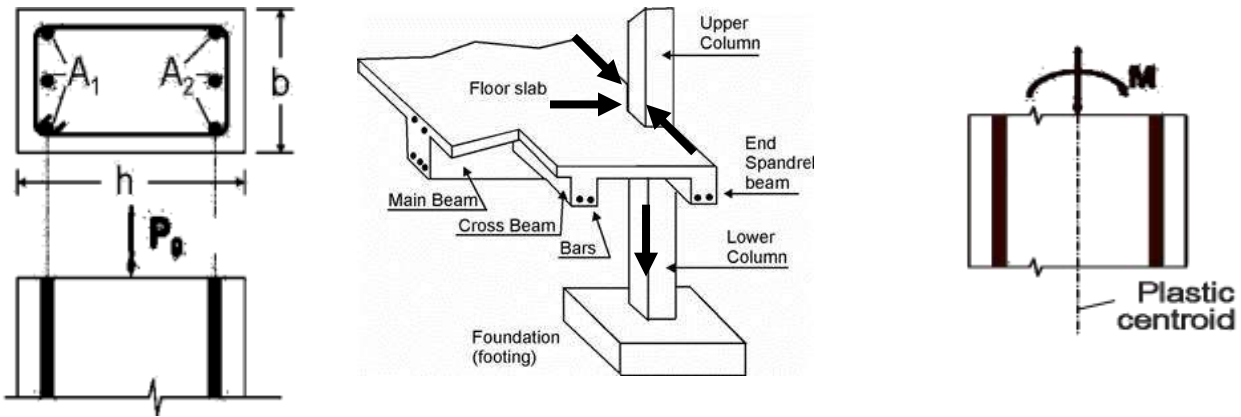


متطلبات تصميم الأعمدة الخرسانية (1)

* (R.C. COLUMN) (الأعمدة الخرسانية المسلحة)

مقدمة

الأعمدة الخرسانية المسلحة هي عبارة عن الأعضاء الإنشائية التي تقوم بنقل الأحمال عن طريق الجسور إلى الأساسات وهي عبارة عن عناصر تتحمل قوى ضغط محورية أو لقوى ضغط مع عزوم حول محور واحد أو حول محورين والتي لا يزيد طولها (ارتفاعها) في اتجاه قوة الضغط عن خمسة أمثال البعد الأصغر للقطاع وأيضاً لا يزيد البعد الأكبر في القطاع عن خمسة أمثال البعد الأصغر في القطاعات المستطيلة وإلا اعتبرت حوائط وهو ايضا عنصر إنشائي راسي يحمل القوى الرأسية المنتقلة إليه من الأعضاء الإنشائية الأفقية.



الوظيفة الإنشائية:

- إن الغرض الأساسي من الأعمدة هو نقل الأحمال من المنشأ إلى القواعد أي كان نوع هذه القوى (قوى رأسية - قوى قص - عزوم) ويستخدم بشكل رئيسي لتحمل القوى الضاغطة الرئيسية ولكن في الواقع لا يوجد عمود يكون معرض لقوى ضاغطة خالصة ومركزة في مركز العمود وهذا ناتج عن:
 - إن تطبيق وترتيب الأعمدة لا يكون منتظم 100% ولهذا ينتج عنه إزاحة صغيرة (Eccentric) ينتج عنها عزوم.
 - الفراغات الموجودة في المقطع يمكن تنتج عندما تغير في موقع مركز المقطع.
 - عدم توزيع التسليح الطولي بشكل متناظر يغير في موقع مركز المقطع.

تصنيف الأعمدة:

- (1) التصنيف حسب القطاع الأفقي
- (2) التصنيف حسب التسليح العرضي
- (3) التصنيف حسب التسليح الطولي
- (4) تصنيف الأعمدة حسب النحافة
- (5) تصنيف الأعمدة حسب مركزية الحمل

1) التصنيف حسب القطاع الأفقي:

- الأعمدة المستطيلة والمربعة:

وهي الأعمدة التي على شكل مستطيل ومربع وعادة يستخدم هذا النوع من الأعمدة عندما يكون العمود معرض لعزم في اتجاه واحد كبير والعزم في الاتجاه الآخر أقل وهذا النوع من الأعمدة أسهل في التصميم وكذلك أسهل في التنفيذ.

- الأعمدة الدائرية:

وهي أعمدة دائرية المقطع وعادة تستخدم هذه الأعمدة عندما تكون معرضة لعزوم متغيرة في جميع الاتجاه حيث أن هذه الأعمدة تكون ذات كفاءة واحدة في جميع الاتجاهات ولكن عيبها هو صعوبة التصميم وكذلك التنفيذ.

- الأعمدة المضلعة:

وهي تكون خماسية او سداسية وغير ذلك حيث أنها تلبي المتطلب المعماري .

2) التصنيف حسب التسليح العرضي:

- الأعمدة ذو الكانات المطوقة (Tied column).

- الأعمدة الحلزونية (Spiral column).

