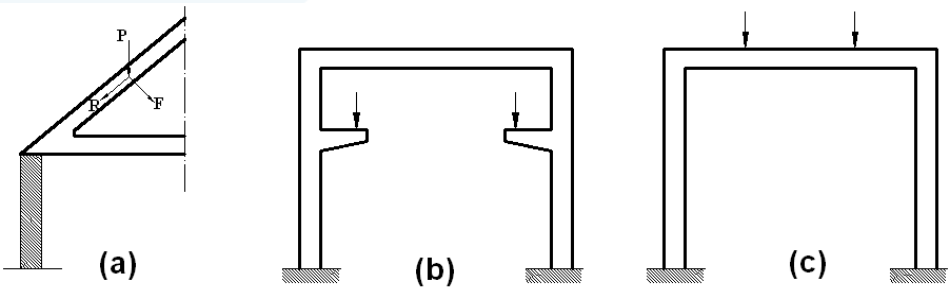
ويوضح الشكل (10-21) بعض الأمثلة من الجمل والعناصر الخاضعة للانعطاف المركب.

(a) سقف على شكل جائز شبكي،

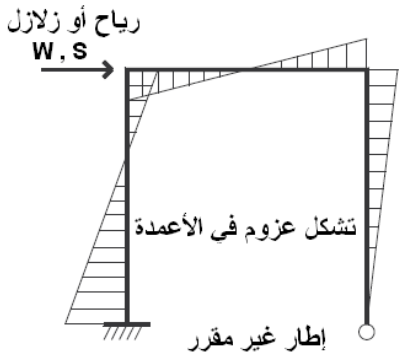
(b) إطار يحمل الجوائز الرافعة المتحركة،

(c) إطار محمل في عارضته الأفقية.

والشكل (10-22) يبين أن أعمدة الإطار تخضع لانعطاف مركب، عند تعرضها لأفعال أفقية من زلازل أو رياح.

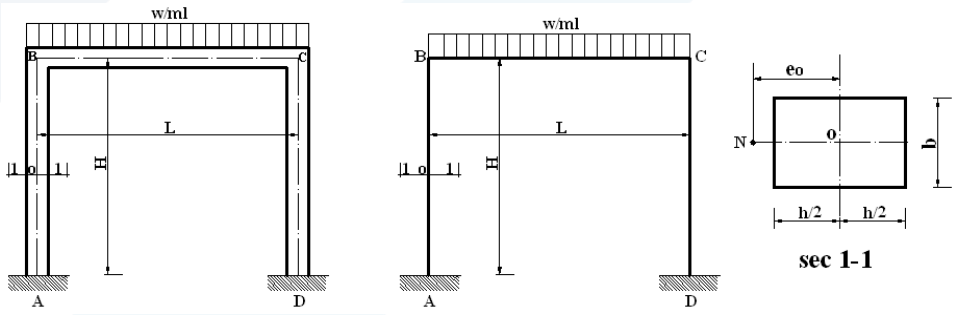


الشكل (10-21): بعض الأمثلة من الجمل والعناصر الخاضعة للانعطاف المركب



الشكل (10-22): أعمدة الإطار الخاضعة لانعطاف مركب، عند تعرضها لأفعال أفقية من زلازل أو رياح

لا تعرف إلا نادرا نقطة مرور الجهد الناظمي غير المركزي. ويعرف بصورة عامة الانعطاف المركب بجهد ناظمي (N) وبعزم انعطاف (M_O) مأخوذين بالنسبة لنقطة (O) من المقطع. وقد رأينا أنه يمكن الرجوع للحالة السابقة بأخذ المسافة $\left(e=\frac{M_O}{N}\right)$ اعتبارا من (O)، فنحصل بذلك على جملتين متكافئتين. من الضروري إذن معرفة بالنسبة لأية نقطة، يكون الجهد الناظمي والعزم معروفين (الشكل 10-23).



الشكل (8-23)

في حساب الجمل غير المقررة ستاتيكيا، يؤخذ بالحسبان مركز ثقل مقطع البيتون بمجمله بما فيه البيتون المشدود، لأن حساب الجمل غير المقررة يعتمد على حساب التغيرات في حين يهمل البيتون المشدود فقط في حسابات المقاومة.

أما فيما يتعلق بحقيقة عدم أخذ التسليح بالحسبان في حساب مركز الثقل، فيبدو أن ذلك لا يمكن تجنبه تقريباً، لأن التسليح غير معروف في البداية، ولأن معرفة قيم (N) و (M) هي التي تسمح بتعيينه على وجه التحديد. إضافة إلى ذلك تعتبر النتائج التي يتم الحصول عليها اعتباراً من هذا التقريب مقبولة، بسبب كون مقطع التسليح صغيراً عموماً بالمقارنة مع مقطع البيتون.

