

تصميم الأبنية البيتونية المسلحة
وفقاً للطرق المطورة
المعتمدة في الكود العربي السوري

الأمدة النحيفة

الملحق "و": طريقة مطورة لدراسة
العناصر المضغوطة مع أخذ تأثير النحافة

أصبح الآن بالإمكان تصميم مقاطع أعمدة أصغر من ذي قبل بسبب استخدام **أنواع تسليح وبيتون بمقاومات تصميمية عالية**, وكذلك نتيجة اعتماد **طرق تصميم وتحليل أكثر دقة**. بالتالي أصبحت الحاجة أكثر إلحاحاً لاعتماد إجراءات تصميم ذات وثوقيه عالية للأعمدة النحيفة, مما جعل تصميم الأعمدة من أجل تأثيرات النفاقة من المواضيع الهامة جداً.

نستخدم مصطلح "**العمود القصير**" لتوصيف العمود الذي تم تصميمه وفقاً **لقدرته تحمله المحسوبة بناءً على مواصفات مقطعه العرضي (بيتون + فولاذ)** و باستخدام القوى والعزوم التي تم الحصول عليها من التحليل الإنشائي للقوى المحورية وعزوم الانعطاف.

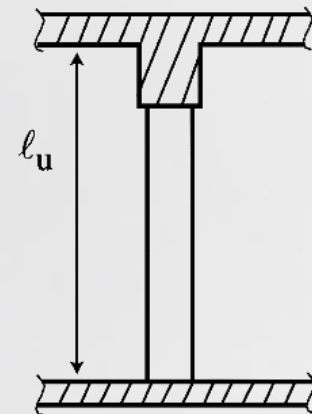
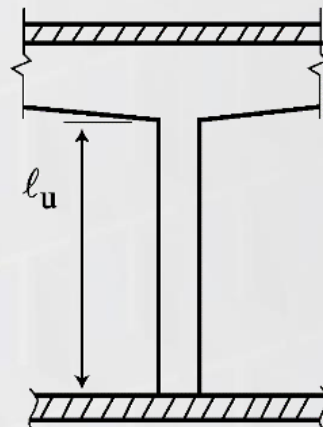
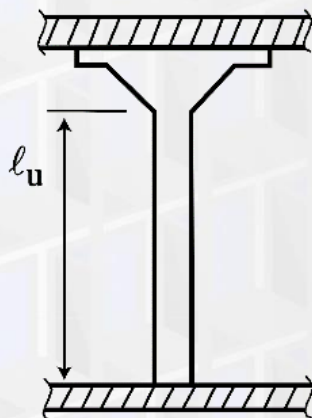
يمكن بشكل عام اعتبار أن **العمود نحيف** إذا كانت **أبعاد مقطعه العرضي صغيرة بالمقارنة مع طوله**. يعرّف العمود النحيف **كعمود قدرة تحمله مخفضة بسبب التشوهات اللاخطية (من الدرجة الثانية) التي ستسبب عزوم ثانوية**.