3) التصنيف حسب التسليح الطولي:

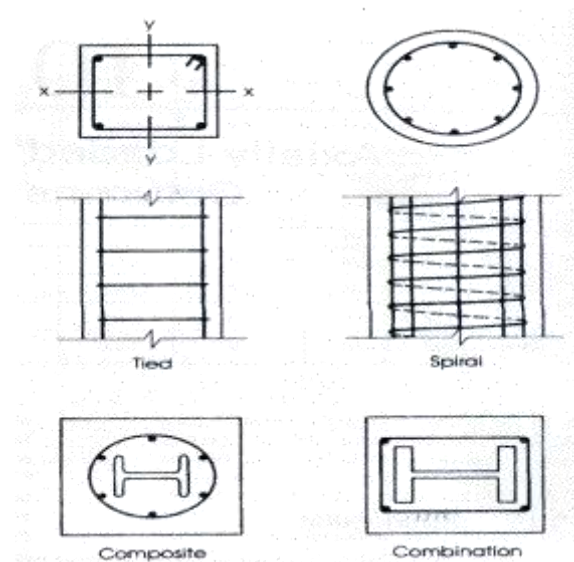
- الأعمدة المركبة (Composite column).

وهي الأعمدة التي تحتوي على عمود من الحديد ذو قطاع معين يدفن في قلب القطاع الخرساني و يقوى أيضا بحديد تسليح طولي وعرضي.

- الأعمدة المجمعة (Combination column).

- الأعمدة ذات الأنابيب الحديدية (Steel pipe column).

وهي الأعمدة التي تتكون أساسا من مواسير من الحديد ذات شكل معين مجوف (دائري , مستطيل , مربع) يتم ملئها بالخرسانة بدون أية إضافة لحديد تسليح سواء طولي أو عرضي.



4) تصنيف الأعمدة حسب النحافة:

- ركائز (Pedestal)

وهي الأعمدة التي يكون ارتفاعها أقل من ثلاثة أمثال أقل عرض فيها ويصمم هذا النوع من الأعمدة على أساس أن الإجهاد لا يتجاوز $(0.85 \phi f_c)$ حيث $(\phi=0.65)$ ولكن إذا تجاوزت هذه القيمة فتصمم على أساس أعمدة مسلحة، ويتميز هذا النوع انه خالي من حديد التسليح.

- الأعمدة القصيرة (Short R.C):

وهي الأعمدة التي يكون ارتفاعها إلى أقل عرض فيها أكثر من ثلاثة وهذه الأعمدة يحدث لها انهيار عندما يصل إجهاد الخرسانة وإجهاد حديد التسليح إلى الخضوع أي أن قدرة تحمل العمود تعتمد على أبعاد المقطع وخواص المواد المستخدمة وكمية الحديد المستخدم.

- الأعمدة الطويلة أو النحيفة (Long or slender):

وهي الأعمدة ذات النحافة العالية ويكون نسبة طولها إلى عرضها كبير ويكون التسبب الرئيسي في فشل هذه الأعمدة الانبعاج (Buckling) وهذه ناتج عن تولد عزوم في الأعمدة ناتجة عن حدوث انحراف (Deflection) للأعمدة ناتج عن القوى الرأسية والقوى الجانبية مثل الرياح وغيرها ولكن نسبة هذا الانحراف تكون ذات تأثير كبير في الأعمدة الطويلة.

5) تصنيف الأعمدة حسب مركزية الحمل:

- أعمدة محملة بحمل مركزي

- أعمدة محملة بحمل مركزي أحادي العزم

- أعمدة محملة بحمل مركزي ثنائي العزم

• حالات التحميل في العناصر الإنشائية المضغوطة (الأعمدة) و المشدودة (الشدادات):

- الأعمدة المعرضة لقوى ضغط محورية (Axial compression):

وفي هذه الحالة يفترض أن العمود معرض لقوى ضغط فقط ويكون التحميل في مركز العمود تماماً و العزوم $M=0$ وبالتالي تكون اللامركزية تساوي الصفر $e=0$ بحيث يحدث الفشل في هذه الحالة بتهشم الخرسانة وبخضوع الحديد في منطقة الشد والضغط وبالتالي تعتمد مقاومة المقطع للإجهادات المسلطة عليه مساوية لمقاومة المقطع الخرساني إضافة إلى مقاومة حديد التسليح حيث يفيد حديد التسليح في تخفيف أبعاد المقطع من الناحية الاقتصادية نظراً لمقاومته العالية ولما له دور كبير في مقاومة إجهادات الشد التي قد تتولد في العمود

$$e = 0$$

$$M_n = 0$$

$$p_0 = 0.85 f_c (A_g - A_s) + A_s f_y$$

ولأنه لا يمكن الحصول على هذه الحالة من التحميل لذا أشتراط الكود ACI اعتماد لامركزية دنيا نتيجة لاحتمال تعرضه إلى لامركزية غير ملحوظة في التحليل أو لاحتمال أن تكون مقاومة الخرسانة أقل من المقاومة التصميمية تحت الحمولات الكبيرة وكان الهدف من اعتماد لامركزية دنيا هي رفع المقاومة التصميمية

