محاضرات مادة خرسانة

لطلاب السنة الثالثة

(هندسة عمارة)

الدكتور نزيه يعقوب منصور

2026 - 2025

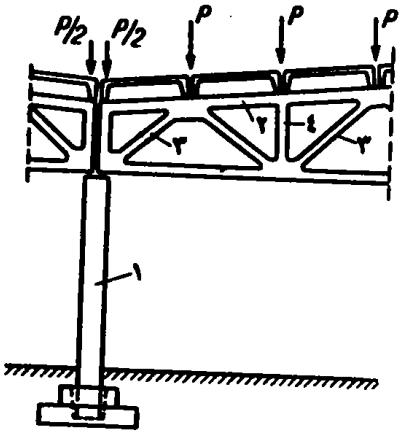
جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY

المحاضرة الثانية

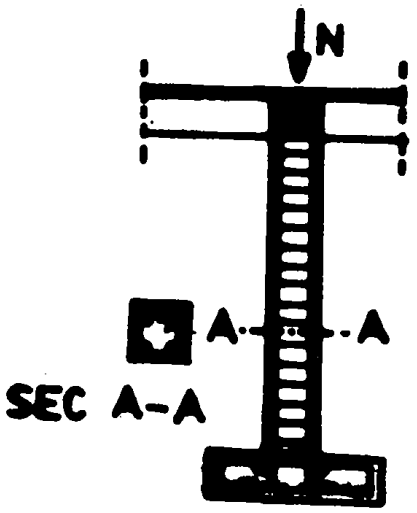
العناصر الخاضعة لقوى محورية مركزية(ضغط-شد)

العناصر الخاضعة لقوى محورية مركزيةضاغطة (الأعمدة) وشادة (شدادات)

تعتبر العناصر الانشائية مضغوطة مركزيا عندما تتعرض إلى قوى ضغط مطبقة في مراكز مقاطعها ومنطبقة على محاورها . وأهم تلك العناصر هي الأعمدة ، والأوتار العليا في الجوائز الشبكية عندما تتركز الحمولات في العقد، وأيضا في الأضلاع القائمة والمائلة للجوائز الشبكية ، شكل (3 – 1) ، وفي عناصر إنشائية أخرى .

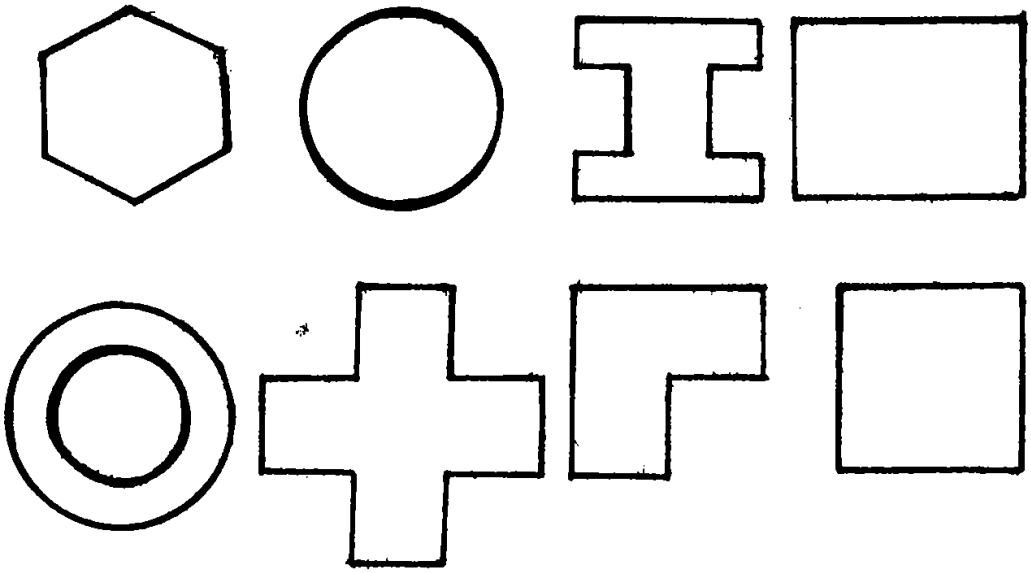


١ – اعمدة متوسطة (عند التحميل المتكافىء من كلا الجانبين)
٢ – الوتر العلوى للجمالون (عند تسليط الحمل فى الوصلات) ،
٣ – أضلاع قطبية صاعدة ، ٤ – أضلاع قائمة



شكل (3 – 1) العناصر الانشائية الخاضعة لضغط مركزي .

وغالبا ما يكون المقطع للعناصر المنضغطة مركزيا مربعا أو مستطيلا و أيضا دائريا، وفي بعض الحالات يمكن أن يكون بشكل مضلع أو يأخذ شكل I أو أشكال أخرى مختلفة ، شكل (3 – 2) .



شكل (3 – 2) المقاطع العرضية للعناصر الخاضعة لضغط مركزي .

ينص الكود العربي السوري على الاشتراطات العامة للاعمدة الخرسانية:

٧-١-١- الاشتراطات البعدية للأعمدة:

تتأثر أبعاد القطاع العرضي لعنصر مضغوط ومكان التسليح فيه تأثراً مباشراً بعوامل المتانة ومقاومة الحريق أو بعوامل أخرى معمارية، ويجب أن تبحث هذه العوامل أولاً قبل المباشرة في الحسابات التصميمية.

أما الأبعاد الدنيا للأعمدة فتؤخذ كالآتي:

١- لايقل أصغر بعد لكل عمود مستطيل عن(200 mm)، ولا تقل مساحته عن ($0.09\ m^2$).

٢- لايقل قطر كل عمود دائري عن (350 mm).

٣- يستثنى من ١ و ٢ أعلاه، الأعمدة غير الحاملة والأعمدة الحاملة المتقاربة ذات الطبيعة المعمارية شبه التزينية (كاسرات شمس شاقولية مثلا) على أن لايزيد الحمل الحدّي المطبق عليها على نصف طاقتها القصوى، بعد أخذ أثر التحنيب بالحسبان.

٧-١-٢- مساحات التسليح الطولي للأعمدة:

١- تحدد مساحات التسليح العظمى للأعضاء المضغوطة محورياً بـ $0.025\,A'_c$ إذا كانت المقاومة المميزة للخرسانة تقل عن 30 MPa، (أما إذا كانت المقاومة المميزة للخرسانة لا تقل عن 30 MPa، فيمكن زيادة مساحات التسليح العظمى إلى A'_c 0.035، كما يمكن زيادتها إلى A'_c 0.04، بشرط استعمال وصلات ميكانيكية (mechanical couplers) أينما كان موقع العمود.

حيث: A'_c مساحة القطاع العرضي للعمود.

٢- في حالات الاضطرار الاستثنائي، يمكن زيادة تحمل قطاع العمود بتطويقه معدنياً أو باستعمال قطاعات معدنية داخله، وفق الملحق رقم (٩) للكود.

٣- تحدد مساحات التسليح الدنيا للقطاع المطلوب حسابياً A'_{cr} للأعضاء المضغوطة محورياً كالآتي: $(0.01\,A'_{cr})$ سواء كان العضو المضغوط عموداً وسطياً أو طرفياً أو ركنياً.

٤- في الأعمدة التي تزيد مساحة قطاعها على المطلوب حسابياً، يمكن حساب مساحة التسليح الدنيا بأخذ مساحة التسليح المذكورة في (٣) أعلاه، على أن لا تقل مساحات التسليح الدنيا

المستعملة عن A'_c 0.006 أينما كان موقع العمود.

حيث: $A'_c = b.h$ = مساحة القطاع العرضي الفعلي للعمود.

٥- في جميع الأحوال يجب أن لا تزيد مساحة التسليح الطولي في منطقة اتصال عمودين متتالين على A'_c 0.06 إذا كانت المقاومة المميزة للخرسانة تقل عن 30 MPa ، (أما إذا كانت المقاومة المميزة للخرسانة لا تقل عن 30MPa، فيمكن زيادة هذه المساحات إلى $0.07\,A'_c$).

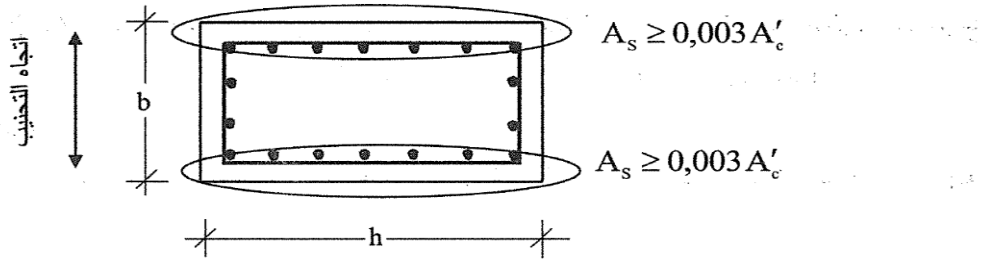
٧-١-٣- اشتراطات التسليح الطولي للأعمدة:

١- لا يقل التسليح الطولي في كل عمود مضلع عن قضيب واحد في كل زاوية، وفي الأعمدة الدائرية عن ستة قضبان.

٢- لا يقل قطر التسليح الطولي العامل عن(12 mm).

٣- لا يزيد التباعد بين قضبان التسليح الطولي المتجاورة على (300mm) أو أصغر بعد للعمود، أيهما أصغر.

٤ - في الأعمدة المربعة والمستطيلة النحيفة، التي تساوي أو تزيد نسبة نحافتها ($\lambda = \frac{Lo}{i}$) على 40، يشترط أن لاتقل مساحة التسليح الموجودة في كل من طرفي القطاع بالاتجاه المعرض للتحنيب عن 0.3% من مساحة القطاع الكلية، كما في الشكل (١-٧).



الأساور غير مبينة بالشكل

الشكل (١-٧): مساحات التسليح الدنيا في القطاعات المستطيلة للأعمدة النحيفة

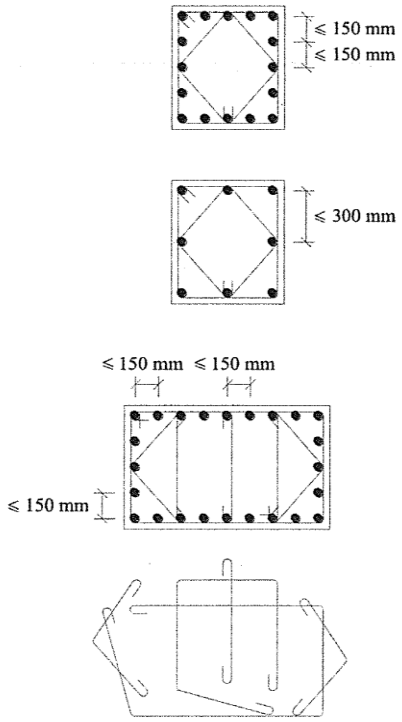
ملاحظة: الأساور غير مرسومة على الشكل

٧-١-٤- اشتراطات التسليح العرضي للأعمدة:

٧-١-٤-١- التسليح العرضي في الأعمدة غير المطوقة (أساور عادية):

أ - في الأعمدة المستطيلة، يتم تركيب التسليح العرضي بحيث يربط كل قضيب طولي بفرعي اسوارة لا تزيد الزاوية بينهما على 135 درجة، إلا إذا كان التباعد بين قضبان التسليح الطولي أقل أو يساوي 150mm، فيمكن أن يُكتفى بتحقيق هذا الشرط على قضبان الزوايا، ومن ثم

على القضبان الوسطية بالتناوب. وإذا زاد أي من بُـعدي العمود على (300 mm) فيلزم إضافة أساور وسطية (الشكل ٧-٢).