ب- الحمولات – ملاحظات هامة حول الإطارات وتسليح العقد:

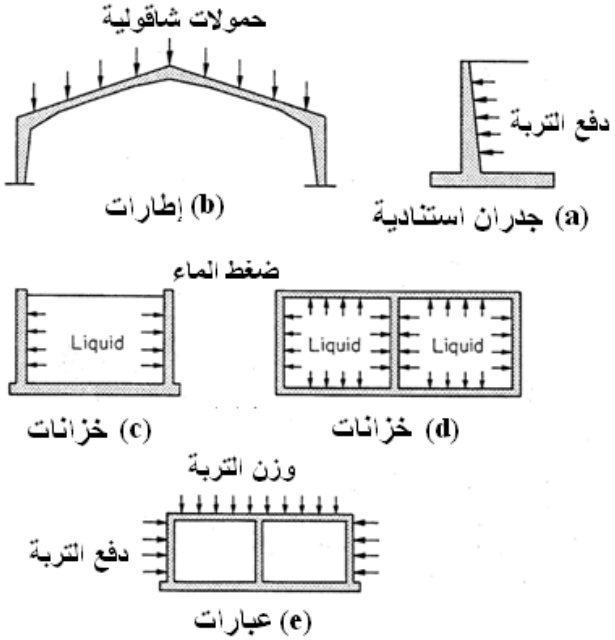
كما ذكرنا سابقاً حول قانون إنقاص الحمولات الإضافية العظمى، الخاص بالأبنية المعدة للسكن ذات الطوابق المتكررة حيث يندر أن تكون هذه الحمولات مطبقة بكاملها وبآن واحد، فإننا نؤكد على ضرورة تطبيق هذا القانون على العناصر الحاملة كالجدران والأعمدة والأساسات يزيد عدد الطوابق عن خمسة، بحيث لا تستعمل الطوابق كمستودعات أو مخازن أو مشاغل أو مدارس أو أماكن عامة يمكن أن يفرض استخدامها المتوقع تحميل الطوابق بالحمولات الإضافية القصوى في نفس الوقت.

وكذلك نشير على إمكانية إهمال أوزان الجدران والقواطع الخفيفة المتوضعة على بلاطات خاضعة لحمولة إضافية أكبر من $6\ kN/m^2$، حيث يعتبر القاطع أو الجدار خفيف عندما لا يزيد وزن المتر المربع من مساحته عن ($\leq 1.5\ kN/m^2$) .

ونبين فيما يلي مجموعة من الملاحظات العامة حول دراسة وتصميم الإطارات من البيتون المسلح:

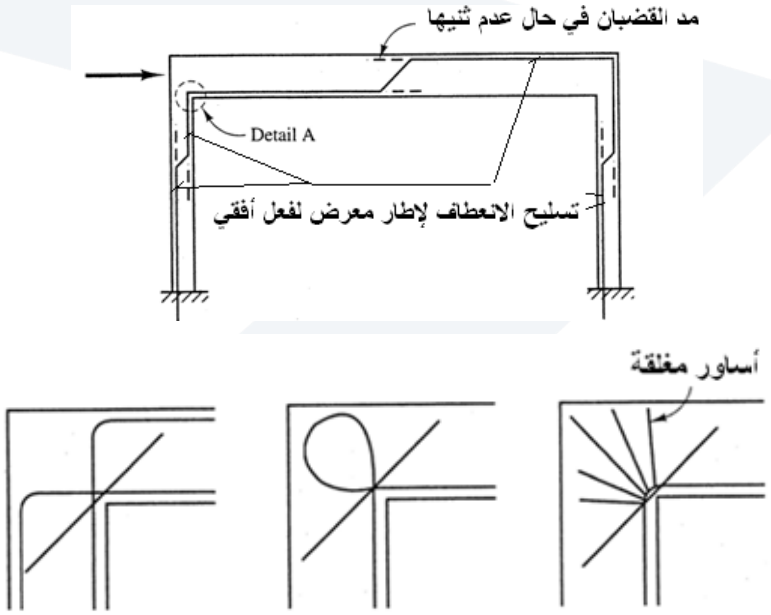
- نظراً لكون الإطار جملة غير مقررة، يستطيع المصمم عن طريق التلاعب بقيم عطالات وسماكات الأعمدة والعارضة الأفقية، التحكم بقيم العزوم الموجبة والسالبة، حيث تجر العطالات الكبيرة، العزوم إليها.
- عندما تكون تربة التأسيس صخرية، يعتبر الإطار في هذه الحالة، موثوقاً تماماً عند الوجه العلوي للأساس البيتوني المسلح، وكذلك في حالة تنفيذ هذا الأساس محصوراً تماماً في جوانبه بالأرض الصخرية، أو عند التأسيس على أوتاد، لا يكون هناك حاجة لعمل شداد من شأنه مقاومة رد الفعل الأفقي عند قاعدة العمود، وإلغاء قوى الانزلاق. في الحالة المعاكسة وعندما تبلغ فتحة الإطار ستة أمتار فما فوق، يتوجب شداد تحت مستوي الأرض الطبيعية وعند الوجه العلوي للأساس، ندعم هذا الشداد عند المنتصف في حال زيادة طوله على عشرة أمتار.
- في التربة الضعيفة التي يبلغ فيها الاجهاد المسموح حوالي $\overline{\sigma}_s = 0.1MPa$ ، وعندما يكون الأساس رقيقاً أي قابلاً للدوران، يحسب الإطار على اعتبار أنه متمفصل من الطرفين.
- في الحالات الأخرى، يعتبر الإطار موثوقاً وثاقة جزئية في أطرافه بدرجة تتراوح بين الحالتين السابقتين.
- في المجازات الكبيرة وحتى 20 متر كحد أقصى، وعند الرغبة في تخفيف الاجهادات على تربة التأسيس، يمكن إحداث مفاصل حقيقية في منطقة اتصال العمود بالأساس، وتحسب الإطارات في هذه الحالة على اعتبار أنها متمفصلة من الطرفين.
- إضافة لعقد إطارات الأبنية والمنشآت الصناعية، يوجد بعض المنشآت الحاوية على عقد وزوايا تشكل مناطق حرجة يتوجب الاهتمام بها من حيث التسليح ومن حيث الأبعاد، ونذكر منها الجدران الاستنادية والعبارات وخزانات المياه وغيرها. هذه الزوايا أو المناطق يمكن أن تتعرض لعزوم فتح أو عزوم غلق، ونبين في الشكل (10-

24) بعض من هذه الحالات، مع الإشارة إلى أن العقد الخاضعة لعزوم فتح هي خطيرة جداً وتشكل فعلاً مناطق حرجة نتيجة تشكل قوى الدفع نحو الفراغ، بالتالي ضرورة اتخاذ الإجراءات والترتيبات المناسبة عند تنفيذ تسليحها.