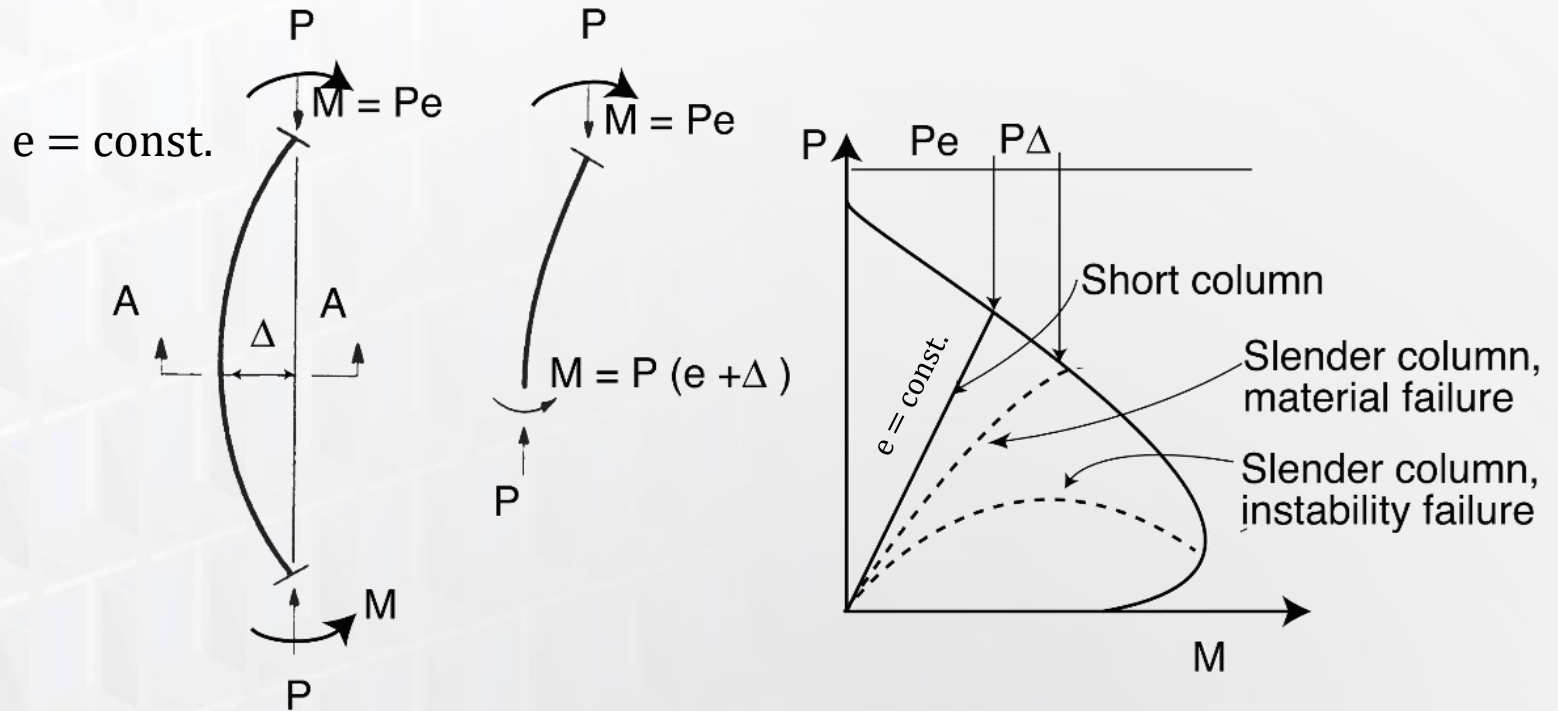
يتم التعبير عن نحافة الأعمدة عن طريق **نسبة النحافة (Slenderness Ratio)**: $\frac{k l_u}{r}$

k : عامل الطول الفعال, الذي يعتمد على القيود الجانبية والدورانية عند أطراف العمود.
 l_u : طول العمود غير المسنود.

r : نصف قطر عطالة المقطع العرضي للعمود.

Direction
of Analysis →





يمكن أن يحصل انهيار **العمود القصير** عند أي نقطة على طول مخطط الترابط الممثل لقدرة تحمل المقطع العرضي للعمود، وهذا بدوره يعتمد على قيم تركيب القوى الداخلية المطبقة من حمل محوري وعزم انعطاف. نتيجة تحميل **العمود النحيف**، سيحدث بعض الانزياح الجانبي وسينتج انهيار مادة عندما يتجاوز تركيب القوى الداخلية من حمل محوري P وعزم $M = P(e + \Delta)$ مخطط الترابط الممثل لقدرة تحمل المقطع العرضي للعمود. إذا كان **العمود نحيفاً جداً** فيمكن أن يصل السهم الناجم عن الحمل المحوري P والعزم $M = P e$ لمرحلة بحيث تزداد التشوهات بشكل كبير جداً مع زيادة طفيفة في الحمل P . يدعى هذا النوع من الانهيار **بانهيار عدم الاستقرار**.

1. مقدمة

تم تطوير المفهوم الأساسي لسلوك الأعمدة النحيفة المستقيمة المحملة مركزياً من قبل **أويلر** منذ حوالي 200 عام مضت. تنص النظرية على أن العنصر المضغوط سيحنب (**Buckling**) عند **حمل محوري حرج** مقداره P_c .