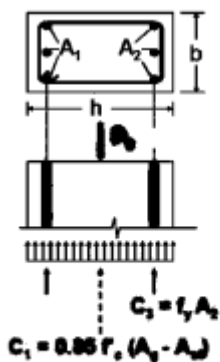
للعמוד وذلك بضرب المعادلة السابقة في معامل يساوي 0.85 للعמוד المحلزن و 0.8 للعמוד المطوق وبالتالي تصبح المعادلة بالشكل الآتي :

$$p_n = 0.8 \times \{0.85 f_c (A_g - A_s) + A_s f_y\}$$

للأعمدة المطوقة:

$$p_n = 0.85 \times \{0.85 f_c (A_g - A_s) + A_s f_y\}$$

للأعمدة المحلزنة:



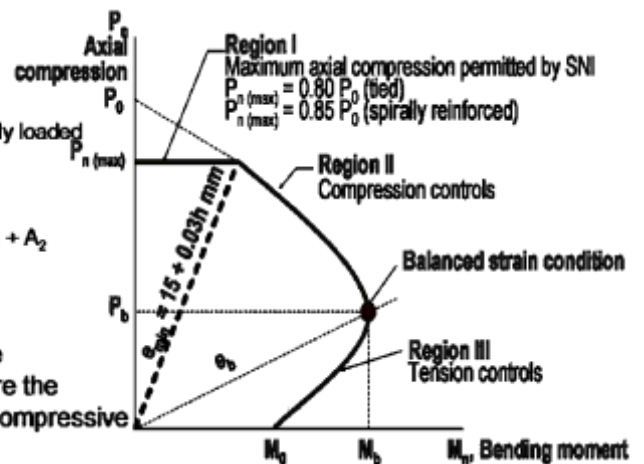
$$P_0 = 0.85 f_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

Where :

P_0 = maximum nominal strength for concentrically loaded short column
 f_c = concrete strength
 A_g = gross area of section = $b h$
 A_{st} = total area of longitudinal reinforcement = $A_1 + A_2$
 f_y = steel yield strength

Note :

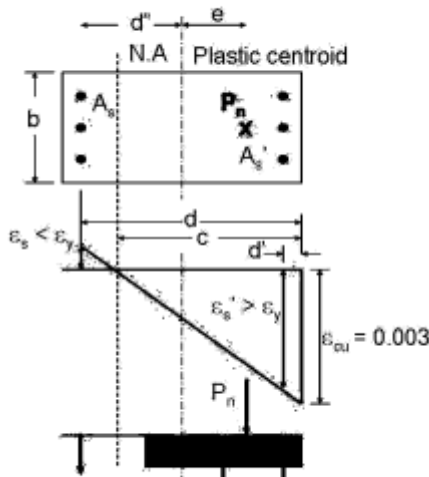
This equation is also in agreement with the rectangular stress block assumptions where the entire cross section is subject to a failure compressive strain of 0.003.



حيث أن p_o تمثل النقطة الأولى على مخطط التداخل وتكون واقعة على المحور y وتم إدخال تأثير اللامركزية الدنيا حيث يجب أن لا تتعدى المقاومة التصميمية $P_n \max$ والتي تم رسمها على مخطط التداخل بشكل خط مستقيم في حالة ما يكون العمود معرض لقوة محورية خالصة

- الأعمدة المعرضة لقوى ضغط محورية وعزوم ويكون الضغط هو المتحكم (Compression Control):

ويكون الفشل المتحكم هو الضغط ويحدث هذا عندما تكون اللامركزية صغيره أي أن القوة المحورية كبيرة مقارنة مع العزم وبالتالي سيكون معظم المقطع الخرساني معرض لإجهاد ضغط ولذا يصل الانفعال في الليفه الخارجية في منطقة الضغط إلى 0.003 بينما لم يصل الحديد في منطقة الشد إلى أجهاد الخضوع بينما الحديد الواقع في منطقة الضغط وصل إلى أجهاد الخضوع ويحدث الفشل بتهشم الخرسانة ويكون ($e < e_b$) و ($C > c_b$) وتكون ($P_n \max > p_n > p_b$).



Force equilibrium :

$$P_n = C_c + C_s - T$$

Where :

$$C_c = 0.85 f'_c a b = 0.85 f'_c \beta_1 c b$$

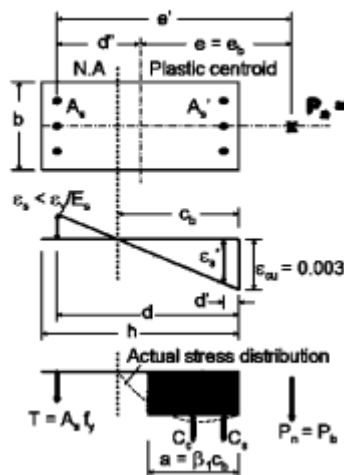
$$C_s = A_s' f_y$$

$$T = A_s f_y$$

- حالة التوازن المتوازن (Balanced condition) (Tension controlled plastic centroid)

$$P_n e = C_c (d - a/2 - d') + C_s (d - d' - d') + T d'$$

وفي هذه الحالة يحدث الفشل بوصول الانفعال في أقصى ليفه في منطقة الضغط إلى 0.003 ويصل الحديد في منطقة الشد إلى أجهاد الخضوع بينما حديد التسليح في منطقة الضغط قد يكون وصل أو لم يصل إلى أجهاد الخضوع وبالتالي يحدث الفشل في الخرسانة وحديد التسليح بنفس الوقت ($e = e_b$) وبالتالي ($c = c_b$) انفعال لحديد ($\epsilon_s = f_y / E_s$) .



