دراسة الأعمدة الطويلة (الجزء الثاني)

Study of Long Columns (Prat 2)

١- تصميم الأعمدة وفق الكود الأمريكي ACI 318M-19 [1] [2]:

قبل البدء بتصميم الأعمدة يجب أن نميز هل المنشأة مقيدة أم غير مقيدة، وهنا نميز حالتين:

١- إذا كان العزم النهائي المطبق على العمود بعد تأثير $P-\Delta$ إلى قيمة العزم الأصلي الناتج عن التحليل الخطي للمنشأ (Linear Analysis) لا يتجاوز 5% وبالتالي يعتبر **العمود مقيد**. حيث أننا أخذنا تأثير $P-\Delta$ بعين الاعتبار، لأنها تعطينا عزم إضافي نتيجة تطبيق القوى على بعد Δ من محور العمود كما هو مبين في الشكل (1). فإذا كانت الإزاحة Δ صغيرة وبالتالي لا تؤثر على العزوم ويمكن إهمالها وبالتالي يكون العمود مقيد nonsway (braced). بينما إذا كانت قيمتها كبيرة يصبح العمود غير مقيد sway أي (Unbraced).

يجب التمييز بين التحليل من الدرجة الأولى (Linear Analysis) أو يمكن تسميته (First order Analysis)، والتحليل من الدرجة الثانية (Second order Analysis).

حيث أن:

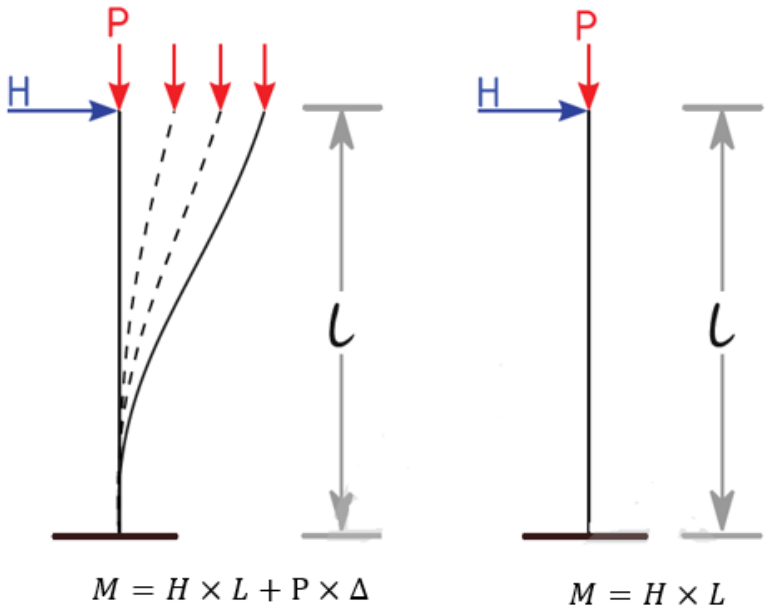
- التحليل من الدرجة الأولى: يتم اعتبار صلابة المنشأ ثابتة أي لا يأخذ تأثير الـ (deformation) التي تحدث للمنشأ بعين الاعتبار ويتم تحديد قيمة العزم المؤثر على العمود بالعلاقة

$$M = H \times L \qquad (1)$$

- التحليل من الدرجة الثانية: يتم التحليل مع أخذ تأثير صلابة المنشأ الفعالة الناتجة عن الإزاحة والتي تتغير خلال مرحلة التحليل مما يؤثر على قيمة الإجهادات المؤثرة على العنصر، وفي هذه الحالة تكون قيمة العزوم النهائية

$$M = H \times L + P \times \Delta \qquad (2)$$

ويعتبر هذا التحليل أدق حيث يتم إجراء التحليل عدة مرات تبعاً لاختلاف قيمة Δ، ويطلق عليه تحليل $(P-\Delta)$.

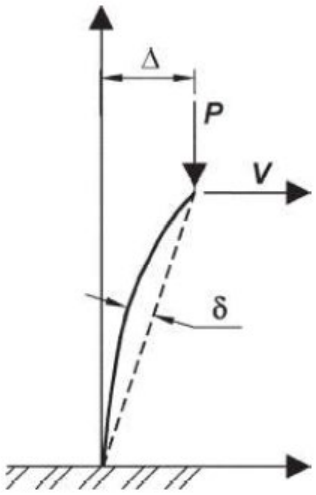


الشكل (1): التحليل من الدرجة الأولى والثانية

وبالتالي العزوم الناتجة عن التحليل من الدرجة الثانية نوعين كما هو مبين بالشكل (2):

١- عزوم $(P \times \delta)$: تنتج هذه العزوم نتيجة الانبعاج العرضي للعمود عن المحور الأصلي.