الشكل (٢-٧): ترتيب الأساور في القطاعات المستطيلة للأعمدة في الطوابق العلوية أما الربع السفلي من الطوابق فتنفذ الملاحظات الواردة أدناه

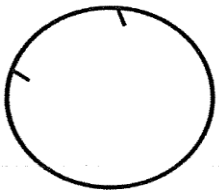
في كل مبنى يزيد ارتفاعه عن خمسة طوابق:

١. تحدد طول منطقة التكثيف عن h/5 أو 50ϕ أيهما أكبر وخارج منطقة التكثيف $S \leq 20cm$.

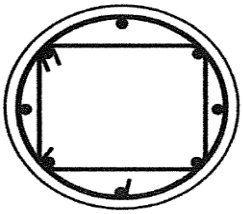
٢. في الربع السفلي من عدد طوابق البناء يجب ألا تزيد المسافة بين قضيب مربوط وآخر غير مربوط عن 12.5 cm، والبعد بين قضيبين مربوطين عن 25 cm.

٣. في باقي الطوابق تبقى كما في السابق.

ب- في الأعمدة الدائرية تستعمل أساور حلقية على شكل دائرة مغلقة مع تحقيق طول تماسك كافٍ كما في الشكل (٢-٧-أ). وإذا زاد قطر العمود على (400 mm) ، يجب استعمال شناكل أو أساور مربعة أو مستطيلة كما في الشكل (٢-٧-أأ)، إضافة للأساور الحلقية، لأن الأساور الحلقية قد لا تكون كافية في مثل هذه الحالات لتحمل الشد الناتج عن تحنيب قضبان التسليح.



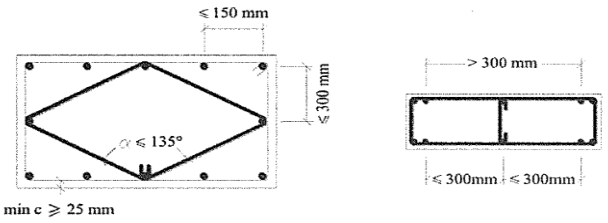
الشكل (٢-٧-أ): شكل إسوارة الأعمدة الدائرية ذات الأقطار التي لا تتعدى 400 mm



الشكل (٢-٧-أأ): شكل أساور الأعمدة الدائرية ذات الأقطار التي تتعدى 400 mm

ج- لا يقل قطر الأساور عن ثلث قطر قضبان التسليح الطولي أو (6mm) أيهما أكبر، ولا يزيد على (12mm). ويزاد القطر الأدنى للأسوارة المحيطية إلى (10mm) إذا لم تقل مساحة مقطع العمود على ($0.25m^2$)، أو عندما يكون طول مقطعها 80 cm أو أكبر.

د- لا يقل تباعد الأساور عن (100 mm)، ولا يزيد على 15 مرة أصغر قطر قضيب تسليح حسابي مربوط بالأسوارة، ولا على عرض العمود، ولا على (300mm) ، كما في الشكل (٧-٢-ب).



الشكل (٢-٧-ب): مسقط يبين الأساور

هـ- تكثف الأساور في مناطق وصل القضبان، بحيث لا يزيد التباعد بين الأساور في هذه المناطق على (150 mm).

و- في الإطارات العزمية المتوسطة المحلية (أي المتوسطة بمفهوم هذا الكود الأساس) يلزم تكثيف الأساور في مناطق اتصال الجوائز مع الأعمدة (في الجائزين يمين ويسار الوصلة، وفي العمودين فوق وتحت الوصلة)، بحيث يتم تكثيف عدد الأساور في هذه المناطق (كما في الأشكال الآتية (٧-٢-ج) و (٧-٢-د) و (٧-٢-هـ) في المناطق الزلزالية التي تقل عن 3،

ج– لا تقل خطوة الحلزون عن (40 mm).

د– يجب الاحتفاظ بالخطوة ثابتة، وتتم وصلات الحلزون عن طريق تراكب 1.5 لفة على الأقل.

هـ– لا تقل المساحة المكافئة لتسليح التطويق العرضي (A_{Sp}) المعرف بالبند (١٠-٣-٣-٢) عن:

$$(A_{sp})_{min} = 0.45 \left[\frac{A'_c}{A'_k} - 1.0 \right] \frac{f'_c}{f_{yp}} \cdot A'_k$$

حيث: A'_c = المساحة الكلية للقطاع الخرساني.

A'_k = مساحة نواة القطاع الخرساني.

f'_c = المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط.

f_{yp} = المقاومة المميزة لتسليح التطويق العرضي.

و– لا تزيد المساحة المكافئة لتسليح التطويق العرضي على:

$$(A_{sp})_{max} = 0.34 \left[\left(1.412 \frac{A'_c}{A'_K} - 1.0 \right) \frac{f_c}{f_{yp}} + 0.484 \frac{A'_s}{A'_k} \cdot \frac{f_y}{f_{yp}} \right] A'_k$$

حيث: f_y = المقاومة المميزة لفولاذ التسليح الطولي.

A'_s = مساحة التسليح الطولي.

ز– إذا تبين نتيجة للحساب ضرورة استعمال تسليح عرضي تزيد مساحته المكافئة على $(A_{SP})_{max}$، وجب تعديل التصميم بزيادة التسليح الطولي، أو أبعاد القطاع الخرساني أو كليهما بما يحقق الشرط $A_{SP} \leq (A_{SP})_{max}$، أو تطويق القطاع معدنياً واستعمال قطاعات معدنية داخل قطاع العمود. وفي هذه الحالات يحسب قطاع العمود من الملحق رقم (٩).

٧-١-٥- أطوال التحنيب للأعمدة:

٧-١-٥-١- الطول الحسابي:

أ – يؤخذ L (أو l_u) فيما يلي مساوياً للطول الحر للعنصر في الاتجاه المدروس على التحنيب، كما في الشكل (٣-٧).

ب– يفرق ما بين العناصر في الهياكل المسندة جانبياً والهياكل غير المسندة جانبياً:

١) الهياكل المسندة جانبياً هي الهياكل المقواة بعناصر لمقاومة الانزياح الجانبي، كأن تحتوي على جدران قص أو رباطات شبكية تساوي قساواتها مالا يقل عن ستة أضعاف مجموع قساوات الأعمدة في كل طابق وفي الاتجاه المدروس.

٢) الهياكل غير المسندة جانبياً هي الهياكل غير المقواة بعناصر لمقاومة الانزياح الجانبي، والتي تعتمد على قساوات أعمدتها فقط في مقاومة الأفعال الناتجة عن الانزياح الجانبي.

٣) يؤخذ الطول الحسابي L_0 لأعمدة الهياكل المسندة جانبياً كما يلي:

$L_0 = L$ حالة عنصر متفصل من طرفيه.

$L_0 = 0.85L$ حالة عنصر متفصل من طرف ومثبت من الطرف الآخر (وثاقة جزئية).

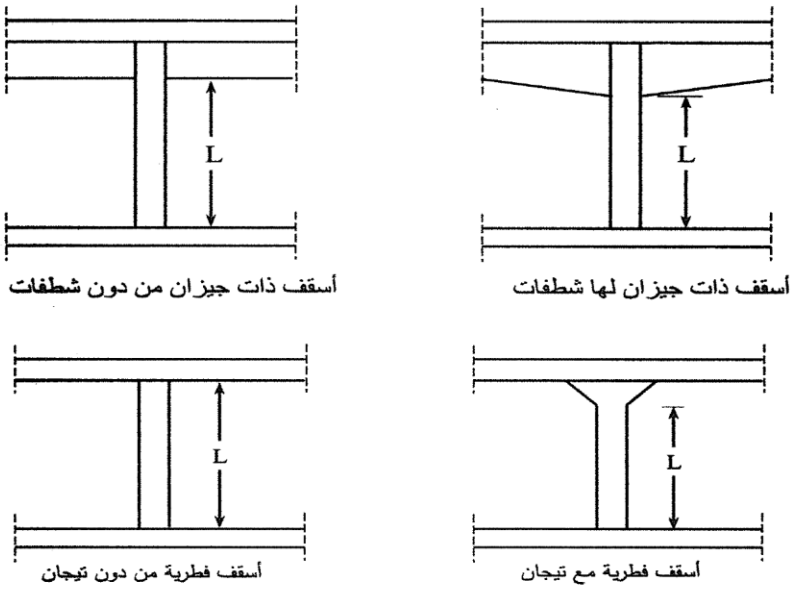
$L_0 = 0.70\ L$ حالة عنصر مثبت (وثاقة جزئية) من الطرفين.

$L_0 = L$ في حالة المباني العادية.

٤) يؤخذ الطول الحسابي L_0 لأعمدة الهياكل غير المسندة جانبياً كما يلي:

$$L_0 = \alpha \, .L \quad (\text{or} = k \, . \, l_u)$$

ويمكن بدلا من حساب L_0 اعتماد التحليل الإنشائي من الدرجة الثانية، الذي يأخذ بالحسبان تأثير P-Δ (أي تحسب القوى الداخلية والعزوم الإضافية الناتجة من الانزياحات الجانبية وتأثير الأحمال الشاقولية عليها).



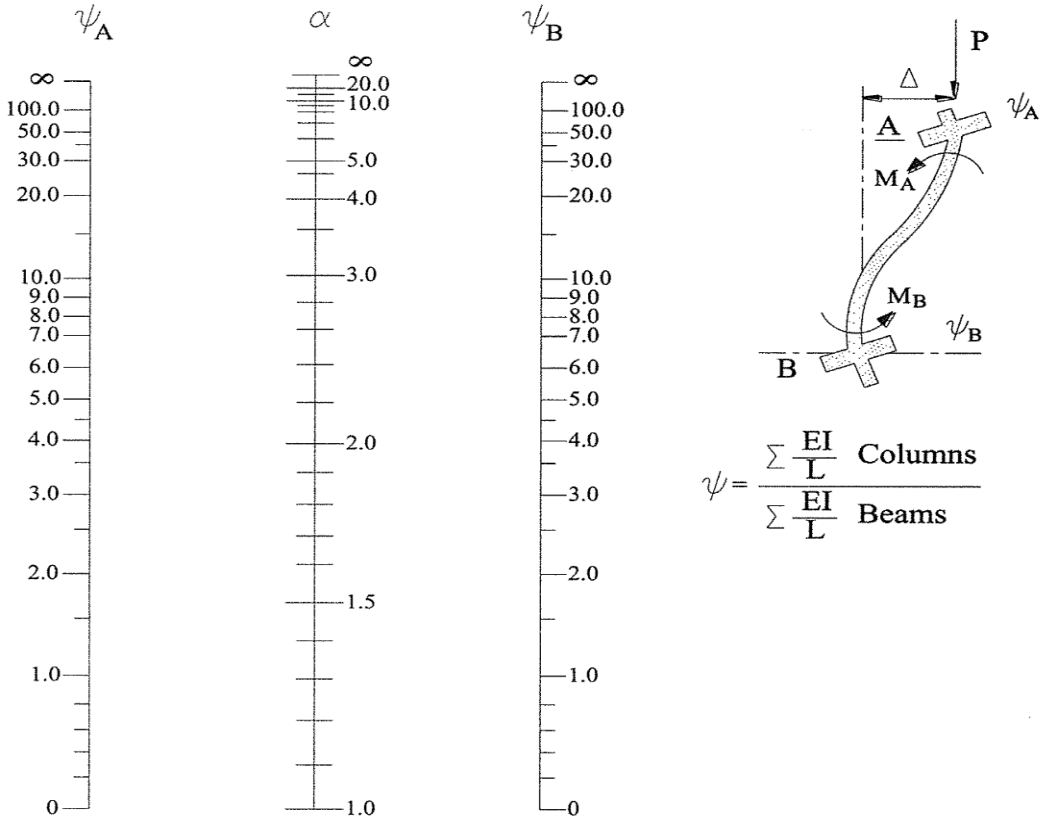
الشكل (٣-٧): أطول تحنيب الأعمدة

حيث: α = معامل يؤخذ من الشكل (٤-٧).