$$\frac{c_b}{d} = \frac{0.003}{f_y / E_s + 0.003}$$

$$c_b = \frac{600}{f_y + 600} d$$

Force equilibrium requires :

$$P_b = C_c + C_s - T$$

Where :

$$C_c = 0.85 f'_c a b = 0.85 f'_c \beta_1 c_b b$$

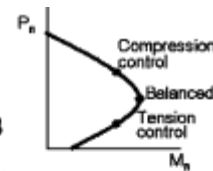
$$C_s = A_s' f_y$$

$$T = A_s f_y$$

Taking moments about the plastic centroid

$$P_b e_b = C_c (d - a/2 - d') + C_s (d - d' - d') + T d'$$

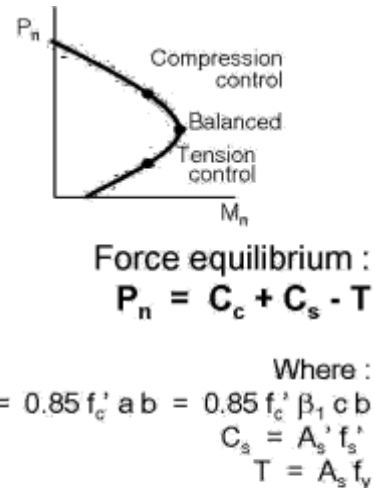
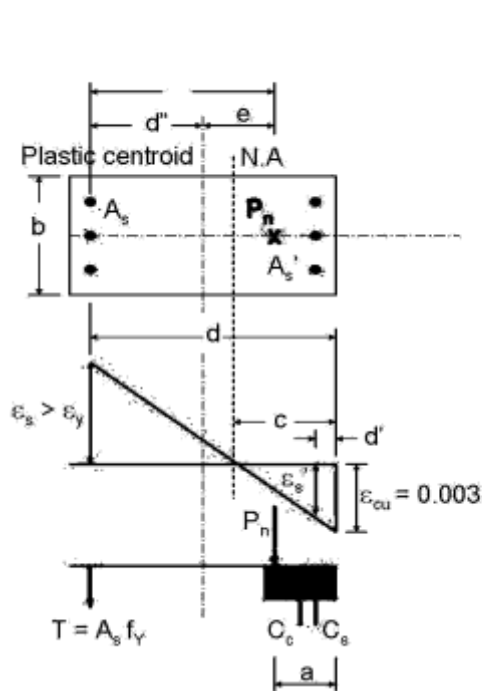
Both equations may be solved to obtain P_b and e_b



- الأعمدة المعرضة لقوى ضغط محورية وعزوم ويكون الشد هو المتحكم (Tension control):

يكون ذلك عندما تكون قيمة اللامركزية كبيرة وذلك عندما يكون العزم المطبق على العمود كبير مقارنة بالقوة المحورية حيث تكون قيمتها صغيرة وبالتالي يكون معظم المقطع معرض لإجهادات شد مما يؤدي إلى أن يحدث الفشل بخضوع الحديد في منطقة الشد قبل أن يصل الانفعال في منطقة الضغط إلى 0.003 ويكون الانفعال لحديد التسليح في منطقة الشد $(\epsilon_s > \epsilon_y)$ ويكون $(c < c_b)$ و $(e > e_b)$ و $(p_n < p_b)$ بينما الحديد في منطقة الضغط لم يصل إلى الخضوع $(\epsilon_s' < \epsilon_y)$.

وتكون العزوم كبيرة مقارنة بالقوى الرأسية وفي هذا النوع من الأعمدة يكون الانهيار ناتج عن خضوع الحديد المستخدم.