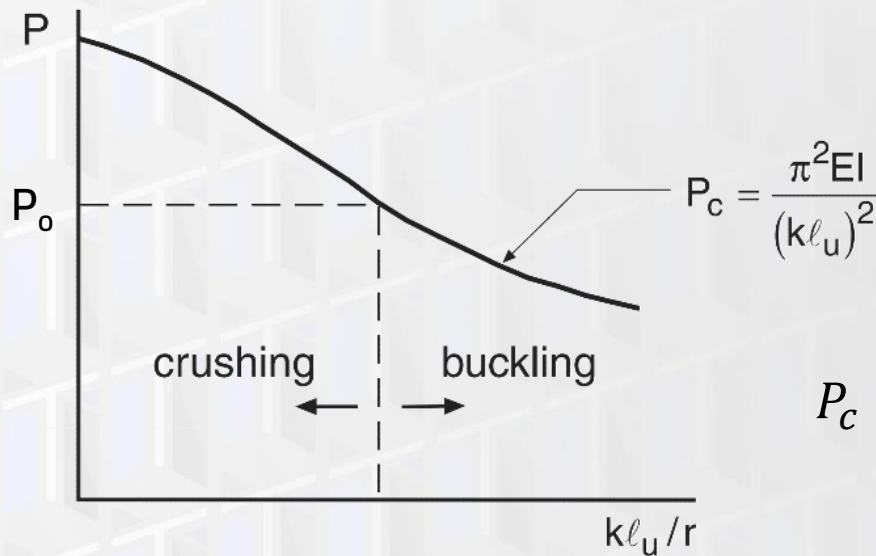
$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{l_e^2}$$

EI : قساوة الانعطاف للمقطع العرضي للعنصر.

l_e : الطول الفعال ويساوي kl_u .

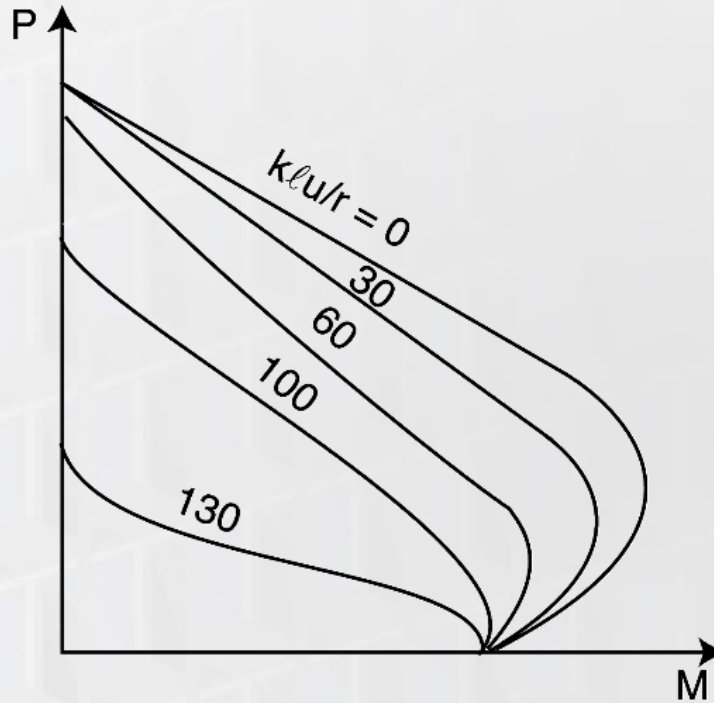
P_o : قوة الضغط الاسمية الأعظمية النظرية التي يستطيع العمود تحملها (بفرض $\phi_c = 1$)

$$P_o = [0.85f'_c(A_g - A_s) + f_y A_s]$$



$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{l_e^2} = \frac{\pi^2 EA r^2}{(kl_u)^2} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{kl_u}{r}\right)^2}$$

من الممكن تصور تأثيرات النخافة والعزوم المكبرة على مخططات الترابط النوعية الممثلة لقدرة تحمل المقطع العرضي للعمود. وبالتالي **يمكن تطوير مجموعة من مخططات الترابط للأعمدة النخيفة مع تغيير نسبة النخافة**. يتوافق مخطط الترابط من أجل نسبة نخافة $kl_u/r=0$ مع تركيب الحمل المحوري والعزم حيث مقاومة العمود لا تتأثر بنخافة العنصر (أي مقاومة العمود القصير).



2. الأعمدة المنزاحة جانبياً والأعمدة غير المنزاحة جانبياً

□ يسمح بافتراض أن **العمود في منشأة ما من النوع الغير منزاح جانبياً** إذا كانت الزيادة في العزوم الطرفية للعمود وفقاً لتحليل من الدرجة الثانية لا تزيد على 5% من العزوم الطرفية وفقاً لتحليل من الدرجة الأولى.

□ هنالك طريقة بديلة لتقدير فيما لو كان **الطابق ضمن المنشأة منزاح أو غير منزاح جانبياً**. تسمح هذه الطريقة بافتراض أن الطابق ضمن المنشأة من النوع الغير منزاح جانبياً إذا تحققت العلاقة التالية:

$$Q = \frac{(\sum P_u) \Delta_0}{V_{us} l_c} \leq 0.05$$

Q : مؤشر الاستقرار للطابق.