٢- عزوم $(P \times \Delta)$: تنتج هذه العزوم نتيجة الإزاحة الجانبية Δ لنقطة الاتصال العلوية بين الجائز والعمود عن موضعها الأصلي.



الشكل (2): تأثير $P - \Delta$

٢- إذا كان معامل الثباتية (Stability Index) أو معامل الاستقرار $Q > 5\% \Leftarrow$ العمود غير مقيد أي أنه sway. وتعتبر الحالة 2 هي **حالة عامة** يمكن تطبيقها وتعميمها على كل الأعمدة، وسيتم شرحها بالتفصيل في هذه المقالة.

❖ أشار الكود الأمريكي ACI 318-19 في الفقرة 6-2-5-1، أنه إذا كانت العناصر المقاومة للأحمال الجانبي ذات صلابة عالية وأكبر بـ 12 ضعف من صلابة الأعمدة في الاتجاه المدروس، فإنه يسمح بدراسة الأعمدة في الطابق على أنها مقيدة ضد الإزاحة الجانبية.

٢- الخطوات المتبعة لتحديد ما إذا كان المنشأ مقيد أم غير مقيد بالحالة العامة [3]:

١- تعيين قيمة الوزن الكلي للمنشأ $(\sum \mathrm{p_u})$.

٢- تعيين ارتفاع الطابق الصافي (l_u).

٣- التحقق فيما إذا كان المنشأ مقيد بالاتجاه X بتحديد معامل الثباتية Q

$$\mathrm{Q} = \frac{\sum \mathrm{p_u} \times \Delta_\mathrm{O}}{\mathrm{V_{us}} \times l_c} < 5\%$$

$\sum p_u$: مجموع الحمولات المحورية المطبقة على العمود في الطابق المدروس.

Δ_O: الإزاحة الجانبية الطابقية (Lateral story drift) وهي نسبة الفرق بين إزاحة الطابق العلوي إلى الطابق السفلي، نتيجة تطبيق الأحمال الجانبية.

V_{us} : مجموع قوى القص المؤثرة في مستوى الطابق.

l_c: ارتفاع العمود مقاساً من المركز إلى المركز.

☒ عند تحديد قيمة Q يجب أخذ تأثير التشققات لقطاعات العناصر، أما مساحة قطاعات العناصر فتكون مساوية لمساحة القطاع الكلي بإهمال مساحة التسليح أي نعتمد $\mathrm{A_g}$.

٤- التحقق فيما إذا كان المنشأ مقيد بالاتجاه Y ، نكرر الخطوات السابقة رقم (3).

٣- خطوات تحليل وتصميم الأعمدة النحيفة المقيدة وغير المقيدة [4] :

لنتذكر أن Buckling هو انحناء يحدث في العمود نتيجة نحافته وبالتالي يحدث إزاحة مقدارها Δ هذه الإزاحة تؤدي إلى عزم إضافي $\mathrm{M_2}$ ناتج عن تأثير الـ Buckling، ويكون هذا العزم أعظمي في

منتصف طول العمود. وبالتالي يجب علينا تصعيد العزم الأصلي نتيجة العزوم المضافة على قيمة العزم الأولي باستخدام معامل تصعيد العزوم δ_{ns} تبعاً للأعمدة هل هي مقيدة أم غير مقيدة.

١-٣ خطوات تحليل وتصميم الأعمدة النحيفة المقيدة

أولاً- التحقق من حالة العمود نحيف أم لا

أ- التحقق بالاتجاه X:

١) تعيين قيمة الأحمال والعزوم القصوى المؤثرة

$$P_u = 1.2P_{DL} + 1.6P_{LL}$$
$$M_1 = 1.2M_{DL} + 1.6M_{LL}$$
$$M_2 = 1.2M_{DL} + 1.6M_{LL}$$

٢) تعيين قيمة معامل درجة التقييد Ψ

$$\Psi = \frac{(\sum EI/L_c)_{column}}{(\sum EI/L_b)_{beam}}$$

حيث أن:

عزم العطالة للأعمدة $I_c = 0.7I_g$

عزم العطالة للجوائز $I_b = 0.35I_g$

I_c : عزم عطالة المقطع الفعال (نأخذ أثر التشقق بعين الاعتبار).