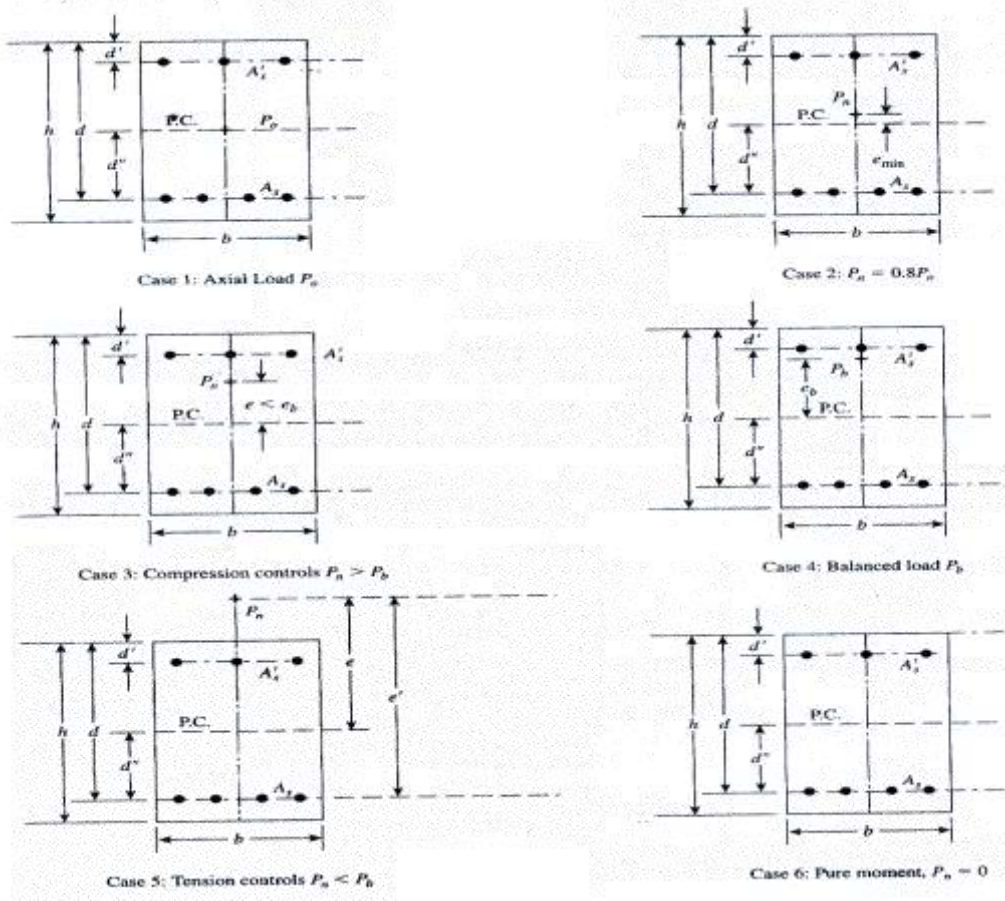
Taking moments about the plastic centroid

$$P_n e = C_c(d-a/2-d'') + C_s(d-d'-d'') + Td''$$

- الأعمدة المعرضة لعزوم خالصة (Pure flexure):

وهذه أحواله يكون فيها العمود معرض لعزوم انحناء فقط أي انه يتصرف كتصرف جسر وذلك عندما تكون قيمة ($pn=0$) وتكون قيمة اللامركزية ($e=\infty$) حيث يعامل المقطع في هذه الحالة كجسر مزدوج حديد التسليح ويمكن أيجاد عمق محور التعادل باستخدام معادلة توازن القوى وذلك :

$$Nc1+Nc2=Nt$$



• الاعتبارات التصميمية للأعمدة حسب مواصفات ACI:

- (1) الانفعال في الخرسانة والحديد يتناسب مع المسافة من المحور المحايد.
- (2) يجب أن يكون القوى في حالة اتزان كامل مع المقطع.
- (3) أكبر قيمة للانفعال الخرسانة (انضغاط) هو $(\epsilon=0.003)$.
- (4) إجهاد الخرسانة للشد يهمل.
- (5) إجهاد الحديد $(f_s \leq f_y)$.
- (6) إن المساحة المعرضة للضغط للخرسانة يمكن أن تأخذ مساحة المستطيل والذي يطلق عليه مكعب (Witney).
- (7) يعتبر المقطع وصل إلى حالة التوازن عندما يكون إجهاد الحديد وصل إلى الخضوع وانفعال الخرسانة يساوي $(\epsilon=0.003)$.

• اشتراطات الكود في التسليح الطولي و العرضي للأعمدة:

- اشتراطات عامة :

➤ يجب ان لا تقل مقاومة الضغط للخرسانة عن (20 mpa) هذا الشرط بالنسبة للزلازل .

- التسليح الطولي (الأسياخ):

- نسبة التسليح الطولي تتراوح بين (P=1%~8%) من مساحة المقطع الخرساني

$$[\text{ACI } 318(\text{sec. } 10.9.1)]$$

- يجب أن تكون قوة الضغط المحورية ($\phi P_n < 0.1 f_c A_g$) ولكن في حالة أن يكون ($\phi P_n > 0.1 f_c A_g$) عندئذ يجب ان تكون نسبة حديد التسليح مساوية للتالي:

$$\text{ACI (R 10.3.3)} \gg$$

$$\ll 318$$

$$\text{ACI (R 10.3.5)} \gg$$

$$\rho = 0.75 \rho_b$$

$$\ll 318$$

$$\text{ACI (B 10.3.3)} \gg$$

$$\ll 318$$

- حديد التسليح في الاتجاه الطولي للأعمدة المعرضة لضغط يجب أن لا يقل عن (4) للعمدان المستطيلة بحيث توزع واحد في كل ركن ، ولا تقل عن (6) للعمدان الدائرية ، وفي حالة استخدام حديد تطويق بأشكال أخرى فيجب تزويد كل ركن من أركان التطويق بحديد تسليح طولي $\ll \text{ACI } 318(\text{sec. } 10.9.2) \gg$.