ψ_A = مجموع قساوات الأعمدة مقسومة على مجموع قساوات العناصر الخاضعة للانعطاف (الجوائز) لأحد طرفي العنصر.

ψ_B = مجموع قساوات الأعمدة مقسومة على مجموع قساوات العناصر الخاضعة للانعطاف (الجوائز) عند الطرف الآخر للعنصر.

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



الشكل (٤-٧): قيم المعامل α لحساب Ψ في الأعمدة غير المسندة جانبياً (غير المقواة)

٧-١-٥-٢- الأعمدة الطويلة والأعمدة القصيرة المسندة جانبياً:

يعد العنصر المضغوط (العمود):

أ – طويلاً إذا زادت نسبة أحد طوليه الحسابيين (بالاتجاهين المتعامدين) على سمك قطاعه في الاتجاه المعتمد على 12 بالنسبة لعمود ذي قطاع مستطيل أو مربع و10 بالنسبة لعمود ذي قطاع دائري.

ب – قصيراً إذا لم تزد النسبة على القيم المحددة في (أ) أعلاه.

ج – في حالة الأعمدة ذات القطاعات غير المستطيلة أو الدائرية، يعد العمود طويلاً إذا زادت نحافته $\frac{L_o}{i}$ على 40

حيث: $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ هي نصف قطر العطالة في الاتجاه المدروس.

٧-١-٥-٣- القيمة العظمى المسموحة للنحافة:

أ – يجب ألا تزيد نحافة العضو المضغوط $\frac{L_o}{i}$ في كل اتجاه على 100 إلا في الحالتين الآتيتين:

١) عندما يجري تحليل حسابي للمنشأة بالطرائق الدقيقة مع أخذ الأفعال من الدرجة الثانية بالحسبان (تأثير P-Δ) (أي تأثير انحراف المنشأة على القوى الداخلية فيها).

٢) في العناصر المضغوطة ذات الأهمية الثانوية كالعناصر التزيينية أو المتقاربة.

ب– وفي جميع الحالات، يجب ألا تزيد نحافة العضو المضغوط في كل اتجاه على 150.

٩-٢-٣- العلاقات الأساسية للحساب في حالات الضغط البسيط (الأعمدة القصيرة) المسندة جانبياً:

٩-٢-٣-١- يُعدّ العضو المضغوط قصيراً، إذا لم تزد نحافته $\left(\lambda = \frac{L_o}{i}\right)$ على 40.

ويمكن حساب مقاومته وفق البند (٢-٣-٢-٩)، إذا كانت الأحمال المضغوطة مطبّقة على نحو محوري، إلا أنه يجب أن تؤخذ في الحسبان لا مركزية لا تقلّ عن 25mm أو 0.1 من العمق الكلي للقطاع في اتجاه العزم، أيهما أكبر. يمكن في حالات الأعمدة القصيرة الخاضعة لأحمال محورية، إهمال تأثير هذه اللا مركزية الطارئة، وذلك باستعمال العلاقات المعتمدة في البند (-٣-٢-٩ ٢). ويجدر التنويه إلى أن العامل 0.8 (أو 0.85) يأخذ بالحسبان اللامركزية الطارئة من الصنع حصراً، ولايأخذ بالحسبان اللامركزيات الأخرى الواردة في العامل k_e.

٩-٢-٣-٢- يُحدد الحمل الأقصى للعضو القصير ذي الأساور (الكانات) العادية بالعلاقة الآتية:

$$N_u = 0.8\Omega[0.85f_c'A_c' + f_yA_s'] \quad \dots (9.1)$$

يُحدد الحمل الأقصى للعضو القصير ذي الأساور الحلزونية بالعلاقة:

$$N_u = 0.85\Omega[0.85f_c' A_k' + f_yA_s' + 2.5f_{yp}A_{sp}] \quad \dots (9.2)$$

حيث: f_y = إجهاد الخضوع (المقاومة المميزة) للتسليح الطولي المضغوط.

f_{yp} = إجهاد الخضوع (المقاومة المميزة) لصلب الأساور الحلزونية.

A'_k = مساحة قطاع النواة الداخلية للحلزون.

A_{sp} = المساحة الافتراضية المكافئة للأساور الحلزونية، وتساوي إلى:

$$A_{sp} = \frac{\pi \ d_k a_s}{s} \quad \dots (9.3)$$

حيث: d_k قطر النواة.

a_s قطاع تسليح قضيب الحلزون.

s خطوة الحلزون.

Ω معامل تخفيض المقاومة، وتُؤخذ قيمته 0.65 (حالة الضغط البسيط).

ولكي يكون هناك أمان كافٍ ضد انهيار الغطاء الخرساني في العناصر المسلحة حلزونياً، يجب ألا تزيد مقاومة القطاع حسب العلاقة (9.2) على 1.5 مرة مقاومة القطاع حسب العلاقة (9.1). وهذا يتأمن بتحقيق قيمة $(Asp)_{max}$ العلاقة الواردة في علاقة البند (٧-١-٤-٢-و).

يُسمح بحساب الأعمدة القصيرة التي يُبيّن التحليل الإنشائي أنها غير معرّضة لعزوم انحناء، أو الأعمدة القصيرة المعرّضة لعزوم انحناء صغيرة نسبياً، أي الأعضاء التي تنطبق عليها الاشتراطات الواردة في البند (٨-٣-٥-هـ) وفقاً لما هو مُبيّن أعلاه في هذا البند باستعمال إحدى العلاقتين (9.1) أو (9.2) حسب الحال.

أما في المباني الهيكلية الطابقية العادية التي تصمم أعمدتها لتحمل الأحمال الشاقولية فقط، وغير الخاضعة لتأثيرات ناتجة عن أحمال أفقية (وذلك عند اعتماد جملة جدران قص تقاوم كامل الأحمال الجانبية الناتجة عن الزلازل أو الرياح)، فيمكن تسهيلاً حساب أعمدتها القصيرة بافتراضها

معرّضة للضغط البسيط، وفقاً لما هو مُبيّن أعلاه في هذا البند، حتى لو لم تتحقق اشتراطات الفقرة المدونة أعلاه، وذلك بعد تقسيم الطرف الأيمن للعلاقتين (9.1) أو (9.2) على معامل التكافؤ k_e الوارد في الجدول (٢-٨) من البند (٥-٣-٨)، والذي يلحظ ضمناً، أثر عزوم الانحناء المنقولة إلى الأعمدة والتي أُهمل حسابها.

أما في الحالات الأخرى التي لا تنطبق عليها الاشتراطات الواردة أعلاه، وحيث يُعرّض الترتيب الإنشائي للعناصر، الأعمدة لعزوم انحناء من الأحمال المطبقة، فيجب أخذ هذه العزوم في الحسبان بلا مركزية دنيا (بما فيها اللامركزية الطارئة) لا تقلّ عن 25mm أو عن 0.1 من العمق الكلي للقطاع في اتجاه العزم، أيهما أكبر، وحساب الأعمدة بصفتها عناصر معرّضة لضغط لا مركزي، على أن تحسب قيم عزوم الانحناء وفقاً لما ورد في الباب الثامن.

٩-٢-٤- العلاقات الأساسية للحساب في حالة الشد البسيط:

يجري حساب القطاعات المعرّضة إلى قوى شادّة مركزية أو لا مركزية، بحيث تقع محصلة قوة الشدّ المطبّقة داخل المنطقة المحددة بقضبان التسليح المحيطية، كالآتي:

٩-٢-٤-١- تعد قوة الشدّ في هذه الحالة محمّلة بكاملها على التسليح، وتهمل مساهمة الخرسانة، وتحقق مساحة التسليح العلاقة الآتية:

$$N_u \le \Omega A_s f_y \quad \ldots\ldots\ldots (9.4)$$

حيث: N_u = قوة الشدّ الناظميّة القصوى المطبّقة على القطاع.

f_y = حدّ خضوع فولاذ (صلب) التسليح.

A_s = مساحة تسليح الشدّ في القطاع.

Ω = معامل تخفيض المقاومة، ويؤخذ مساوياً إلى 0.9.

مع التذكير بضرورة زيادة مساحة التسليح أو تصغير أقطاره أو كلاهما لتحقيق شرط حد التشقق.

٩-٢-٤-٢- توزّع قضبان التسليح في القطاع بحيث يكون مركز ثقلها منطبقاً مع نقطة تطبيق القوة الشادّة (N_u) للحالة الحرجة. وتحسب مساحات التسليح على هذا الأساس لجميع حالات التحميل، وتؤخذ مساحة التسليح الأكبر في كل جهة.

٩-٢-٤-٣- عندما لا يُشترط منع التشقق، فإن مساحة الخرسانة المطلوبة تحدد بحيث تؤمّن الحماية الكافية لقضبان التسليح، أو تحدد من شرط السهم الناتج عن الوزن الذاتي إن وُجد. أما في الحالات التي يُشترط فيها منع التشقق، فيتم حساب أبعاد القطاع على إجهادات المرحلة الأولى، كما في البند (٣-٢-٣-١٠).

حالات التحميل المبسطة للأعمدة :

من أجل حساب القوى الناظمية في الأعمدة، تعدّ جميع الطوابق التي تعلو العمود (فوق المنسوب المدروس) محمّلة بكامل الأحمال الحية والميتة، مع إمكانية اعتماد نسب تخفيض الحمولات الحية. أما من أجل حساب العزوم على الأعمدة، فيمكن الاقتصار على دراسة حالات التحميل الواردة في البند (١-٢-٣-٨) للجوائز في سقف الطابق المدروس، ويُختار منها عند تصميم الأعمدة الحالات الآتية:

أ - حالات التحميل التي ينتج عنها أكبر عزم انحناء مصعّد مع الحمل الناظمي المصعّد المرافق.

ب- حالات التحميل التي ينتج عنها أكبر حمل ناظمي مصعّد مع عزم الانحناء المصعّد المرافق.

ج- حالة التحميل التي ينتج عنها أكبر لا مركزية، مع الحمل الناظمي المصعّد وعزم الانحناء المصعّد المرافقين (إن اختلفا عن (أ) أعلاه).

د- عند الحساب في حالات حدود الاستثمار، تُحسب القوى الداخلية بقيمها الاستثمارية غير المصعّدة، عند تطبيق أحكام الفقرات (أ- ب-ج) أعلاه.

حساب الاعمدة :

أ- لحساب القوى الناظميّة تؤخذ ردود أفعال الجوائز، إذا كانت محسوبة بطرائق التحليل، أما إذا كانت محسوبة بالطرائق المبسّطة المسموح استعمالها، فيُؤخذ الاستمرار بالحسبان، على ألا يقلّ رد الفعل دوماً، عن رد فعل الجائز البسيط الاستناد عند المساند الداخلية.