$\sum P_u$: الحمل الشاقولي الكلي المصعد للطابق قيد الدراسة.

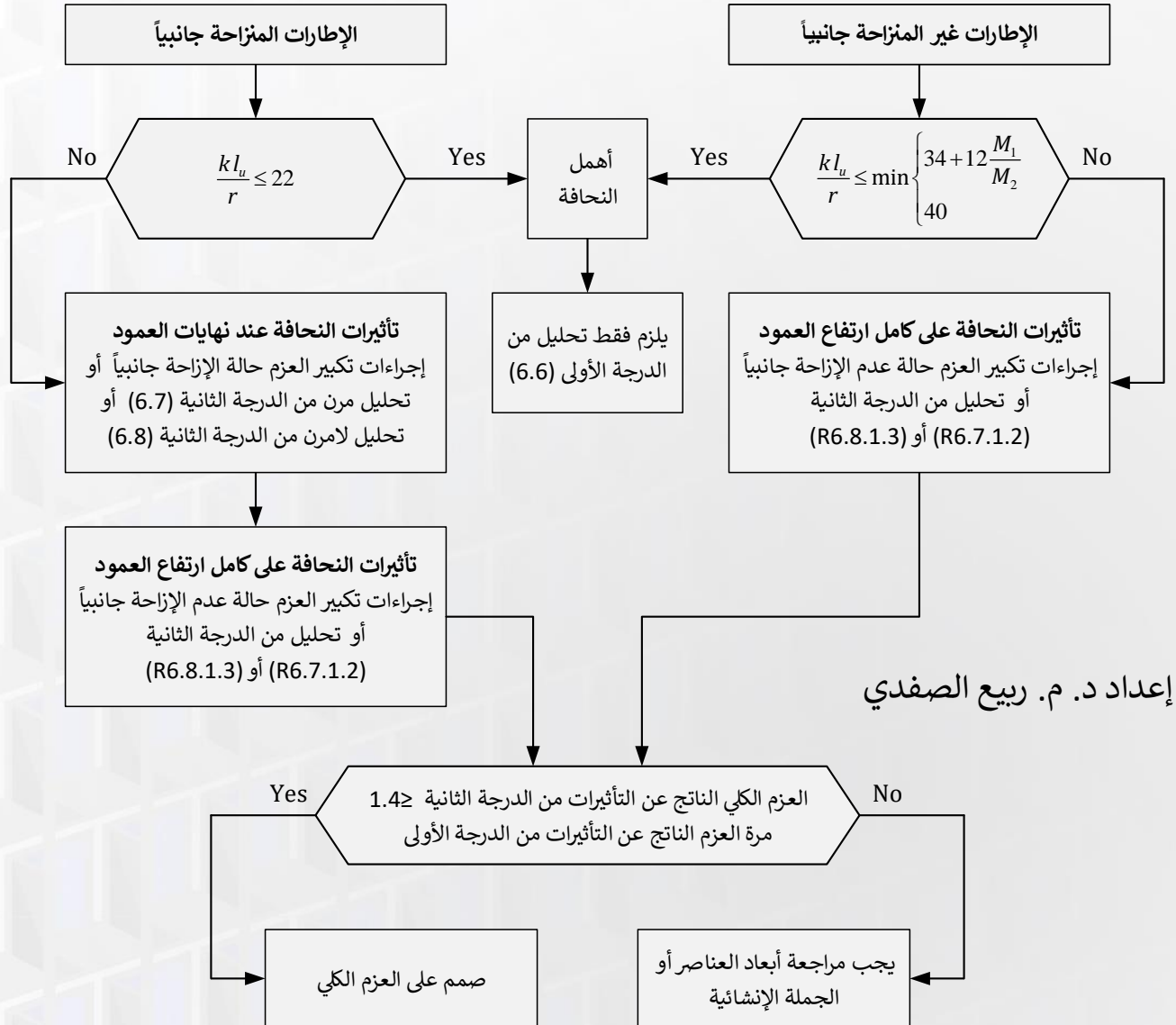
V_{us} : القص الأفقي الكلي المصعد للطابق قيد الدراسة.

ينتج كلاً من $\sum P_u$ و V_{us} من **نفس تركيب الحمل** وتستخدم هذه الطريقة من أجل الطوابق التي يكون فيها $V_{us} > 0$.