- المسافة الصافية بين الحديد الطولي يجب أن لا تقل عن القيمتين التاليتين أيهما أكبر.

$$\text{ACI (sec. 7.6.3)} \gg$$

$$S_n \geq 40mm$$

$$\ll 318$$

$$S_n \geq 1.5d_b$$

- أكبر مسافة بين أسياخ الحديد يجب أن تكون:

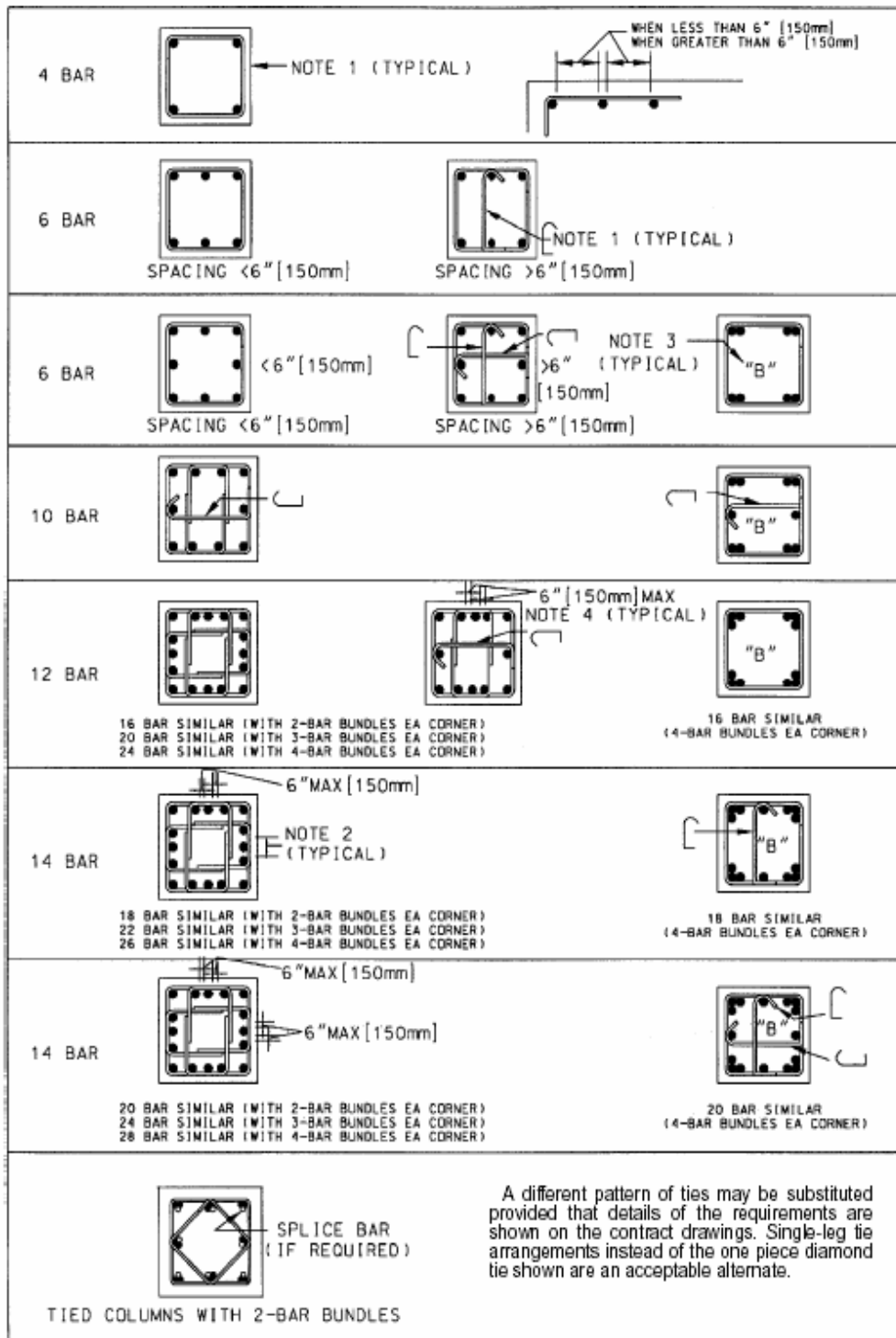
$$\text{ACI (sec. 7.10.5.3)} \gg$$

$$S_{\max} = 150mm$$

$$\ll 318$$

وفي حالة زيادة هذه المسافة (150mm) يجب إضافة كانات أو عكفات تربط بين هذا الحديد كما ويجب أن

يكون من بين كل سيخين في العمود سيخ مطوق كما هو موضح في شكل (2-4-3) .