الشكل (10-24)

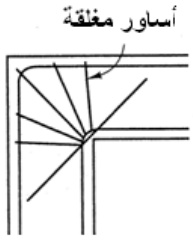
- يبين الشكل (10-25) إطار من البيتون المسلح، معرض لفعل أفقي. يتم تسليح عناصره وفق الألياف المشدودة، حيث نلاحظ أن الزاوية اليسارية تتعرض لعزوم فتح، ويجب تزويد هذه المنطقة بتسليح إضافي يساعد في تثبيت تسليح الانعطاف، ويلعب التسليح القطري دوراً مهماً في الحد من التشققات.



تفاصيل تسليح زوايا الإطار

الشكل (10-25)

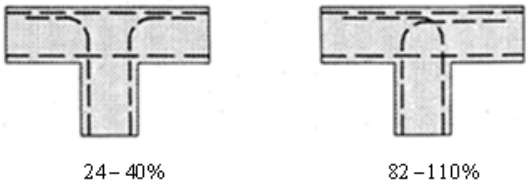
- أما الشكل (10-26)، يوضح تفصيلة تسليح عقدة إطار معرضة لعزوم متناوبة.



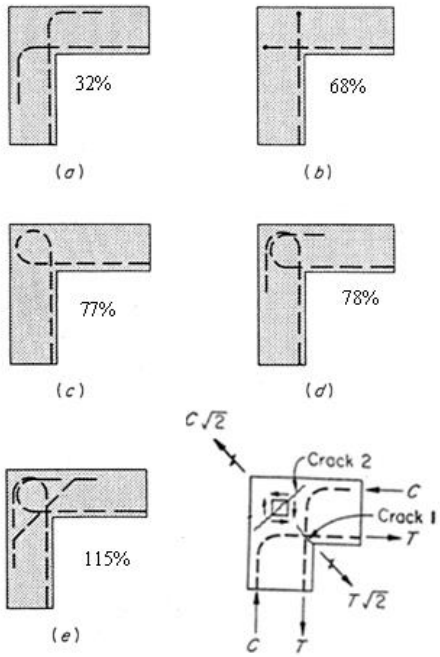
تفصيلة عقدة معرضة
لعزوم متناوبة

الشكل (10-26)

- وتظهر الأشكال التالية، أهمية دور ترتيب وتفصيل التسليح على سلوك وفعالية العقد، وذلك لنسبة تسليح واحدة $\mu_s = 0.75\%$. بالتالي ضرورة اعتماد الترتيب الذي يعطي فعالية جيدة للعقد.

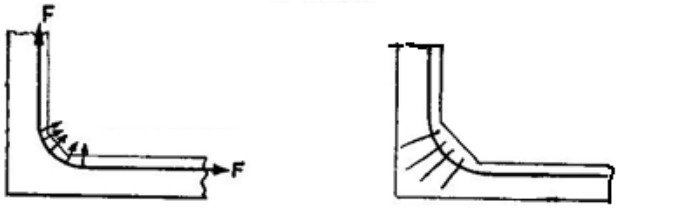


فعالية تسليح العقد T

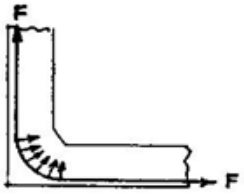


فعالية تسليح العقد الركنية
الخاضعة لعزوم فتح
عقدة L

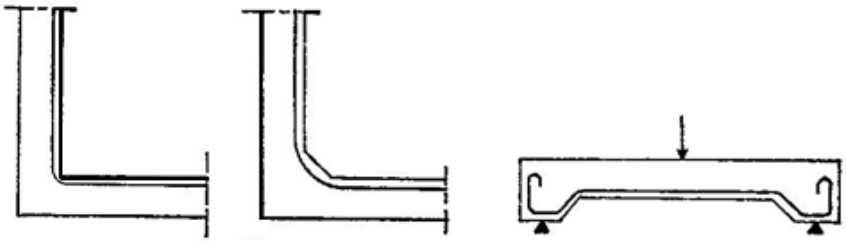
- ونبين في الأشكال التالية الترتيبات الصحيحة مقارنة مع الترتيبات الخاطئة، لتوضع قضبان التسليح عند العقد أو الزوايا بهدف تجنب الفعل السلبي لقوة الدفع نحو الفراغ.