Δ_0 : الانزياح الطائفي، أي الإزاحة الجانبية النسبية من **الدرجة الأولى** بين أعلى و أسفل الطابق من تأثير V_{us} .

l_c : طول العنصر المضغوط في الإطار، مقاساً من مراكز عقد الإطار.

3. أخذ تأثيرات النخافة بعين الاعتبار



4. تأثيرات النفاة في العناصر المضغوطة

4. 1. Consideration of Slenderness Effects

4. 1. أخذ تأثيرات النفاة بعين الاعتبار

الحالات التي يمكن فيها إهمال تأثيرات النفاة:

1. العناصر المضغوطة في الإطارات المنزاحة جانبياً (الأعمدة غير المسنودة جانبياً ضد الإزاحة):

$$\frac{k l_u}{r} \leq 22$$

kl_u/r : نسبة النفاة للعنصر المضغوط.

r : نصف قطر العطالة للمقطع العرضي.

k : عامل الطول الفعال عند التحنيب من أجل العنصر المضغوط.

l_u : الطول غير المسنود للعنصر المضغوط، ويؤخذ مساوياً إلى المسافة الصافية بين بلاطات السقوف أو بين الجوائز أو العناصر الأخرى القادرة على تقديم سند جانبي في الاتجاه المدروس.

4. تأثيرات النفاة في العناصر المضغوطة

4. 1. Consideration of Slenderness Effects

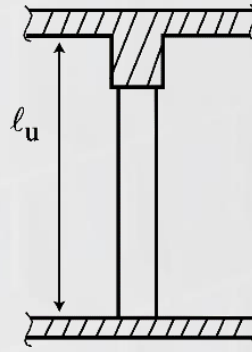
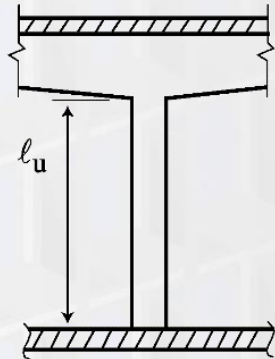
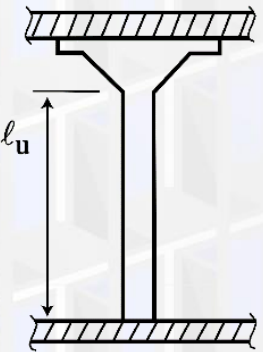
4. 1. أخذ تأثيرات النفاة بعين الاعتبار

الحالات التي يمكن فيها إهمال تأثيرات النفاة:

1. العناصر المضغوطة في الإطارات المنزاحة جانبياً (الأعمدة غير المسنودة جانبياً ضد الإزاحة):

$$\frac{k l_u}{r} \leq 22$$

Direction
of Analysis →



عندما يكون للأعمدة تيجان أو شطافات فيقاس الطول l_u إلى أسفل التاج أو الشطافة في المستوي المدروس.

يجب الانتباه إلى أنه يمكن أن يكون الطول l_u مختلف من أجل التحنيب حول كل محور رئيسي للمقطع العرضي للعمود.

4. تأثيرات النفاة في العناصر المضغوطة

4. 1. Consideration of Slenderness Effects

4. 1. أخذ تأثيرات النفاة بعين الاعتبار

الحالات التي يمكن فيها إهمال تأثيرات النفاة:

2. العناصر المضغوطة في الإطارات غير المنزاحة جانبياً (الأعمدة المسنودة جانبياً ضد الإزاحة):

$$\frac{k l_u}{r} \leq \min \begin{cases} 34 + 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \\ 40 \end{cases}$$

M_1 : عزم النهاية الأصغر.

M_2 : عزم النهاية الأكبر.

تؤخذ النسبة M_1/M_2 موجبة إذا كان العنصر منحنياً باتجاهين وسالبة عندما يكون العمود منحنياً باتجاه واحد. لاحظ أن M_1 و M_2 هما عزوم النهايات المصعدة التي تم الحصول عليها من تحليل مرن من الدرجة الأولى للإطار.