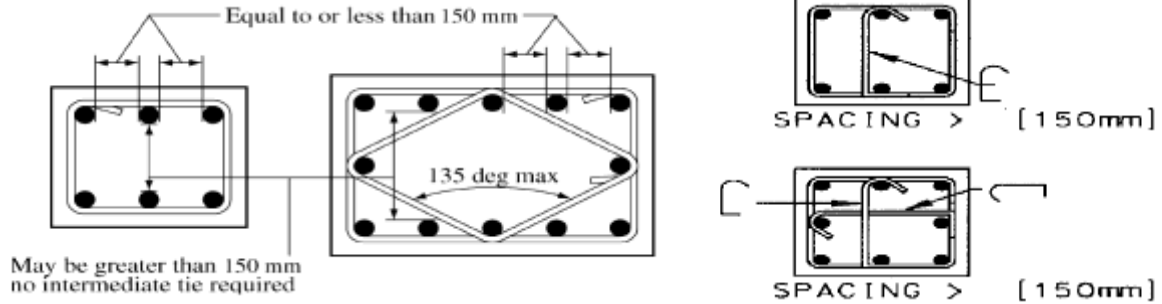


Notes:

1. Alternate position of hooks in placing successive sets of ties.
2. Minimum lap shall be 12 in. (300 mm).
3. B indicates bundled bars. Bundles shall not exceed four bars.
4. Elimination of tie for center bar in groups of three limits clear spacing to be 6 in. (150 mm) maximum. Unless otherwise specified, bars should be so grouped.
5. Note to Architect/Engineer: Accepted practice requires that design drawings show all requirements for splicing column verticals, that is, type of splice, lap length if lapped, location in elevation, and layout in cross section.
6. Note to Detailer: Dowel erection details are required for any design

employing special large vertical bars, bundled vertical bars, staggered splices, or specially grouped vertical bars as shown.

7. Bars must be securely supported to prevent displacement during concreting.
8. Tie patterns shown may accommodate additional single bars between tied groups provided clear spaces between bars do not exceed 6 in. (150 mm).
9. Minimum cover to ties, 1 1/2 in. (40 mm) for nonprestressed cast-in-place concrete.
10. Spaces between corner bars and interior groups of three and between interior groups may vary to accommodate average spacing > 6 in. (150 mm).
11. For average spacing < 6 in. (150 mm), one untied bar may be located between each tied group of three and between a tied group and a corner bar.



(1) يجب أن لا يقل الغطاء الخرساني في العمود الخارجي عن (50mm) ، وفي العمود الداخلي عن (40mm).

(2) في حالة استخدام حديد محزم (أسيخ مجمعة) فيجب إتباع الاشتراطات التالية:

- أن الحزمة يجب أن لا يزيد عدد القضبان فيها عن (4) << ACI 318(sec. 7.6.6.1) >>.
- يجب أن تكون الحزم مطوقة بالكانات المغلقة << ACI 318(sec. 7.6.6.2) >>.
- يجب أن لا يستخدم حديد أكبر من رقم (ø36mm) << ACI 318(sec. 7.6.6.3) >>.
- القطر المكافئ للحديد المحزم هو .

$$D_{eq} = \frac{\sum Area}{\left(\frac{\pi}{4}\right)}$$

ACI (sec. 7.6.6.5) >>
<<318

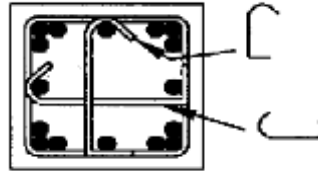
- أقل غطاء خرساني هو :

<< sec. 7.6.6.5) >>

ACI318

$$cover \geq d_b \geq 50mm$$

- يفضل وضع الأسياخ المجمعة عند أركان الكانات.



- لا يزيد ميل الجزء المكسح من القضيب عن (1/16) عن محور العمود .
- يجب ان تكون اجزاء القضيب الواقعة فوق وتحت منسوب التكميخ موازيه لمحور العمود ."
- يجب ربط القضبان افقيا عند منطقة التكميخ باستخدام اساور جانبية او حلزونات او بالعناصر الانشائية للطابق على ان تصمم الروابط المذكورة على قوة تعادل مرة ونصف المركبة الافقية للقوة المطبقة على الجزء المائل من القضيب ويجب ان تتوضع الاساور الافقية او الحلزونات المستخدمة على بعد لا يزيد عن (150mm) من بداية الانحناء.
- يجب ثني القضبان المكسحة قبل وضعها في القوالب.
- إذا كان تراجع وجه العمود يساوي أو يزيد عن (80mm) فعندها لا يجوز تكسيخ القضبان الطولية ويستعاض عن ذلك باضافة تشاريك للقضبان توصل بالترابك بجوار وجوه العمود المتراجع .