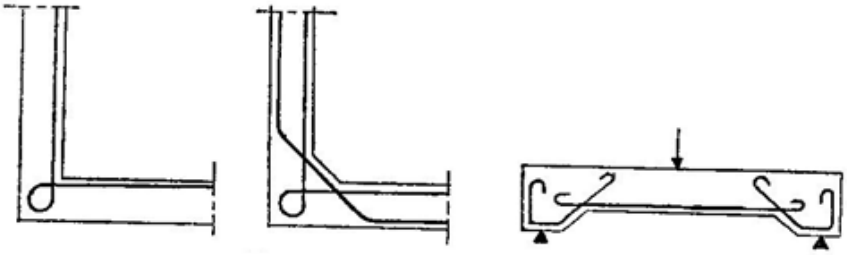
حل سيئ لمنع الدفع نحو الفراغ وجود خطر الدفع نحو الفراغ



لا يوجد خطر

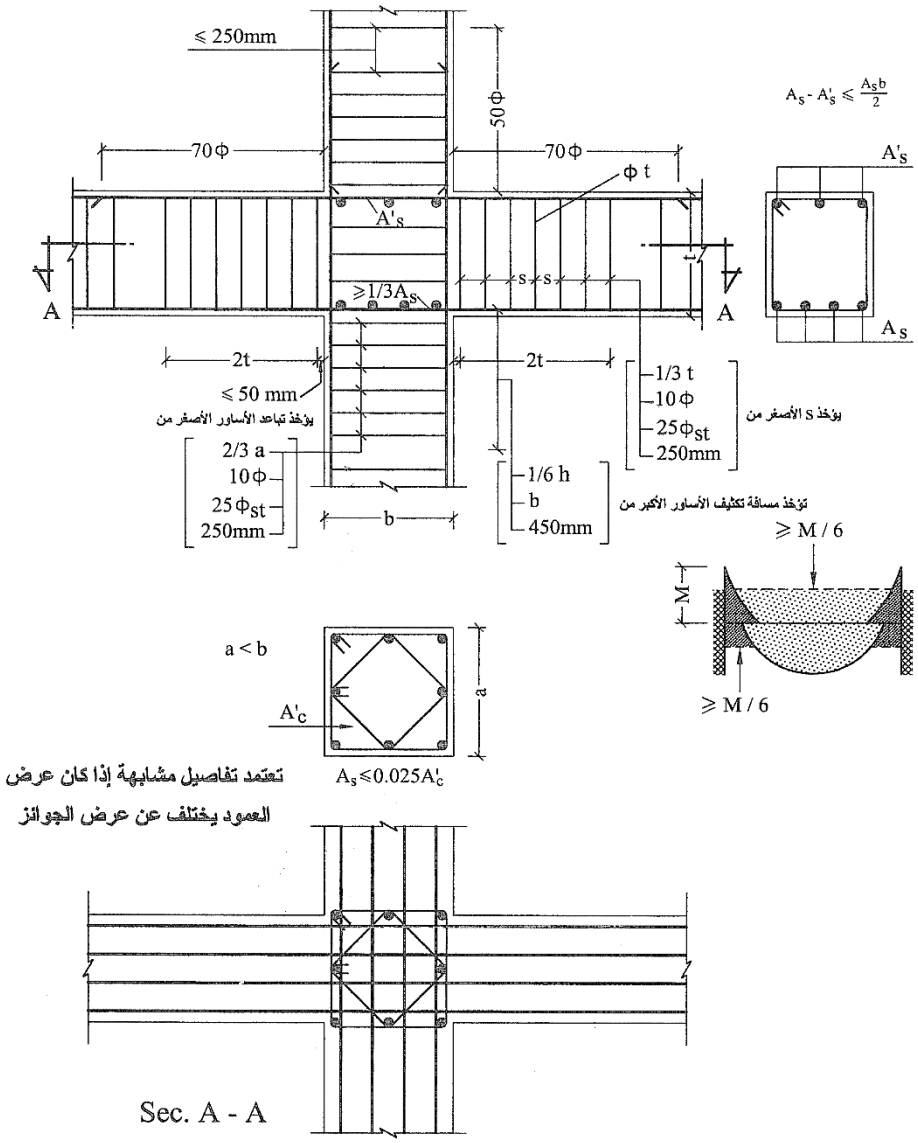


ترتيبات غير صحيحة



ترتيبات صحيحة

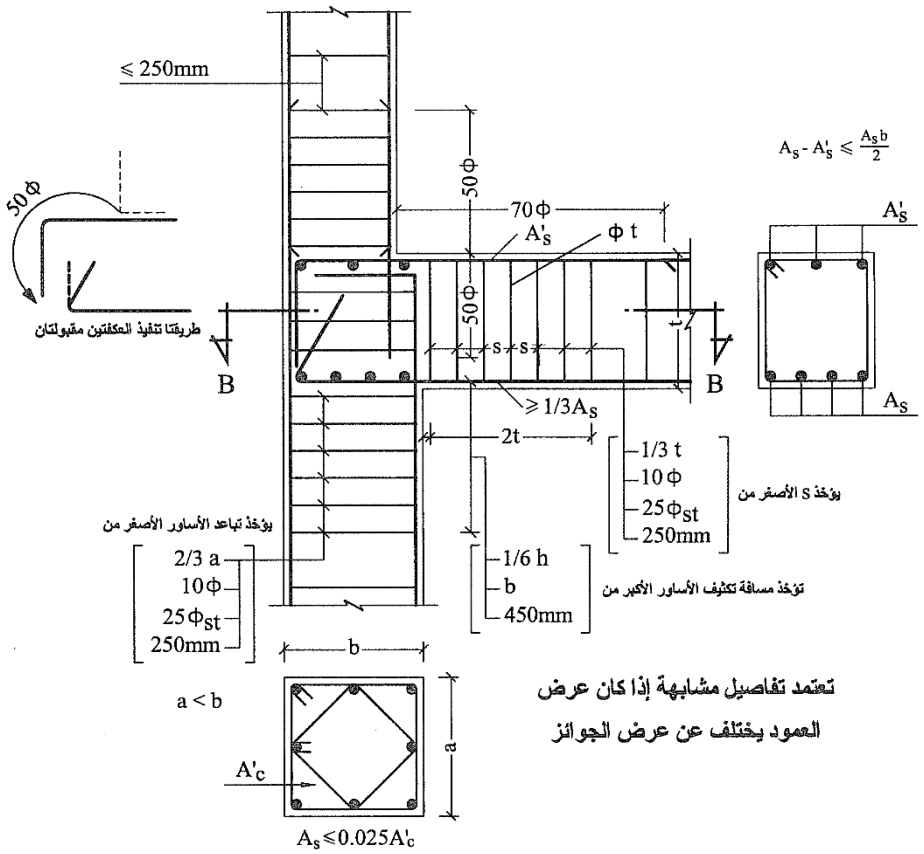
- وفيما يخص تسليح العقد في إطارات الأبنية المقاومة للعزوم، نعتمد تفاصيل التسليح المنصوص عنها في الكود السوي وملحقاته، وذلك وفقاً للمنطقة الزلزالية، كما هو مبين في الأشكال التالية.