I_g: عزم العطالة دون أخذ أثر التشقق.

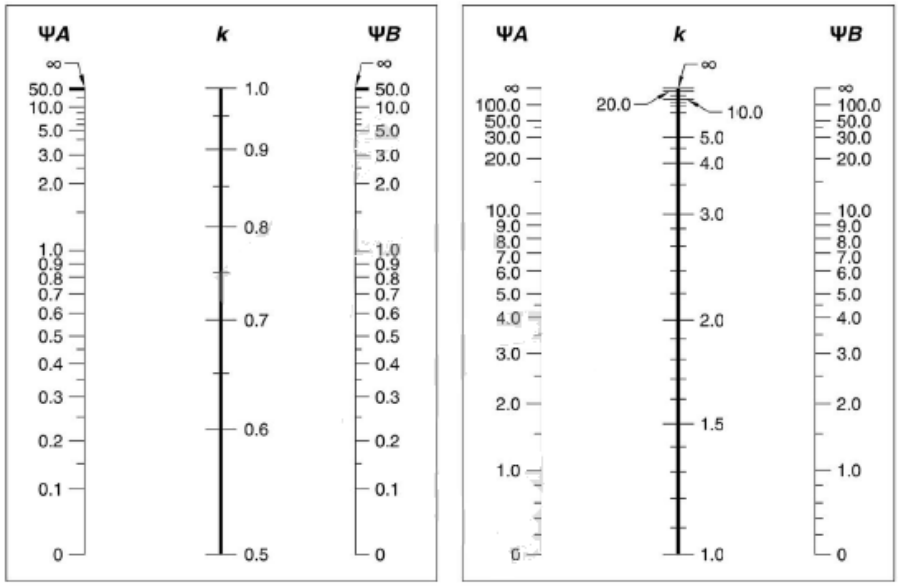
من الشكل (3) وبدلالة Ψ_A ، Ψ_B يمكن تعيين قيمة K كما يلي :

- نحدد قيمة الارتفاع الحر للعمود l_u
- نحدد نصف قطر العطالة لمقطع العمود المستطيل $i = 0.3\ h$، والدائرة $i = 0.25\ D$
- تعيين قيمة الارتفاع الفعال k
- التحقق من العمود هل هو قصير أم طويل وفق العلاقة:

$$\frac{k.l_u}{i} \leq 34 + 12 \times \left(\frac{M_{1\,(min)}}{M_{2\,(max)}}\right) \leq 40$$

❖ $\frac{M_{1\,(min)}}{M_{1\,(max)}}$: هذه النسبة دائماً أصغر من 1 وتكون سالبة عندما يكون العمود منحنياً باتجاه واحد، وموجبة إذا كان العمود منحنياً باتجاهين.

❖ التحقق بالاتجاه y: يتم تكرار الخطوات السابقة.



الشكل (3): معامل الطول الفعال k للهياكل المسندة جانبياً وغير المسندة

ثانياً– التحقق من أن العزوم المؤثرة على المقطع في الاتجاهين أكبر من قيمة العزوم الدنيا

- نعين قيمة اللامركزية الأصغرية التي يمكن أن يتحملها المقطع

$$e_{min} = 15 + 0.03\ h$$

- تعيين قيمة العزوم الدنيا المؤثرة

$$M_{2min} = P_u . e_{min}$$

ثالثاً– تعيين قيمة معاملات تصعيد العزوم التصميمية للأعمدة المقيدة جانبياً δ_{ns} (في الاتجاه X)

١– تعيين قيمة المعامل C_m ويدعى معامل التصحيح قيمته أصغر من الواحد، يتم تطبيقه لتصحيح شكل مخطط العزم أي أن الغاية منه تصحيح فرضيات الانحناء إذ أنه من المفروض أن يكون العزم الأعظمي في المنتصف، ولكن هناك حالات من الممكن أن

يكون العزم أعظمي في الأسفل وبالتالي هنا نحتاج لتصحيح شكل مخطط العزم (لنتذكر دائماً أن تأثير الانحناء ال buckling ينتج عنه عزم أعظمي في منتصف العمود).

$$C_m = 0.6 - 0.4\left(\frac{M_1}{M_2}\right)$$

$$0.4 \le C_m \le 1$$

M_1: العزوم الطرفية ذات القيمة الأقل.