- الكانات (المغلقة المنفصلة):

- يجب أن لا يقل قطر الكانات عن (10mm) وذلك عندما يكون قطر سيخ التسليح الطولي (16mm ~ 32mm), اما التسليح الطولي المحزم و (36mm ~ 57mm) نستخدم كانه بقطر (13mm) << ACI 318(sec. 7.10.5.1)>>.
- أقصى مسافة راسية بين الكانات يجب ألا تزيد عن:
 - (16) مرة قطر السيخ الطولي << ACI 318(sec. 7.10.5.2)>>
 - (48) مرة قطر الكانة
- يجب أن يكون الحديد الطولي مدعوم بالحديد الجانبي في الأركان وكذلك يجب أن يكون الحديد الطولي المتعاقب مدعوم جانباً حيث أن هذه الكانة لا تزيد زاويتها عن (135°)
- توضع الكانة الأولى فوق اعلى الاساس او البلاطة الطابقية بمسافة لا تزيد عن نصف المسافة بين الكانات

- الكانات الحلزونية: (spirals).

- لا يقل قطر السيخ المستخدم عن (10mm).
- لا يزيد طول الخطوة في التسليح الحلزوني عن (80mm) ولا يقل عن (25mm).
- يكون طول التراكب للتسليح الحلزوني القيمة الاكبر من الاتي:
 - $48 d_b$
 - 300mm
- يجب ان يستمر الحلزون في الاعمدة ذات التيجان حتى المنسوب الذي يصبح عنده قطر او عرض التاج يعادل ضعف قطر العمود.
- يجب ان تقل نسبة التسليح الحلزوني (ρ_s) عن القيمة التالية :

$$\rho = 0.45((A_g/A_c) - 1)(f_c/f_y)$$
 بحيث لا يزيد اجهاد الخضوع للحديد عن (400mm).

• تصميم الأعمدة القصيرة المعرضة لحمل محوري:

- اشتراطات للحمل المحوري:

- لمعاملة المقطع كعود معرض لحمل محوري يجب أن لا تزيد قيمة الإزاحة عن (e_{min}) عن التالي:

$e \leq 0.1 h$	أعمدة بكانات مغلقة
$e \leq 0.05 h$	أعمدة بكانات حلزونية

- المعادلة العامة المستخدمة في تحليل وتصميم الأعمدة القصيرة المعرضة لحمل محوري هي:
 - أعمدة بكانات مغلقة.

$P_u = 0.80 \phi (0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y)$	ACI 318 (sec. 10.3.6.2), 95
$\phi = 0.65$	ACI 318(sec. 9.3.2.2)
$\phi = 0.70$	ACI 95(sec. 9.3.2.2)

- أعمدة بكانات حلزونية.

$P_u = 0.85 \phi (0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y)$	ACI (sec. 10.3.6.1) 318,95
$\phi = 0.70$	ACI 318(sec. 9.3.2.2)
$\phi = 0.75$	ACI 95(sec. 9.3.2.2)

حيث أن الشرط في معامل التخفيض (ϕ) هو أن ($\phi P_n \geq 0.1 f_c A_g$) فعندما لا ينطبق الشرط فإن قيمة معامل التخفيض (ϕ) سوف تتغير ويمكن حسابها من المعادلة الآتية وذلك تبعاً لكود 95

$$\phi = 0.9 - \frac{2P_u}{f'_c A_g} \geq 0.7 \quad \text{tied}$$

$$\phi = 0.9 - \frac{1.5P_u}{f'_c A_g} \geq 0.75 \quad \text{spiral}$$

- تصميم العمدان المعرضة لقوى محورية وعزم في اتجاه واحد :

ويتم تصميم العمدان بطريقتين:

1- المحاولة والخطأ

2- مخططات التداخل.

حيث ان الطريقة الثانية هي العملية حيث انها تعطي نتائج مضمونه وسريعة

• ونلخص خطوات تصميم العمدان بالمحاولة والخطأ في الآتي :

- فرض أبعاد للمقطع ونسبة حديد التسليح
- إيجاد بعد محور الخمول في حالة الفشل المتوازن
- إيجاد M_b و P_b
- إيجاد $e_b = M_b / P_b$
- يتم تحديد نوع الفشل
- حسب نوع الفشل يتم تحديد العزم المقاوم والقوة المقاومة وذلك باستخدام معادلات التوازن
- في حالة ان المقطع غير امن يتم فرض قيمة أخرى لنسبة حديد التسليح
- وتعاد الخطوات السابقة والتأكد من أن المقطع امن أو لا

ومن عيوب هذه الطريقة

طويلة وتحتاج إلى وقت طويل .

ولتحاشي عيوب هذه الطريقة تم إيجاد مخطط التداخل للعمدان ويستخدم لتصميم وتحليل العمدان

• خطوات استخدام مخطط التداخل للعمدان في التصميم :

- يتم حساب القيمة $k = P_u / (f_c A_g)$
- حساب القيمة $e = M / P$
- حساب القيمة e/h
- حساب القيمة $\gamma = (h - 2d)/h$
- يتم الدخول على مخطط التداخل للعمدان وإيجاد قيمة ρ
- يتم إيجاد حديد التسليح وذلك من المعادلة $A_s = \rho b h$
- التشبيك على المقطع كما في المخططات.

مخطط تصميم الاعمدة القصيرة