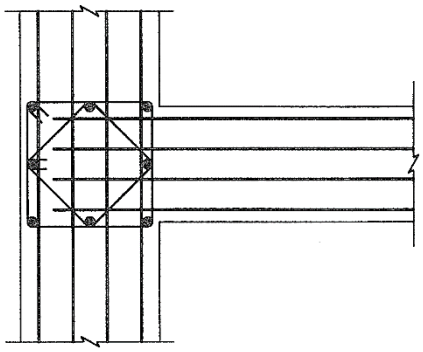


تفاصيل تسليح عقدة وسطية للجوائز مع الأعمدة

– مقاطع الأعمدة ثابتة -

المنطقة الزلزالية (1)



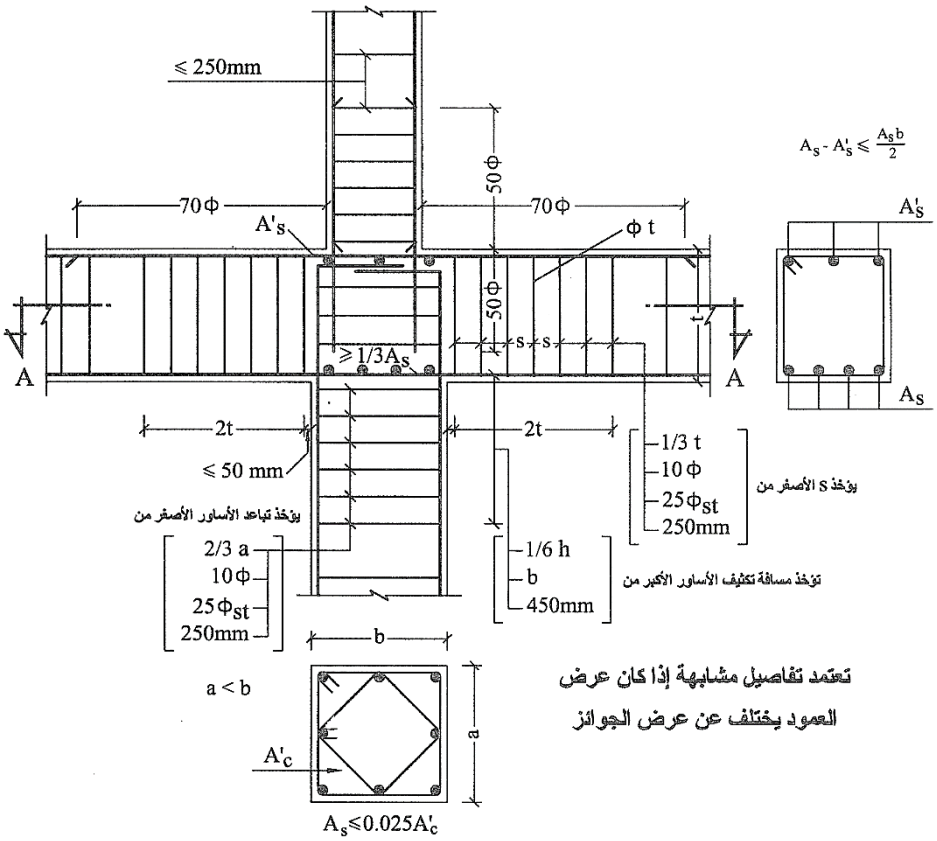


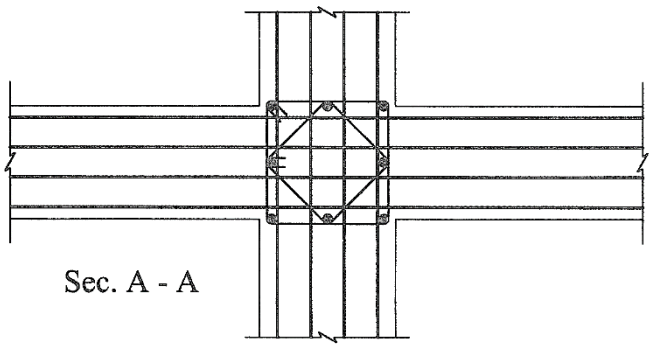
Sec. B - B

تفاصيل تسليح عقدة طرفية للجوائز مع الأعمدة

– حالة العمود العلوي أصغر من العمود السفلي -

المنطقة الزلزالية (1)