M_2: العزوم الطرفية ذات القيمة الأكبر.

نلاحظ أنه إذا كانت $M_1 = M_2 \Longrightarrow C_m = 1$

وكأنه لا يوجد لدينا عزوم إضافية أي أنه لا داعي للتصحيح ومخطط العزم أعظمي في المنتصف. كذلك في حال كانت هناك قوة جانبية في المنتصف نعتمد مباشرةً $C_m = 1$ لأن العزم سيكون أعظمي في المنتصف.

٢- تعيين قيمة معامل التصعيد δ_{ns}

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75P_c}}$$

P_u: حمولة مصعدة من تراكيب الأحمال التصميمية.

P_c: الحمولة الحرجة للانبعاج وهي أصغر حمولة ممكن أن يتعرض لها العمود دون أن يحدث له تحنيب. ويتم تحديدها كالتالي:

٣- تعيين قيمة الحمل الحرج للانبعاج P_c

$$p_c = \frac{\pi^2 \times EI_{eff}}{(k \times l_u)^2}$$

EI_{eff}: الصلابة المكافئة (الفعالة)، ويتم تحديدها كالتالي:

$$EI = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_{dns}} \qquad (1)$$

$$EI = \frac{0.2 \times E_c \times I_g + E_s \times I_{sc}}{1 + \beta_{dns}} \qquad (2)$$

$$EI = \frac{E_c \times I}{1 + \beta_{dns}} \qquad (3)$$

I_g: عزم عطالة المقطع غير المتشقق للخرسانة، ولأخذ أثر التشققات نأخذ 40% من المقطع كما في الحالة (1)، أو 20% كالحالة (2).

I_{sc} : عزم عطالة فولاذ التسليح.

I: عزم العطالة للخرسانة المتشققة.

الحالة (1) لا تأخذ وجود التسليح بعين الاعتبار، بينما الحال (2) تأخذ تأثير التسليح. أما الحالة (3) فتأخذ عزم العطالة بعد أخذ تأثير التشقق.

❖ **إن برنامج Etabs يعتمد الطريقة (1) في حساب الصلابة المكافئة ويهمل باقي الطرق.**

٤- نعيين قيمة β_{dns} وهي النسبة بين الحمل المؤثر بشكل مستمر (حمولة رأسية دائمة) إلى الحمل التصميمي P_u المؤثر لأخذ تأثير الزحف بعين الاعتبار.

$$\beta_{dns} = \frac{P_{u.sustained}}{P_u}$$

أي أن β_{dns} معامل لتأثير الأحمال الدائمة على التحنيب.

٥- تعيين قيمة العزوم المصعدة M_c

$$M_c = \delta_{ns}.M_2$$

❖ يجب ألا تزيد قيمة العزوم المصغدة على 1.4 من قيمة العزوم المحسوبة وفقاً للتحليل من الدرجة الأولى.

❖ يتم تكرار الخطوات السابقة بالاتجاه Y

رابعاً- تصميم مقطع العمود على الأحمال والعزوم المؤثرة

خامساً- التأكد من نسب التسليح.

١- التأكد من أن مساحة التسليح الكلية المختارة أكبر من مساحة التسليح الأصغرية.

$$\rho_g = \frac{A_{s.total}}{b.h} \geq 0.01$$

٢- التأكد من أن مساحة التسليح الكلية المختارة أصغر من مساحة التسليح الأعظمية.

$$\rho_g = \frac{A_{s.total}}{b.h} \leq 0.08$$

٣- تعيين قطر الأساور المستخدمة وتحديد المسافة بين الأساور في الاتجاه الطولي وفق اشتراطات الكود المستخدم في التصميم.

٤- رسم تفاصيل التسليح للقطاع.