ب- يمكن أيضاً، ومن أجل الحساب الأوّلي، حساب الأحمال بتحديد المساحات الطابقية التي تُغذي العمود بالأحمال (مع أخذ الخطوط المنصّفة للمسافات بين الأعمدة في الحسبان)، وفي هذه الحالة يجب لحظ أثر الاستمرار، بزيادة الحمل الناتج عن الطابق المدروس بمقدار 10%، عن كل اتجاه يكون فيه العمود أول عمود داخلي إذا كان عدد المجازات بالاتجاه المدروس يزيد على اثنين، و15% إذا كان عدد المجازات في الاتجاه المدروس اثنين فقط.

ج- يمكن أن يُؤخذ في حساب القوى الناظميّة على الأعمدة، تخفيض الأحمال الحيّة في الأبنية المتعددة الطوابق، وفقاً للبند (٣-٣-٥).

د- في الحالة العامة، يجب حساب عزوم الانحناء على الأعمدة مع أخذ أسوأ وضعية تحميل للأحمال الحية بالحسبان، ويمكن اعتماد نماذج مبسّطة للحساب، كما سبق في البند (١-٣-٨).

هـ- إذا بيّن التحليل الإنشائي أن العمود غير خاضع لعزم انحناء في أخطر حالات التحميل، وخاضع لعزم انحناء يؤدي إلى لا مركزية (e)، لا تزيد على 0.05 من الارتفاع الكلي لمقطع العمود في الاتجاه المدروس، يمكن إهمال تأثير العزم، وحساب قطاع العمود وتسليحه بافتراضه معرّضاً للضغط البسيط، كما سيرد في الباب التاسع أو الباب العاشر حسب الحال.

و- يمكن عدّ الأعمدة الوسطية التي ترتكز عليها جوائز أو بلاطات ذات مجازات متقاربة، بمثابة أعمدة خاضعة للضغط البسيط من الأحمال الشاقولية، ولا يُطلب حساب العزوم المطبّقة عليها، ويُستثنى من ذلك الأعمدة الحاملة لبلاطات فطرية.

ز- استثناء مما ورد أعلاه، يمكن للمصمم (اعتماداً على تقديره)، وفي حالة الأبنية الهيكلية الطابقية ذات المجازات المألوفة في المباني السكنية والتجارية وما شابهها، إهمال تأثير العزوم من الأحمال الشاقولية، وحساب قطاعات الأعمدة على الضغط البسيط، مع إدخال أثر العزوم الطارئة بصورة ضمنية، باعتماد العامل k_e الوارد في الجدول (٨-٢-أ)، (انظر أيضاً البندين ٩-٢-٣ و١٠-٣-٢-٣).

حساب وتحقيق العناصرالخاضعة للضغط المركزي المسلحة بقضبان طولية واساور عرضية :

في حالة تحقيق هذه العناصر يكون كل من المقطع والتسليح معلوما وأيضا القوى المركزية القصوى المطبقة على المقطع، نحسب التحمل الأقصى للمقطع من العلاقة (2 –3) ونقارنه مع القوى القصوى المطبقة، يجب أن يكون تحمل المقطع أكبر او يساوي القوى المطبقة و إلا فإن المقطع يكون غير محقق .

عند تصميم المقطع نصادف حالتين :

– أبعاد المقطع معلومة والمطلوب إيجاد التسليح اللازم للمقطع :

نحسب التسليح الطولي اللازم بشكل مباشر من العلاقة (2 – 3) ، نختار التسليح الطولي اللازم، ونتحقق من نسبة التسليح فإذا كانت أصغر من الدنيا عندئذ تؤخذ مساوية للدنيا، وإذا زادت عن العظمى يكون المقطع البيتوني غير كافيا . واخيرا يتم اختيار التسليح العرضي بما يحقق للشروط .

– أبعاد المقطع البيتوني غير معلومة وأيضا التسليح غير معلوم :

في هذه الحالة نفرض نسبة التسليح ($\mu'_s = A'_s/A'_c$) ويفضل دوما أن تكون قريبة من النسبة الدنيا لأن التسليح الطولي لا يزيد كثيرا من طاقة تحمل العناصر المعرضة للضغط المركزي وبالتالي من أجل تحقيق الناحية الاقتصادية. أما إذا فرضت الشروط المعمارية أصغر مقطع عرضي للعنصر فعندها يجب إعطاء النسبة العظمى أو أدنى منها بقليل للتسليح الطولي ، وبعد فرض نسبة التسليح يمكن اختيار أبعاد المقطع استنادا إلى العلاقات التالية :

يمكن وضع العلاقة (2 – 3) بالشكل التالي :

$$N_u = 0,8.\Omega.A'_c\left(0,85f'_c + f_y.\frac{A'_s}{A'_c}\right)$$

$$N_u = 0,8.\Omega.A'_c\left(0,85f'_c + \mu'_s.f_y\right)$$

$$A'_c = \frac{N_u}{0,8.\Omega\left(0,85.f'_c + \mu'_s.f_y\right)} \qquad (3-3)$$

وبعد اختيار المقطع البيتوني للعنصر يمكن تحديد مقطع التسليح الطولي حسب العلاقة :

$$A'_s = \mu'_s.A'_c \qquad (3-4)$$

ونختار التسليح العرضي بما يحقق الشروط المذكورة في الفقرة 3 –1– 2 .

حساب وتحقيق العناصرالخاضعة للضغط المركزي المسلحة بقضبان طولية وحلزونية :

في حالة تحقيق المقطع يتم ايجاد التحمل الأقصى للمقطع وفق العلاقة (5 – 3) وبالاستعانة بالعلاقة (6 – 3) ، ومن ثم نقارن مع القوى المركزيـة القصـوى المطبقة على المقطع .

أما بالنسبة لتصميم المقطع فنصادف حالتين :

– عندما يكون المطلوب تصميم كل من المقطع البيتوني والتسليح : نفرض نسـبة تسليح طولي ونسبة تسليح حلزوني فنجد المقطع العرضي للعنصر كما يلي :

يمكن وضع العلاقة الأساس (5 – 3) بالشكل التالي :

$$N_u = 0{,}85\Omega . A'_k (0{,}85 . f'_c + \frac{A'_s}{A'_k} f_y + 2{,}5 \frac{A'_{sp}}{A'_k} f_{yp})$$

بما أن : $\mu'_{sp} = \frac{A'_{sp}}{A'_k}$ هي نسبة التسليح الحزوني .

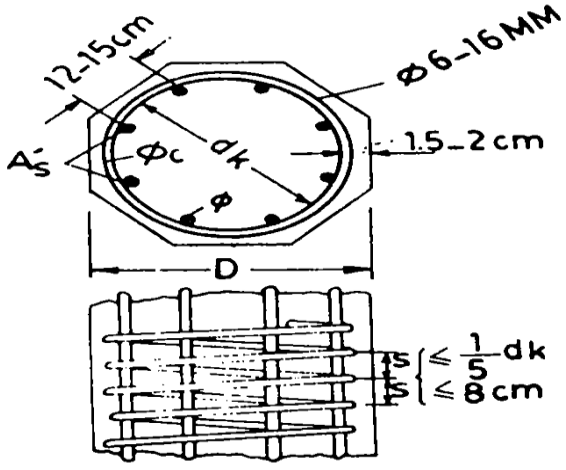
$\mu'_k = \frac{A'_s}{A'_k}$ هي نسبة التسليح الطولي إلى مقطع النواة .

تصبح العلاقة (5 – 3) على النحو التالي :

$$N_u = 0{,}85 . \Omega . A'_k (0{,}85 . f'_c + \mu'_k . f_y + 2{,}5 \mu'_{sp} . f_{yp})$$

ومنه نجد :

$$A'_k = \frac{N_u}{0{,}85 . \Omega (0{,}85 f'_c + \mu'_k . f_y + 2{,}5 . f_{yp} . \mu'_{sp})} \quad (3 - 10)$$



شكل 3 – 5 – العناصر الخاضعة لضغط مركزي والمسلحة بقضبان طولية وحلزونية .

وبما أن $A'_k = \frac{\pi . d_k^2}{4}$

يمكننا تحديد قطر النواة بالشكل التالي "

$$d_k = \sqrt{\frac{4Nu}{\pi . 0,85 . \Omega (0,85 f'_c + \mu'_k . f_y + 2,5 \mu'_{sp} . f_{yp})}} \qquad (3-11)$$

وبعد تحديد أبعاد العنصر يحدد التسليح الطولي والتسليح الحلزوني من العلاقتين

$$\left.\begin{aligned} A'_s &= \mu'_k . A'_k \\ A'_{sp} &= \mu'_{sp} . A'_k \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (3-12)$$

وإذا كان مقطع قضيب الحلزون (a_{sp}) معروفا يمكن ايجاد الخطوة من العلاقة (3 – 6) حيث تكتب بالشكل :

$$S = \frac{\pi . d_k . a_{sp}}{A'_{sp}} \qquad (3-13)$$

وإذا كانت خطوة الحلزون (S) معروفة يمكن إيجاد مقطع قضيب الحلزون من العلاقة (6 – 3) أيضا بالشكل :

$$a_{sp} = \frac{S . A'_{sp}}{\pi . d_k} \qquad (3-14)$$

– عندما يكون المقطع محددا والمطلوب حساب التسليح : في هذه الحالة نفترض نسبة للتسليح $\mu'_k = \frac{A'_s}{A'_k}$ وغالبا ما تكون قريبة من نسبة التسليح العظمى وذلك للاستفادة قدر الإمكان من إسهام التسليح الطولي، وبالتالي يمكن حساب مقطع التسليح الطولي من العلاقة :

$$A'_s = \mu'_k . A'_k \qquad (3-15)$$

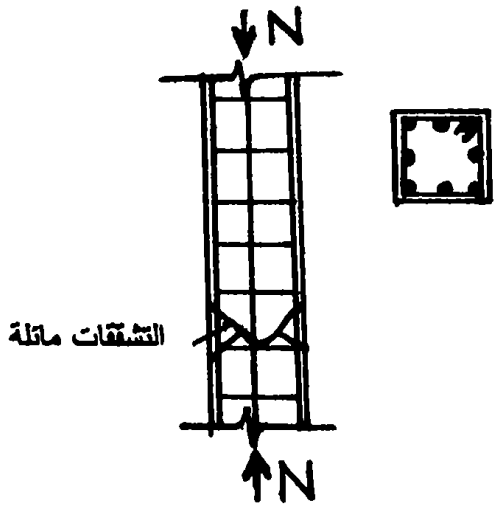
وبتطبيق العلاقة الأساس (5 – 3) نجد المساحة المكافئة للتسليح الحلزوني ومن ثم نوجد مقطع الحلزون وخطوته كما ورد في العلاقتين (13 –3) و (14 – 3).

وفي جميع الأحوال يجب التأكد من تحقق الشرط المتعلق بنسبة التسليح الحلزوني الدنيا كما في العلاقة (9 – 3) ومن الشرط الذي يحدد الحد الأقصى

لمقاومة مقطع مسلح بتسليح حلزوني أي الشرط الـوارد في العلاقة (7 – 3) أو نسبة التسليح الحلزوني العظمى كما في العلاقة (8 – 3) .