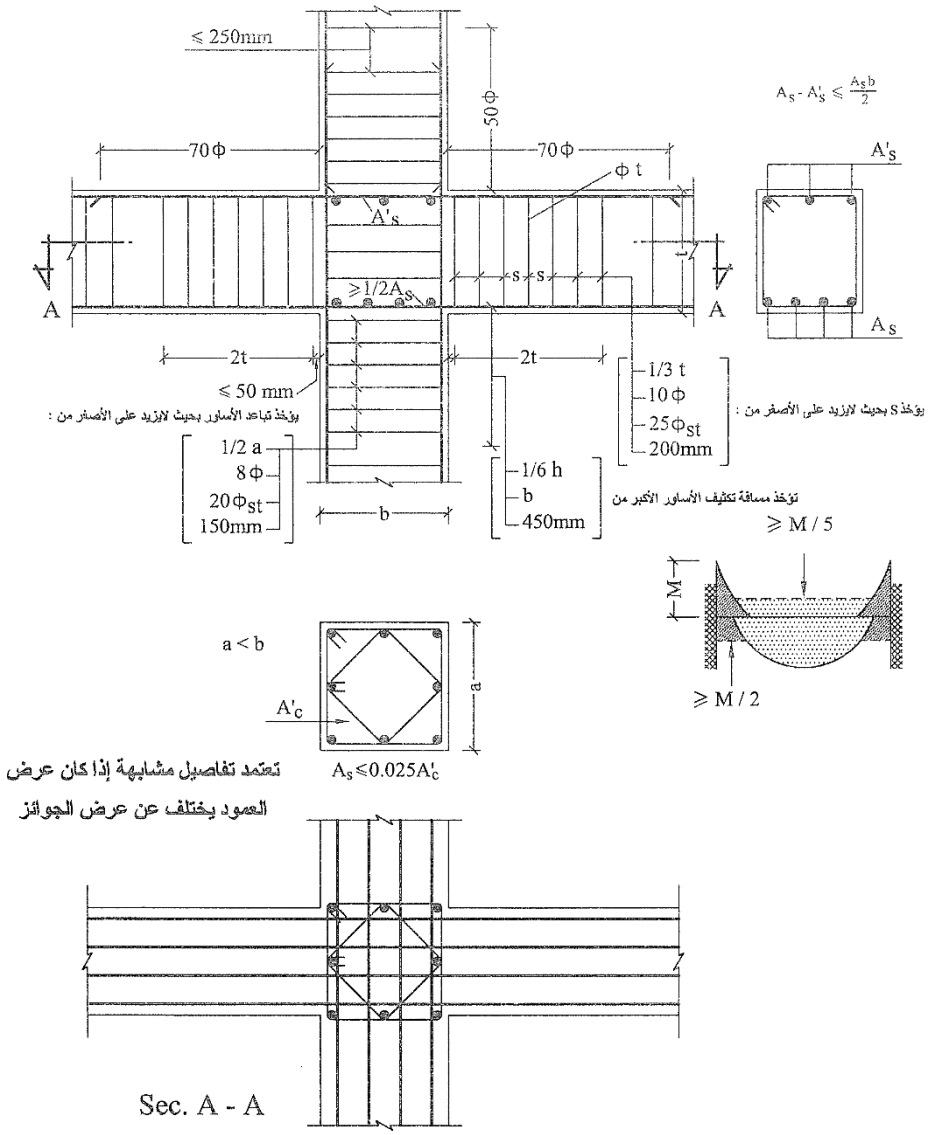




تفاصيل تسليح عقدة وسطية للجوائز مع الأعمدة

– حالة العمود العلوي أصغر من العمود السفلي -

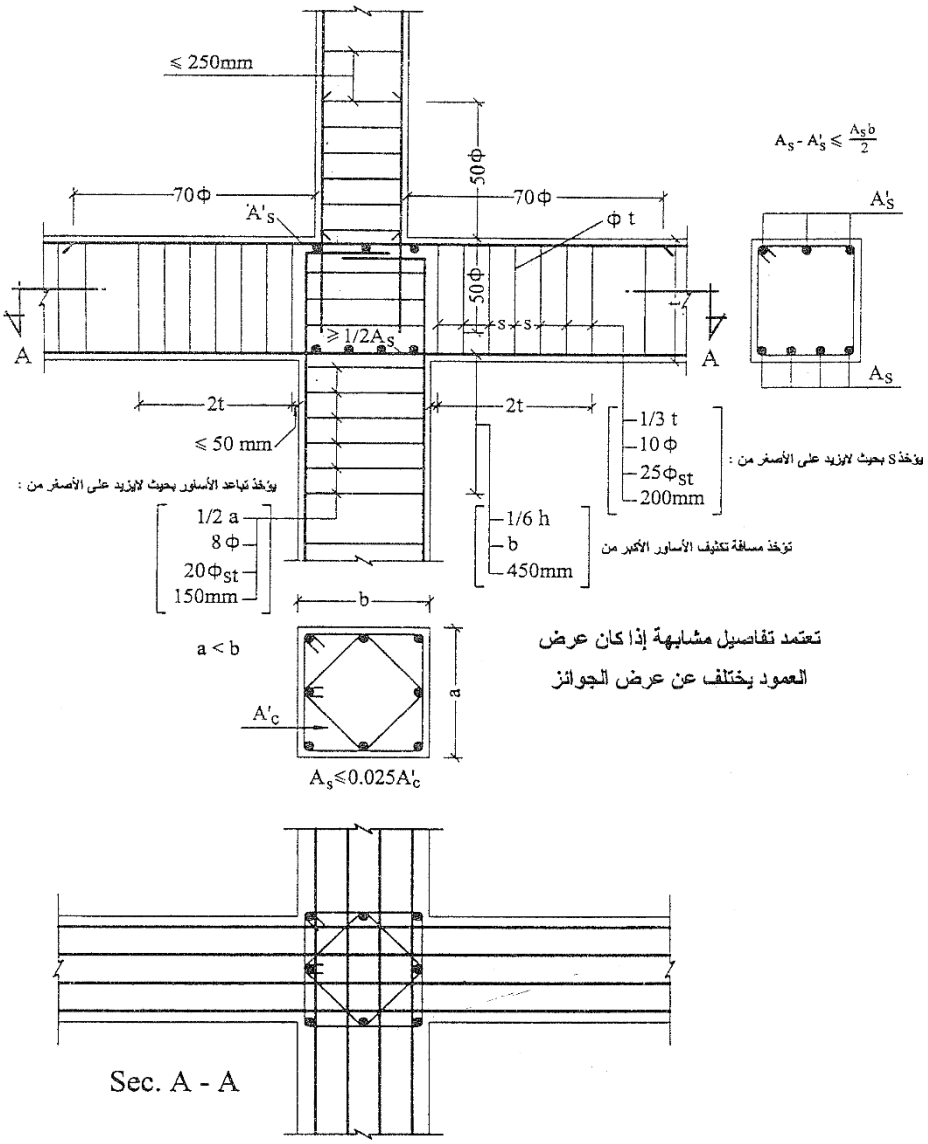