٤- خطوات تحليل وتصميم الأعمدة النحيفة الغير مقيدة [2]

أولاً- التحقق فيما إذا كان العمود نحيف (سيتم دراسة النحافة وفق المحور x وفق الخطوات التالية):

- تعيين قيمة معامل التقييد Ψ

$$\Psi = \frac{(\sum \mathrm{EI}/\mathrm{L_c})_{\mathrm{column}}}{(\sum \mathrm{EI}/\mathrm{L_b})_{\mathrm{beam}}}$$

حيث يتم تحديد:

عزم العطالة للأعمدة $I_c = 0.7I_g$

عزم العطالة للجوائز المستطيلة $I_b = 0.35I_g$

من الشكل (3) وبدلالة Ψ_A ، Ψ_B يمكن تعيين قيمة K كما يلي

- نحدد قيمة الارتفاع الحر للعمود l
- نحدد نصف قطر العطالة لمقطع العمود المستطيل $i = 0.3\,h$
- تعيين قيمة الارتفاع الفعال k

$$\frac{k.l_u}{i} > 22$$

❖ لدراسة نحافة العمود في الاتجاه y يتم دراسة هل العمود نحيف أم لا وفقاً لحالة المنشأ فيما إذا كان مقيد أم لا.

ثانياً– تعيين قيمة معاملات التصعيد وقيمة العزوم المصعدة للأعمدة غير المقيدة جانبياً

- تعيين معاملات تصعيد العزوم في الاتجاه x:

لتعيين قيمة العزوم المصعدة (M_2):

$$M_2 = M_{2,ns} + \delta_s M_{2.s}$$

$M_{2,ns}$: العزم المصعد الأكبر لنهاية العمود الذي تؤثر عنده العزوم (M_2) والناتج عن تأثير أحمال الجاذبية التي تسبب إزاحة جانبية قليلة (محسوب باستخدام التحليل المرن من الدرجة الأولى).

$M_{2.s}$: العزم المصعد الأكبر لنهاية العمود الذي تؤثر عنده العزوم (M_2) والناتج عن تأثير الأحمال الجانبية التي تسبب إزاحة جانبية كبيرة (محسوب باستخدام التحليل المرن من الدرجة الأولى).

δ_s: معامل تصعيد العزوم للمنشآت غير المقيدة ويأخذ بعين الاعتبار الانبعاج الجانبي الناتج عن الأحمال الجانبية أو الرأسية المؤثرة.

١– تعيين قيمة معامل تصعيد العزوم δ_s:

يتم ذلك وفق احدى الطريقتين:

١) يتم تعيين قيمة معامل تصعيد العزوم δ_s باستخدام قيمة معامل الاستقرار

$$\delta_s = \frac{1}{1-Q} \geq 1$$

٢) تعيين قيمة معامل تصعيد العزوم δ_s باستخدام قيمة القوى المؤثرة

١– تعيين قيمة معامل التقييد Ψ :

نظراً لأن قيمة P_c تعتمد على مجموع كافة الأحمال المؤثرة لكل الأعمدة فإنه يلزم تعيين قيمة المعامل k لكل الأعمدة وبالتالي يجب أولا تعيين معامل درجة التقييد Ψ .

٢– تعيين قيمة الحمل الحرج للانبعاج P_c.

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k.l_u)^2}$$

٣- تعيين قيمة معامل تصعيد العزوم δ_s

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0.75 \times \sum P_c}} \geq 1$$

٢- تعيين قيمة العزوم المصعدة M_2

$$M_2 = M_{2,ns} + \delta_s M_{2.s}$$

❖ لتعيين قيمة معاملات تصعيد العزوم في الاتجاه Y يتم تكرار الخطوات السابقة.

ثالثاً- تصميم قطاع العمود على الأحمال والعزوم المؤثرة.

رابعاً- التأكد من نسب التسليح.

أ- التأكد من أن مساحة التسليح الكلية المختارة أكبر من مساحة التسليح الأصغرية.

$$\rho_g = \frac{A_{s.total}}{b.h} \geq 0.01$$

ب-التأكد من أن مساحة التسليح الكلية المختارة أصغر من مساحة التسليح الأعظمية.

$$\rho_g = \frac{A_{s.total}}{b.h} \leq 0.08$$

ت- تعيين قطر الأساور المستخدمة وتحديد المسافة بين الأساور في الاتجاه الطولي وفق اشتراطات الكود المستخدم في التصميم.

٥- المراجع العلمية:

1- ACI SP-17M (14), " The Reinforced Concrete Design Handbook A Companion to ACI 318M-14.

2- ACI 318-19, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-19) and Commentary (ACI318R-19)", American Concrete Institute , 2019.

3- ACI 318-14, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-14) and Commentary (ACI318R-14)", Farmington Hills: American Concrete Institute , 2014.

4- ACI 318-08,"Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary," ACI, Michigan, 2008.