4. تأثيرات النفاة في العناصر المضغوطة

4. 1. Consideration of Slenderness Effects

4. 1. أخذ تأثيرات النفاة بعين الاعتبار

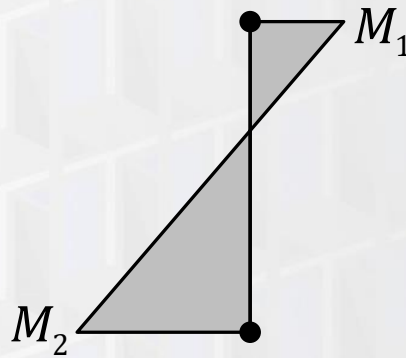
الحالات التي يمكن فيها إهمال تأثيرات النفاة:

2. العناصر المضغوطة في الإطارات غير المنزاحة جانبياً (الأعمدة المسنودة جانبياً ضد الإزاحة):

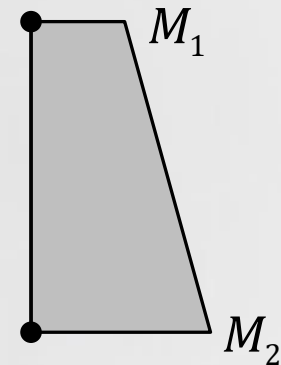
$$\frac{k l_u}{r} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 34 + 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \\ 40 \end{array} \right.$$

$$34 + 12 \frac{M_1}{M_2}$$

$$|M_2| > |M_1|$$



$$\left(\frac{M_1}{M_2} (+) \right)$$



$$\left(\frac{M_1}{M_2} (-) \right)$$

4. تأثيرات النخافة في العناصر المضغوطة

4. 2. الطول غير المسنود والطول الفعال للعنصر المضغوط

4. 2. Unsupported and Effective Lengths of Compression Members

يمكن التعبير عن معادلة أويلر الأساسية لحمل التحنيب الحرج كما يلي:

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

أي بأخذ $l_e = k l_u$.

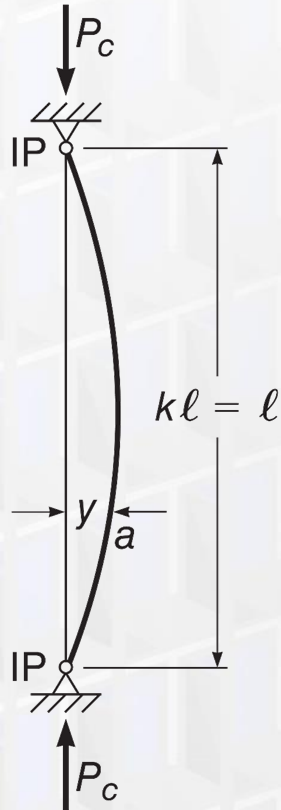
تم اشتقاق هذه المعادلة الأساسية لتصميم الأعمدة النخيفة من أجل عنصر مضغوط بنهايات مفصليّة، وبالتالي تم تعديل هذه المعادلة لتأخذ بعين الاعتبار تأثيرات القيود الطرفية المختلفة للعنصر المضغوط. لهذا الهدف يجب اعتماد **طول العمود الفعال** $l_e = k l_u$ (مع الانتباه إلى أن l_u هو الطول الفعلي غير المسنود) لتقدير قدرة تحمل الأعمدة النخيفة مع الأخذ بعين الاعتبار طبيعة القيود الطرفية بالإضافة إلى شروط الانزياح الجانبي وعدم الانزياح الجانبي.

4. تأثيرات النفاة في العناصر المضغوطة

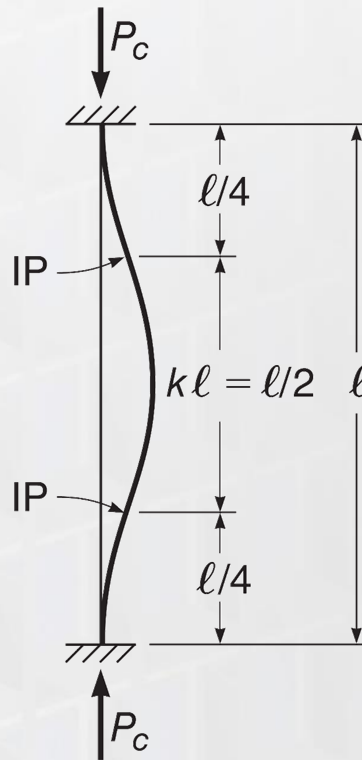
4.2. الطول غير المسنود والطول الفعال للعنصر المضغوط