المنطقة الزلزالية (1)



تفاصيل تسليح عقدة وسطية في إطار

– مقاطع الأعمدة ثابتة -

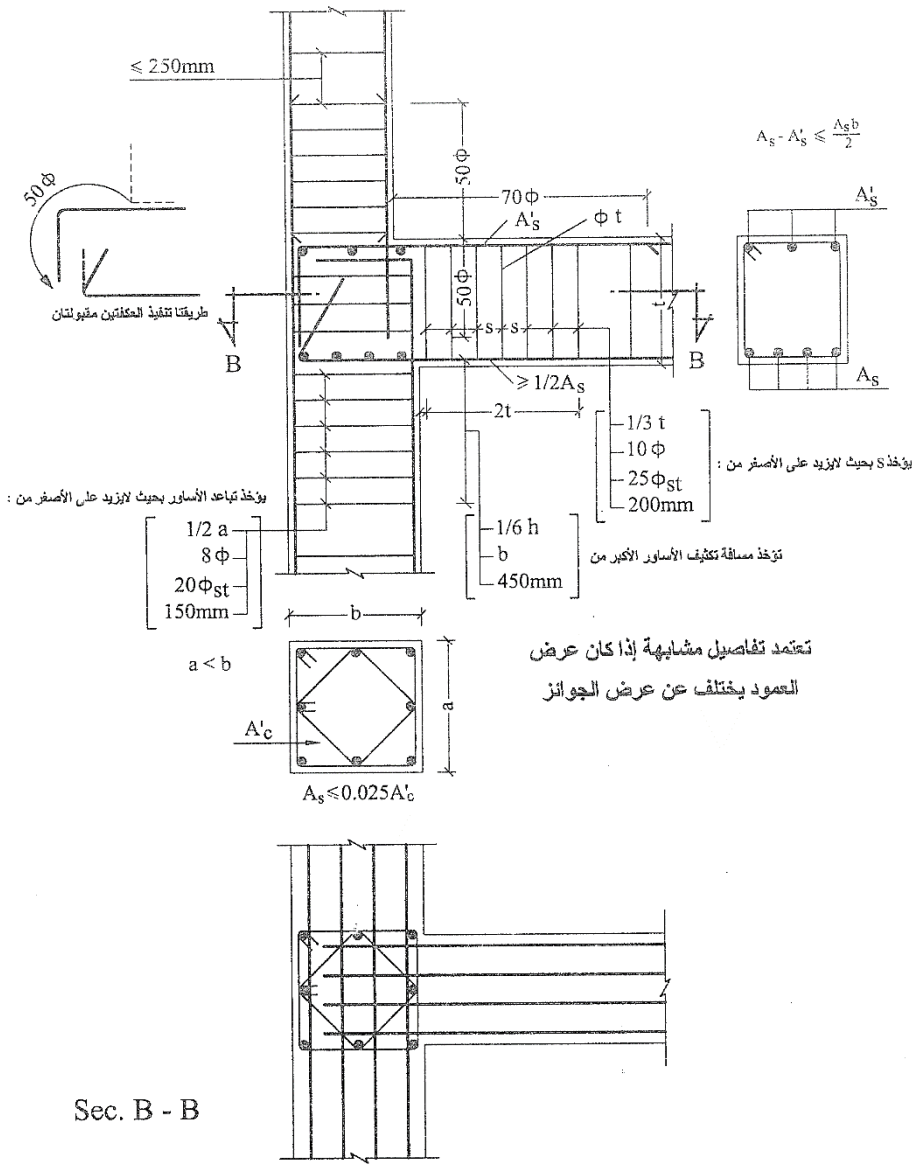
المناطق الزلزالية (3&2)