3 - 1 - 4 - انكسار العناصر الخاضعة لضغط مركزي:

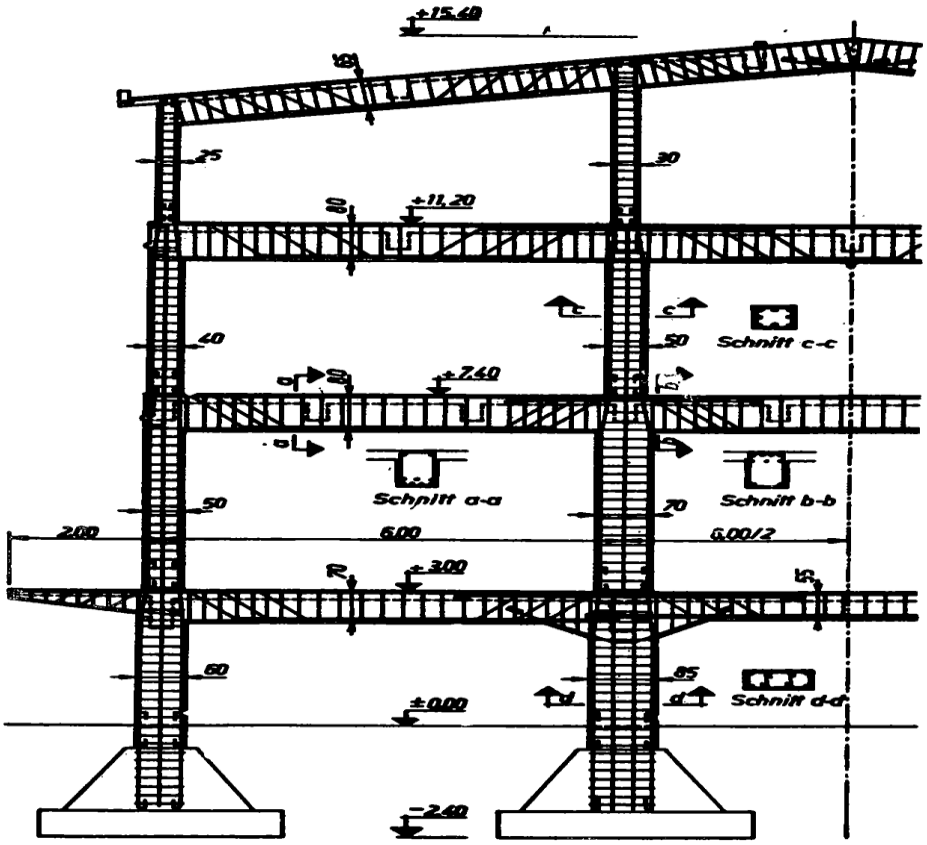
إن الأسبا ب التي تؤدي إلى تشقق وتصدع العناصر المعرضة لضغط مركزي كثيرة ومتشعبة فمنها ما هو متعلق بمادة البناء نفسها أو بعوامل خارجية مثل هبوط الأساسات ، أخطاء تنفيذية ، زيادة في الحمولات ، تأثيرات كيميائية ، التعرض للزلازل ، أو نتيجة حدوث الحرائق أو لأسباب أخرى كالتقلص والسيلان والتغير الحراري .....الخ. وعلى سبيل المثال نلاحظ في الشكل 3 –6 التشققات المائلة الناشئة في عمود يتعرض لضغط مركزي نتيجة الحمولة الزائدة.



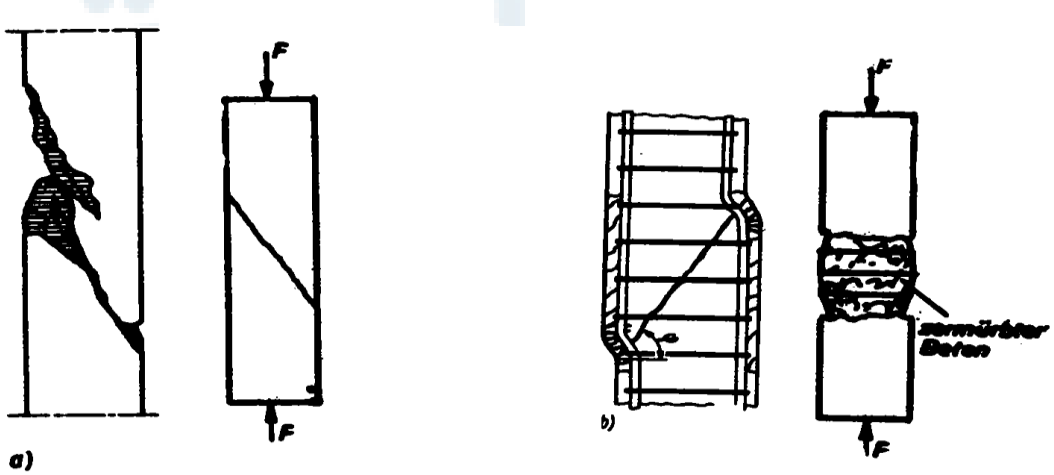
شكل 3 – 6 – التشققات المائلة في عمود يتعرض لضغط مركزي والناشئة بسبب الحمولات الزائدة .

يجب تنفيذ التسليح في العناصر الانشائية وفق الشكل الصحيح وخاصة عند استمرارية عمود من طابق إلى آخر ، فإذا صغر المقطع العرضي للعمود في الطابق الأعلى عندئذ يجب أن يميل التسليح الطولي الخارجي قليلا مع استخدام أساور أضيق بالتدريج حتى يصبح هذا التسليح الطولي متطابقا مع التسليح الطولي في الطابق الأعلى مباشرة، كما في الشكل 3 – 7 .

بشكل عام يكون انكسار العناصر المعرضة للضغط المركزي كما هو مبين بالشكل 3– 8 .

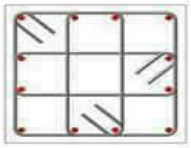


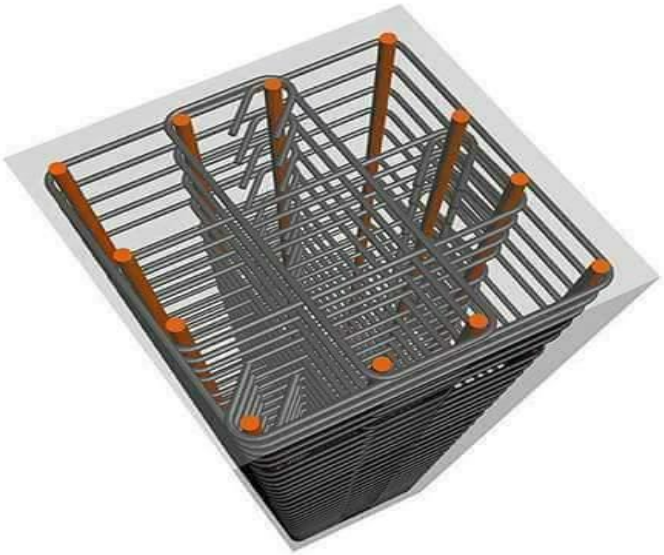
شكل 3 – 7 – تفاصيل التسليح في الأعمدة في بناء متعدد الطوابق

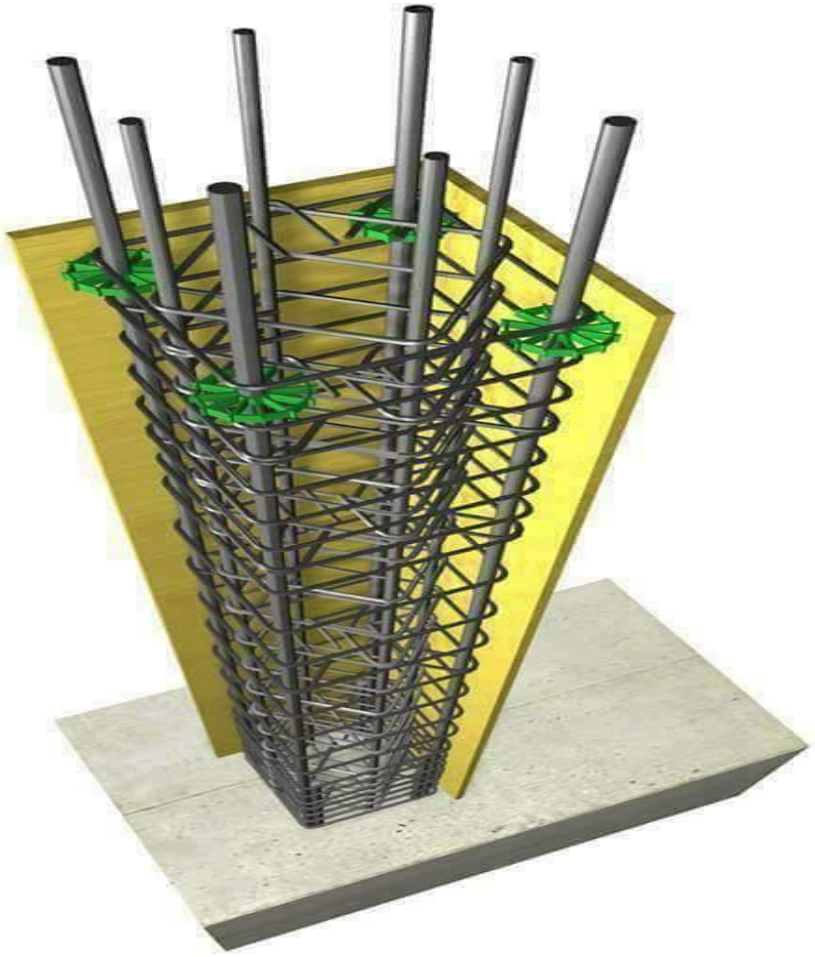


شكل 3 – 8 – انكسار الأعمدة الخاضعة لضغط مركزي .

a – أعمدة بيتونية b – أعمدة بيتونية مسلحة .







2-2-1 أنواع الأعمدة حسب شكل المقطع:

تتنوع أشكال مقاطع الرقاب والأعمدة الخرسانية وفقا لمتطلبات التصميم المعماري والإنشائي للمنشأة والذي يحدد شكل مقطعها العرضي إلى الأشكال الرئيسية التالية:

أ- **رباعية الأضلاع:** أعمدة ذات مقطع عرضي رباعي الأضلاع كالمستطيلة والمربعة. كما هو موضح في شكل (7).

ب- **سداسية الأضلاع:** أعمدة ذات مقطع عرضي سداسي الأضلاع شكل (8)

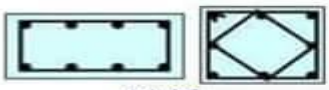
ج- **ثماني الأضلاع:** أعمدة ذات مقطع عرضي ثماني الأضلاع شكل (9).

د- **دائرية المقطع:** أعمدة ذات مقطع عرضي دائري شكل (10).

ه- **مقطع حرف T:** أعمدة ذات مقطع عرضي على شكل حرف T شكل (11).

و- **مقطع زاوي:** أعمدة ذات مقطع عرضي حرف (L) وغالبا ما تنفذ في أركان المباني شكل (12).

وسنتعرض في مواضيع هذه الوحدة إلى نوع الأعمدة ذات الشكل الرباعي والتي يتم استخدامها بكثرة في المنشآت، حيث إن الأنواع الأخرى يتم استخدامها كمتطلبات جمالية في التصميم المعماري، وسيتم التعرض لهذه الأنواع في وحدات لاحقة.