4. 2. Unsupported and Effective Lengths of Compression Members

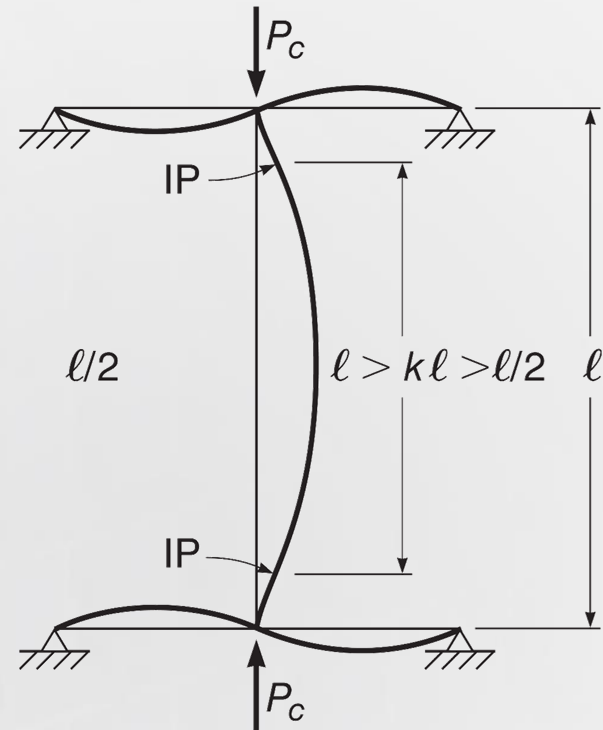
الطول الفعال l_e لحالة عدم الانزياح الجانبي



(a) $k = 1$



(b) $k = 1/2$



(c) $1/2 < k < 1$

4. تأثيرات النخافة في العناصر المضغوطة

4. 2. الطول غير المسنود والطول الفعال للعنصر المضغوط

4. 2. Unsupported and Effective Lengths of Compression Members

الطول الفعال l_e لحالة عدم الانزياح الجانبي

يتم قياس الطول الفعال ($l_e = k l_u$) بين النهايات المفصليّة أو نقاط انعدام العزم أو نقاط الانحناء (Inflection Point).

من أجل شروط النهايات المفصليّة يكون لدينا $l_e = l_u$.

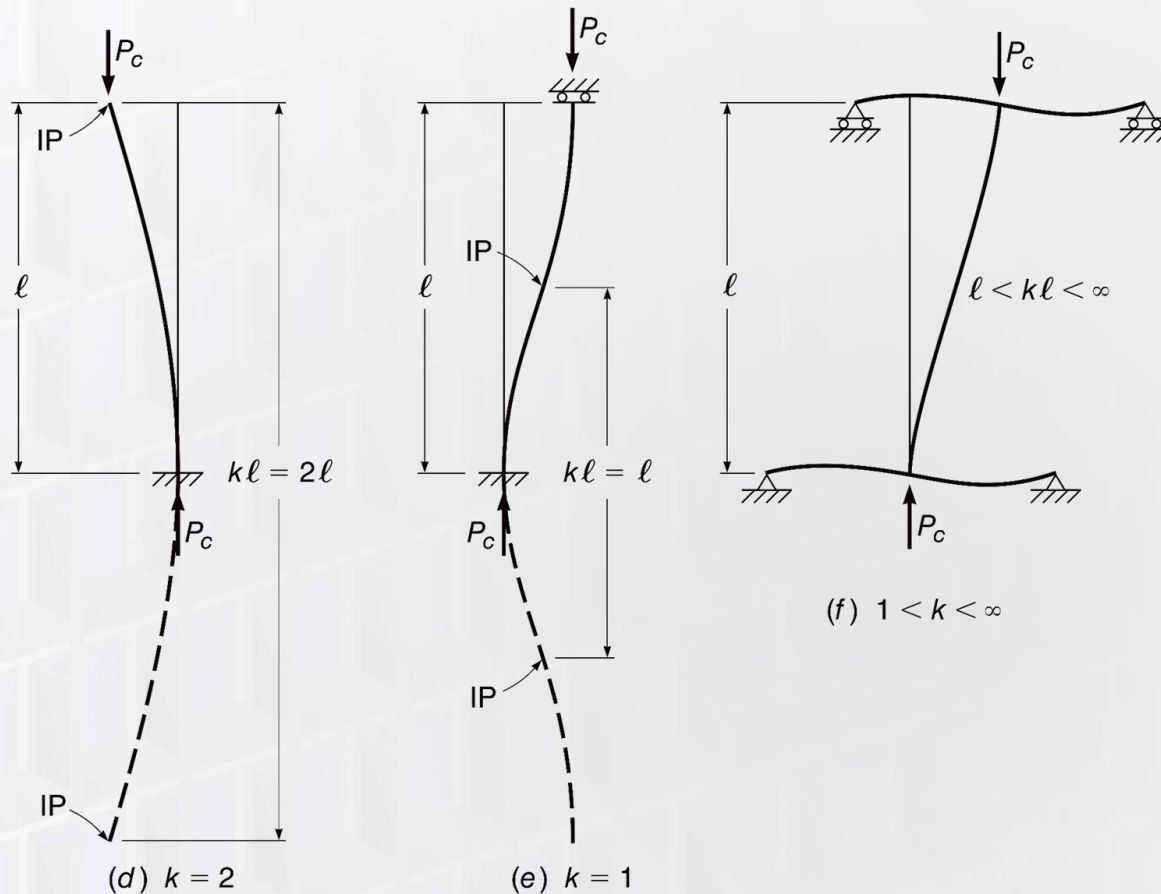
إذا تم منع العنصر من الدوران عند نهايتيه، فسيكون لدينا $l_e = l_u/2$.