تفاصيل تسليح عقدة وسطية في إطار

– مقاطع الأعمدة غير ثابتة -

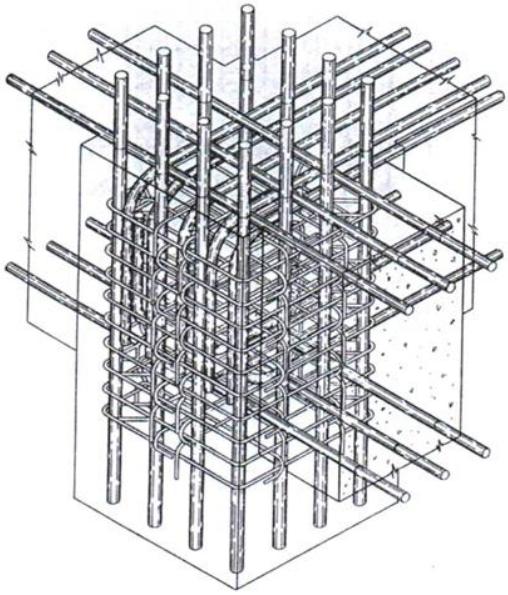
المناطق الزلزالية (3&2)



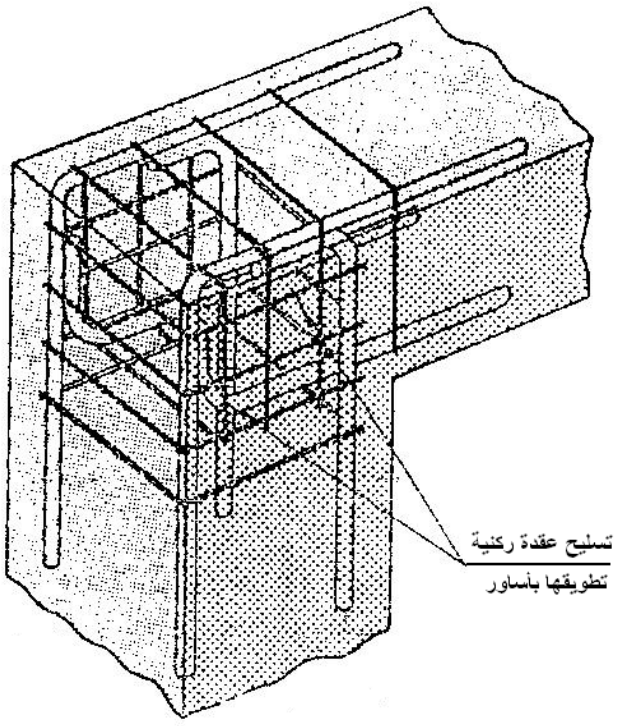
تفاصيل تسليح عقدة طرفية في إطار

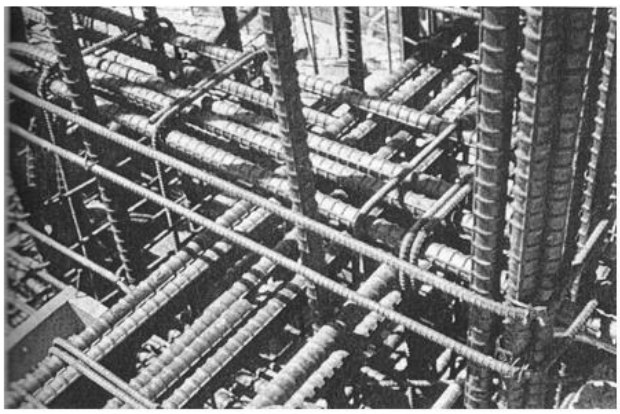
ـ مقاطع الأعمدة غير ثابتة ـ

المناطق الزلزالية (3&2)

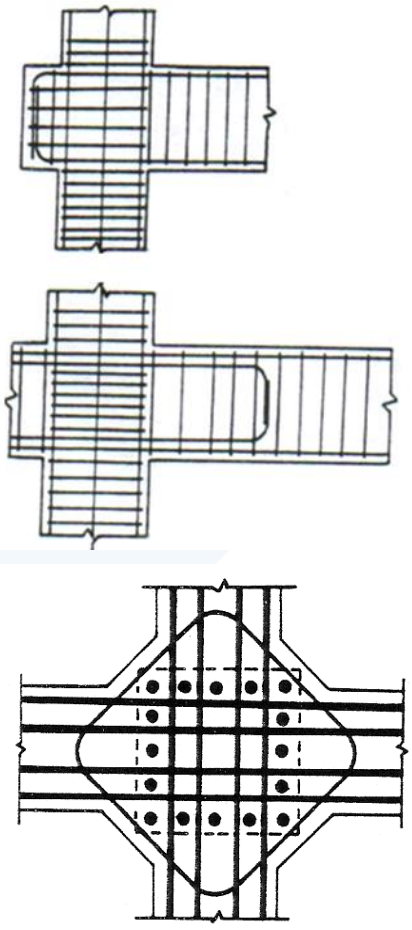


تطويق عقدة طرفية





كثافة عالية واحتقان في قضبان تسليح عقدة إطار



تفاصيل تسليح عقد طرفية ووسطية