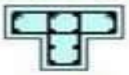


شكل (7)
المقاطع العرضية الرباعية

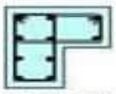
شكل (8)
مقطع عرضي سداسي

شكل (9)
مقطع عرضي ثماني الاضلاع

شكل (10)
مقطع عرضي دائري

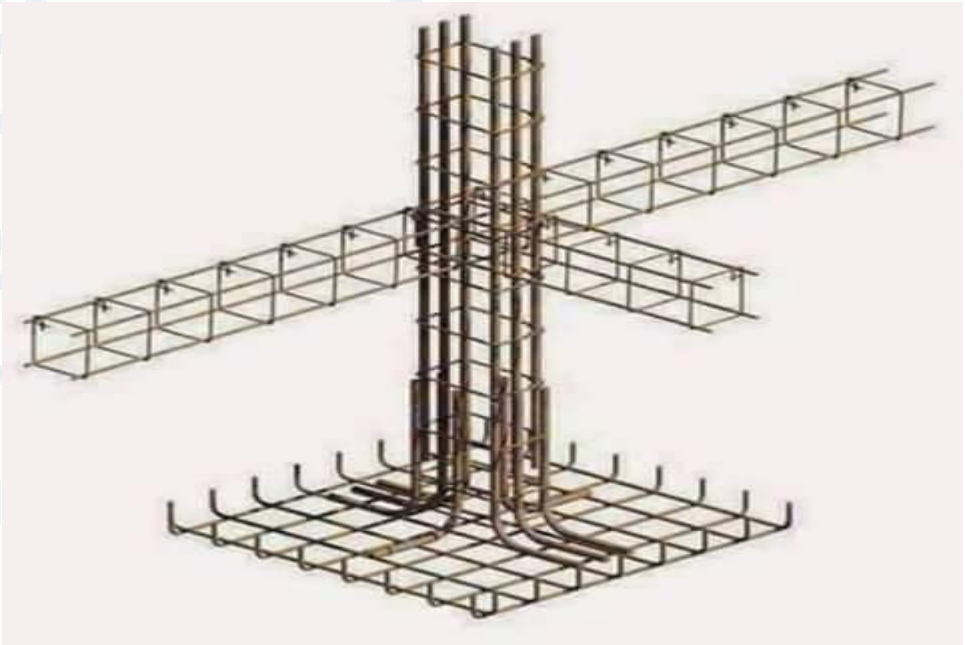


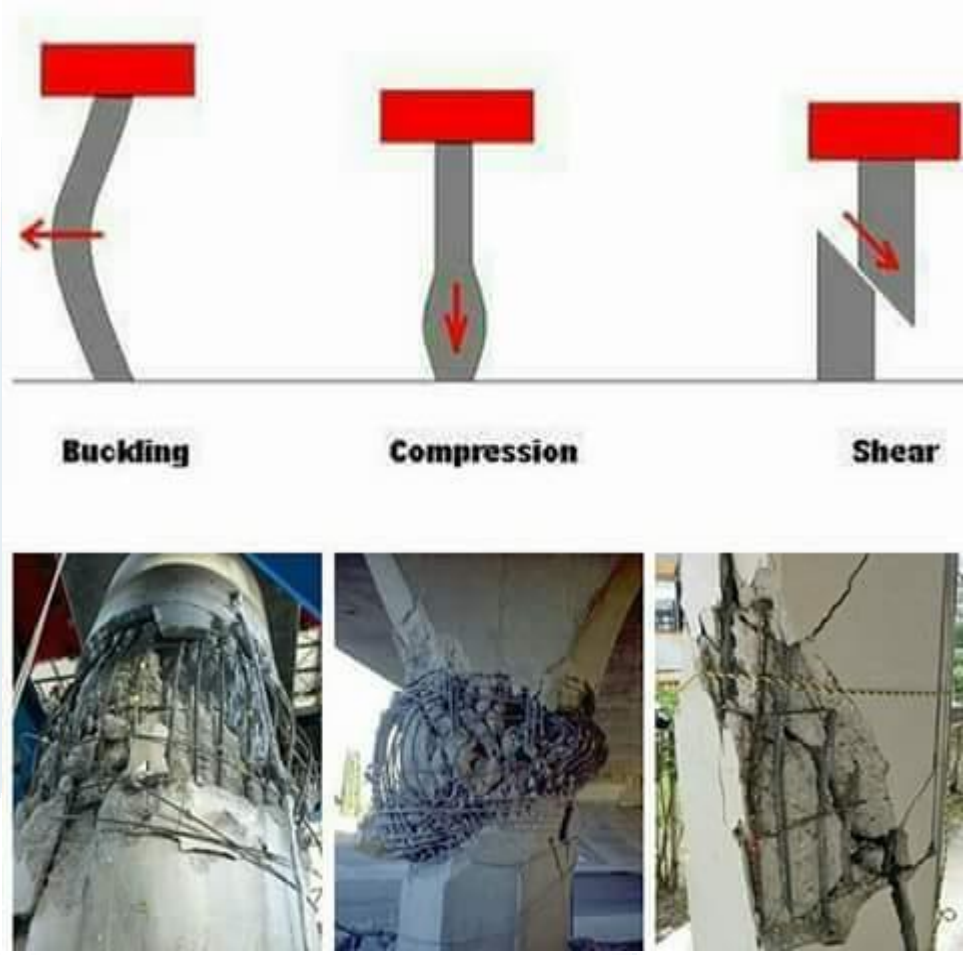
شكل (11)
مقطع حرف T

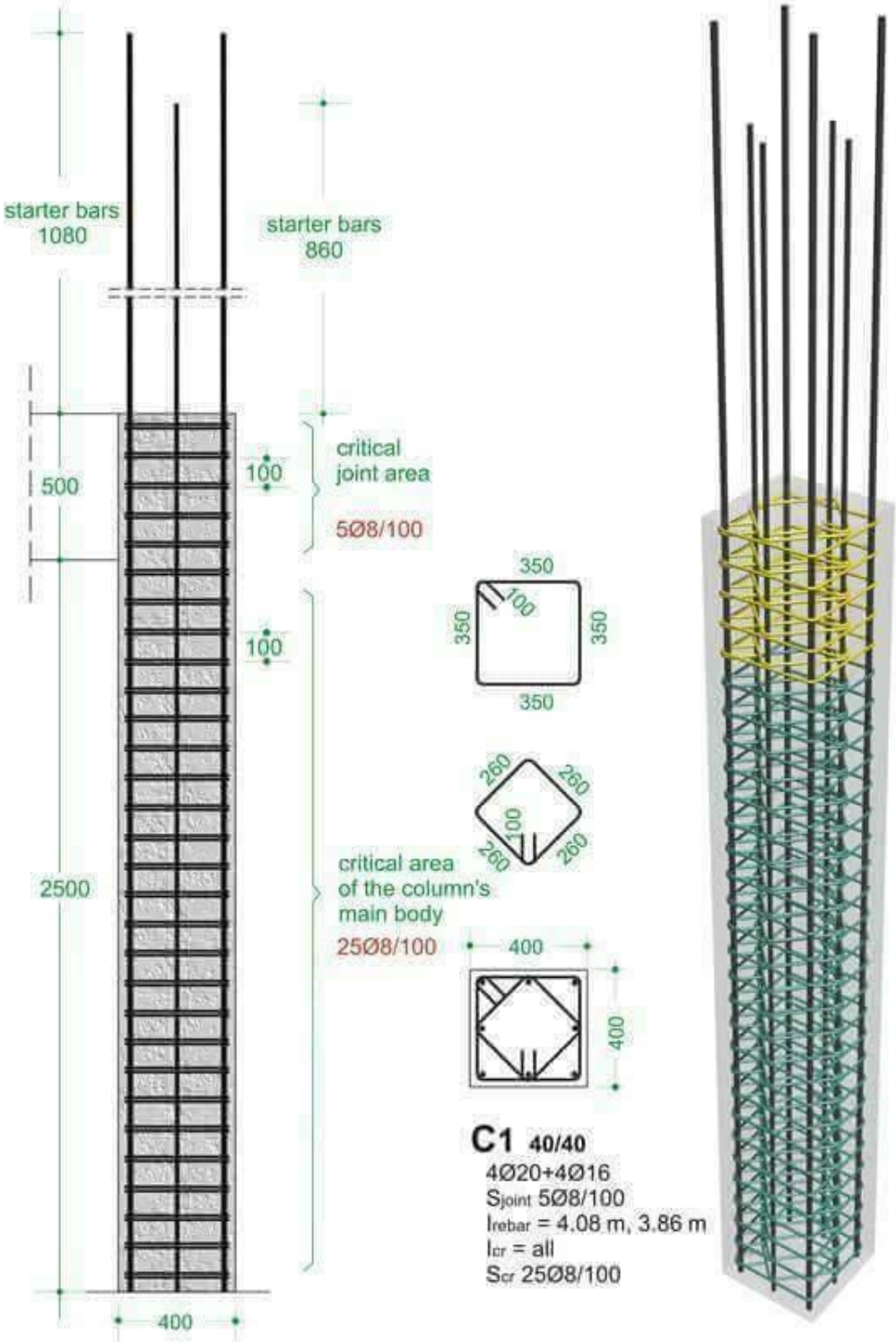


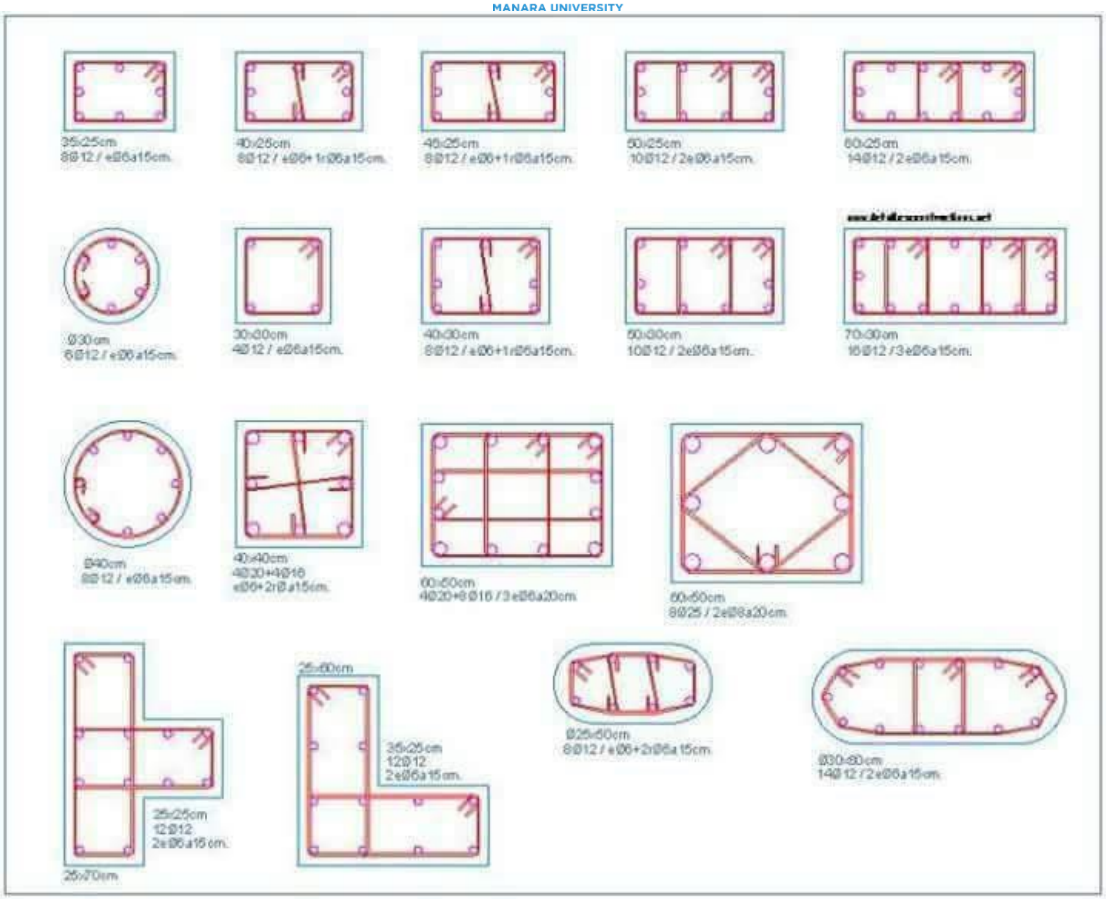
شكل (12)
مقطع عرضي زاوي

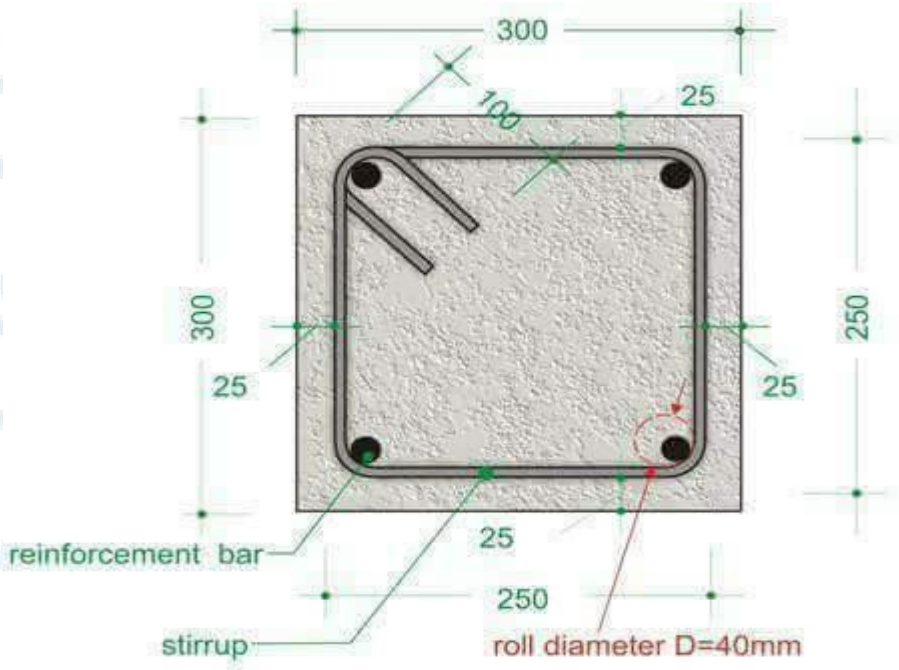
المهندس المدني - شريف الاحياء



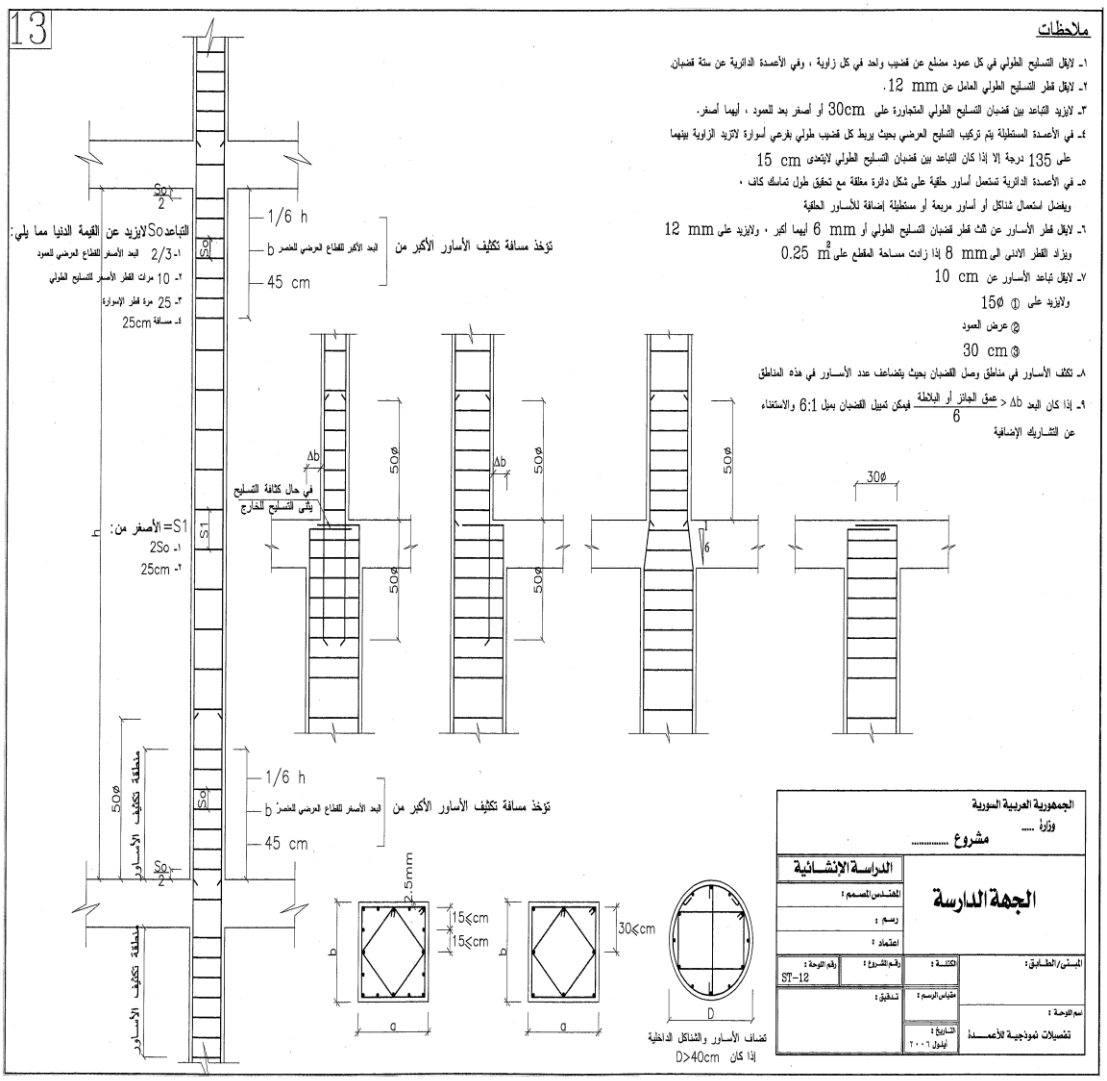

Buckling
Compression
Shear


starter bars
1080
starter bars
860
500
100
critical
joint area
5Ø8/100
100
2500
critical area
of the column's
main body
25Ø8/100
400
350
350
350
350
100
260
260
260
260
100
400
400
C1 40/40
4Ø20+4Ø16
Sjoint 5Ø8/100
lrebar = 4.08 m, 3.86 m
lcr = all
Scr 25Ø8/100




300
100
25
300
250
25
25
25
250
reinforcement bar
stirrup
roll diameter D=40mm

تفصيلة تسليح الأعمدة وفق ملحق الكود رقم 3 (كود المخططات الانشائية)



MANARA UNIVERSITY

أمثلة في حساب العناصر المعرضة لضغط بسيط :

مثال 1:

عمود طرفي قصير أبعاد مقطعه العرضي 350 x 800 mm، يتعرض لحمولات مركزية دائمة مقدارها G = 1550 kN ومؤقتة مقدارها p = 400 kN، $f_y = 240\,N/mm^2$, $f_c' = 20\,N/mm^2$، المقطع مسلح بـ $A_s' = 10\phi 20\,mm$ يطلب التحقق من مقطع العمود .

الحل :

الحمولة القصوى المطبقة على المقطع :

$$N_u = 1.4G + 1.7\,P = 1.4 * 1550 + 1.7 * 400 = 2850\ KN$$

تحمل المقطع :

$$N_u = 0.8\Omega(0.85\,f'c\,A'c + fyA's)$$

$$= 0.8 * 0.65(0.85 * 20 * 350 * 800 + 240 * 3141.59)10^{-3}$$

$$= 2867.27\ KN$$

$$N_u = 2850\ KN < 2867.27\ KN \qquad ok$$

فالمقطع محقق.

مثال 2:

عمود وسطي قصير مقطعه العرضي مستطيل أبعاده 500 x 750 mm ، معرض لحمولات مركزية دائمة مقدارها G = 1800 kN ومؤقتة مقدارها p = 400 kN, $f_y = 240\,Nmm^2$, $f_c' = 18\,N/mm^2$، المطلوب تصميم المقطع العرضي للعمود مع توضيح التسليح على المقطع .

الحل :

الحمولة القصوى المطبقة على المقطع :

$$N_u = 1.4G + 1.7\,P = 1.4 * 1800 + 1.7 * 400 = 3200\ KN$$

حساب التسليح الطولي :

$$N_u = 0.8\Omega(0.85\,f'c\,A'c + fyA's) = 3200\ KN$$
$$= 0.8 * 0.65(0.85 * 18 * 500 * 750 + 240 * A's)$$

$$A's = 1734.2\ mm^2$$

$$\mu'_s = \frac{\mathbf{A'_s}}{\mathbf{A'_c}} = \frac{\mathbf{1734.2}}{\mathbf{500 * 750}} = \mathbf{0.0046} < \mu'_{s\,min} = 0.01$$

فالمقطع النظري المطلوب لهذا العمود في حال اعتماد نسبة التسليح الدنيا 0.01

$$\mathbf{A'_c} = \frac{N_u}{0.8\Omega(0.85\,f'c + fy\mu'_{s\,min})} = \frac{3200\ 10^3}{0.80 * 65(0.85 * 18 + 240 * 0.01)}$$
$$= 347675\ mm^2$$

يجب ألا تقل المساحة الدنيا التي يمكن استعمالها لهذا العمود عن 0.01 من المقطع النظري المحسوب أعلاه أي :

$$A's \geq 0.01 * 437675 = 3476.75\ mm^2$$

ولا تقل عن 0.006 من المقطع الفعلي المستخدم أي :

$$A's \geq 0.006 * 500 * 750 = 2250\ mm^2$$

لذلك نعتبر:

$$A's = 3476.75\ mm^2$$

ونختار :

$$A's = 6\Phi22 + 4\Phi22 = 3537.2mm^2$$

اختيار التسليح العرضي :

$$\Phi \geq 6\ mm$$

$$\geq \frac{d}{3} = \frac{22}{3} = 7.3\ mm$$

وايضا :

$$\geq 100\ mm$$

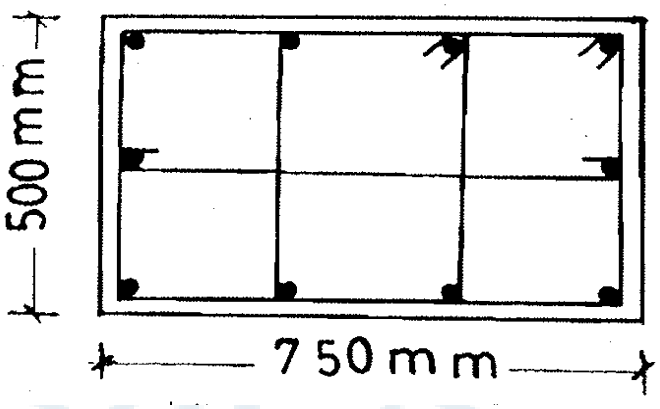
$$\leq b = 500\ mm$$

$$\leq 15d = 15 * 20 = 300\ mm$$

$$\leq 300\ mm$$

نختار :

$\Phi = 8\ mm$ كل : $S = 250\ mm$ كما يبين توضع التسليح على المقطع العرضي التالي :



مثال 3:

عمود ركني قصير مقطعه مستطيل عرضه $b = 400\ mm$ ، يتعرض لحمولات مركزية دائمة مقدارها $1200\ kN$ ومؤقتة مقدارها $300\ kN$ ، $f'_c = 18\ N/mm^2$, $f_y = 240 N/mm^2$. المطلوب تصميم المقطع .

الحل :

الحل :

نفرض نسبة تسليح دنيا

$$\mu'_s = \mu'_{s\,min} = 0.01$$

وتكون الحمولات القصوى المطبقة :

$$N_u = 1.4G + 1.7\,P = 1.4 * 1200 + 1.7 * 300 = 2190\ KN$$

$$A'_c = \frac{N_u}{0.8\Omega(0.85\,f'c\ + fy\mu'_s)} = \frac{2190.\ 10^3}{0.8 * 0.65(0.85 * 18\ + 240 * 0.01)} = 23740\ mm^2$$

$$h_t = \frac{A_c}{b} = \frac{237940}{400} = 594.85\ mm$$

ناخذ $h_t = 600mm$ فيكون المقطع العرضي الفعلي 400*600= 240000 ملم^2

ومقطع التسليح اللازم

$$A'_s = \mu'_s * A'_c = 0.01 * 237940 = 2379.4mm^2$$

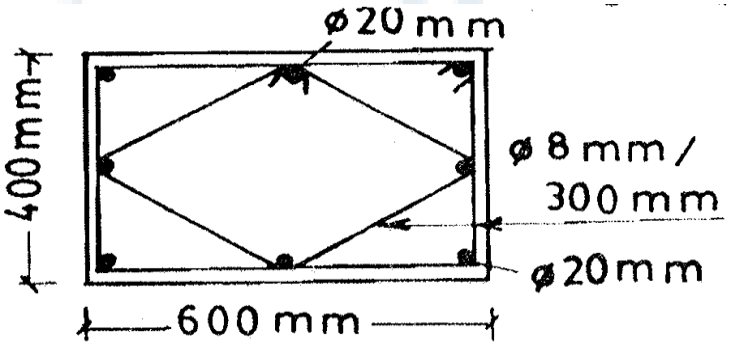
نتحقق من نسبة التسليح بالنسبة للمقطع الفعلي

$$\mu'_s = \frac{A'_s}{A'_c} = \frac{2379.4}{240000} = 0.99\% > 0.6\% \qquad oK$$

نختار :

$$A's = 8\Phi 20 = 2513.27mm^2$$

نختار اساور : $\Phi = 8\ mm\ /\ 300mm$ ونوزع التسليح كما يلي :



مثال 4:

عمود وسطي قصير ارتفاعه 5500 mm ، مفصلي في الأعلى وفي الأسفل، مقطعه العرضي مبين على الشكل 3 –11، يتعرض لحمولات مركزية دائمة مقدارها 1300KN بما في ذلك الوزن الذاتي ، ومؤقتة مقدارها 590kN .

$f_y = 240\frac{N}{mm^2}, f'_c = 18 N/mm^2$

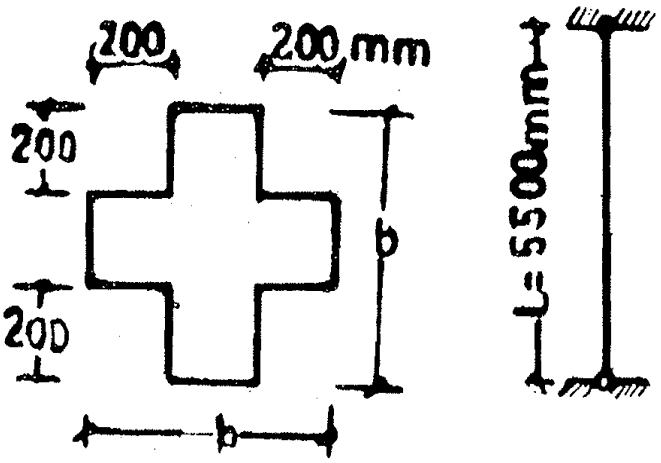
والمطلوب تصميم العمود بحيث يكون مقطعه العرضي أصغر ما يمكن ، ثم توضيح التسليح على المقطع العرضي .

الحل :

$$N_u = 1.4G + 1.7\,P = 1.4 * 1300 + 1.7 * 590 = 2823\ KN$$

نفرض نسبة تسليح عظمى

$$\mu'_s = \mu'_{s\,max} = 0.025$$



$$A'_c = \frac{N_u}{0.8\Omega(0.85\,f'c\ + fy\mu'_s)} = \frac{3823.\ 10^3}{0.8 * 0.65(0.85 * 18\ + 240 * 0.025)} = 254875\ mm^2$$

$$b^2\ - 4 * 200 * 200 = 254875.4 \Rightarrow b = 644.1\ mm$$

ناخذها : $b = 650\ mm$

$$\mathbf{A'_c} = 262500mm^2 \Rightarrow N_u = 0.8\Omega(0.85\ f'c\ A'c + fyA's) = 3823\ KN$$
$$= 0.8 * 0.65(0.85 * 18 * 262500 + 240 * A's) \Rightarrow$$

$$A's = 13898.6mm^2$$

التحقق من التحنيب :

$$\mathbf{L_0} = L = 5500mm$$

$$I = 6.242187500mm^4$$

$$\mathbf{i_0} = \sqrt{I/A'_c} = 154.2mm$$

$$\lambda = \frac{\mathbf{L_0}}{\mathbf{i_0}} = 35.66 < 40\ ok$$

$$A's = 16\Phi 34 = 14526\ mm^2$$

اختيار قطر التسليح العرضي :

$$\Phi \geq 6\ mm$$

$$\geq \frac{d}{3} = \frac{34}{3} = 11.3\ mm$$

$$\leq 12\ mm$$

وايضا :

$$\leq b = 650\ mm$$

$$\leq 15d = 15 * 34 = 510\ mm$$

$$\leq 300\ mm$$

$$> 100\ mm$$

نختار :

$\Phi = 12\ mm$ كل : $S = 200\ mm$ كما يبين توضع التسليح على المقطع العرضي التالي :

يرسم التسليح الطولي والعرضي على المقطع العرضي .

مثال 5:

عمود قصير مقطعه دائري بقطر 550 ملم ،يتعرض الى حمولات مركزية دائمة مقدارها 2250kN وحمولات مؤقته مقدارها 600 kN .

– المقاومة المميزة لفولاذ التسليح الطولي (f_y = 400 Mpa)

– المقاومة المميزة لفولاذ التسليح العرضي (f_{yp}=400 Mpa)

– المقاومة المميزة للبيتون (f'_c= 20 Mpa)

المطلوب تصميم العمود .

الحل :

$$N_u = 1.4G + 1.7\,P = 1.4 * 2250 + 1.7 * 600 = 4170\ KN$$

$$N_u = 0.8\Omega(0.85\,f'c\,A'c + fyA's) = 4170\ KN$$
$$= 0.8 * 0.65(0.85 * 20 * \pi\,550^2/4 + 400.A's)$$

$$\mathbf{A'_s} = 16593mm^2$$

$$\mu'_s = \frac{\mathbf{A'_s}}{\mathbf{A'_c}} = \frac{16593}{237575.93} = 0.0609 > \mu'_{s\,max} = 0.025$$

المقطع يحتاج تسليح حلزوني :

$$d = 550\ mm \qquad d_k = 500\ mm$$
$$\mathbf{A'_k} = \pi\frac{500^2}{4} = 196349.54mm^2$$

نفرض نسبة تسليح

$$\mu'_k = \mathbf{0.025}$$
$$\mathbf{A'_s} = 0.025 * 16593 = 4908.59mm^2$$

$$N_u = 0.85\Omega\mathbf{A'_k}\left(0.85\,f'c + fy\mu'_k + 2.5f_{yp}\mu'_{sp}\right)$$

$$4170000 = 0.85 * 0.65$$
$$* 196349.54\left(0.85 * 20 + 400 * 0.025 + 2.5 * 400\mu'_{sp}\right)$$

$$\mu'_{sp} = 0.0114$$

المقطع المكافئ للتسليح الحلزوني:

$$\mathbf{A'_{sp}} = \mathbf{A'_k} * \mu'_{\mathbf{sp}} = 196349.54 * 0.0114 = 2246.07 mm^2$$

نختار خطوة الحلزون:

$$S = 50\ mm$$

$$\frac{d_k}{5} = \frac{500}{5} = 100\ mm$$

$$< 80\text{mm}$$

$$> 40\text{mm}$$

وتكون مساحة مقطع قضيب الحلزون

$$\boldsymbol{a'_{sp}} = \frac{\mathbf{S} * \mathbf{A'_{sp}}}{\pi * \mathbf{d_k}} = \frac{50 * 2246.07}{\pi * 500} = 71.5 mm^2 \Rightarrow \Phi = 10\ mm$$

التحقق من الامان ضد انهيار الغطاء الخرساني :

$$1.5(0.85\ f'c\ A'c + fyA's) \geq 0.85\ f'c\ \mathbf{A'_k} + fy\mathbf{A'_s} + 2.5\mathbf{f_{yp}A'_{sp}}$$

$$1.5(0.85 * 20 * \ 237575.9 + 400 * 4908.59) \geq 0.85 * 20 * \ 196349.54 + 400 * 4908.59 + 2.5 * 400 * 2246.07$$

$$\Rightarrow 9003339.45 \geq 7547448.18\ ok$$

التحقق من نسب التسليح الحلزوني :

تحقيق نسبة التسليح العظمى :

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

$$\mu'_{\mathbf{sp\ max}} = 0.34\left[\left(1.412 * \frac{237575.93}{196349.54} - 1\right) * \frac{20}{400} + 0.484 * \frac{4908.59}{196349.54} * \frac{400}{400}\right] = 0.01615 \geq \mu'_{\mathbf{sp}} = 0.0114 \quad \text{ok}$$

تحقيق نسبة التسليح الدنيا:

$$\mu'_{\mathbf{sp\ min}} = 0.45\left(\frac{\mathbf{A'_c}}{\mathbf{A'_k}} - 1\right) * \frac{\mathbf{f'_c}}{\mathbf{f_{yp}}} = 0.45\left(\frac{237575.93}{196349.54} - 1\right) * \frac{20}{400}$$
$$= 0.0047 < 0.0114 \ \ ok$$

نختار تسليح طولي :

$$\mathbf{A'_s} = 12\Phi 24 = 5427.6\ mm^2$$

نختار قطر قضيب الحلزون والخطوة :

$\Phi = 10\ mm$ قطر $S = 50\ mm$ بخطوة

توزيع التسليح على المقطع العرضي كما في الشكل :