4. تأثيرات النفاة في العناصر المضغوطة

4.2. الطول غير المسنود والطول الفعال للعنصر المضغوط

4. 2. Unsupported and Effective Lengths of Compression Members

الطول الفعال l_e لحالة الانزياح الجانبي



4. تأثيرات النخافة في العناصر المضغوطة

4. 2. الطول غير المسنود والطول الفعال للعنصر المضغوط

4. 2. Unsupported and Effective Lengths of Compression Members

الطول الفعال l_e لحالة الانزياح الجانبي

إذا كانت قساوة العناصر المقيدة (الجوائز أو البلاطات) كبيرة جداً بالمقارنة مع قساوة العمود، فإن تحنيب العمود سيقترّب من الوضع المبين في الشكل (e).

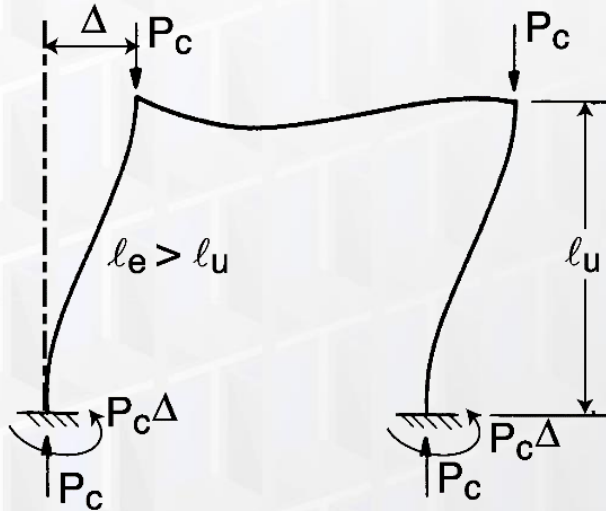
إذا كانت العناصر المقيدة ذات مرونة عالية (أي قساوة منخفضة)، فعندئذٍ سيتم الاقتراب من شروط النهايات المفصلية، وبالتالي يمكن أن يقترّب سلوك المنشأة ككل من حالة عدم الاستقرار. تعتمد بشكل عام قيمة الطول الفعال l_e على درجة التقييد الدورانية عند نهايتي العمود، وفي هذه الحالة يكون لدينا $l_u < l_e < \infty$.

4. تأثيرات النحافة في العناصر المضغوطة

4. 2. الطول غير المسنود والطول الفعال للعنصر المضغوط

4. 2. Unsupported and Effective Lengths of Compression Members

الطول الفعال l_e لحالة الانزياح الجانبي



من النادر أن يهتم المصمم بسلوك العناصر الإفرادية في منشآت البيتون المسلح، بل يصب جل اهتمامه في سلوك الجمل الهيكلية المؤلفة من الأعمدة والجوائز أو الأعمدة والبلاطات. يمكن شرح سلوك التحنيب للإطار غير المقيّد ضد الانزياح الجانبي عن طريق الإطار البسيط المبين أعلاه. الإطار غير مقيّد جانبياً بشكل كامل وله درجة حرية ممثلة بالانزياح الجانبي عند مستوى الجائر. يمكن أن تكون النهاية السفلى للإطار متمفصلة أو مقيّدة بشكل جزئي ضد الدوران.

4. تأثيرات النخافة في العناصر المضغوطة

4. 2. الطول غير المسنود والطول الفعال للعنصر المضغوط

4. 2. Unsupported and Effective Lengths of Compression Members

يمكن تلخيص الملاحظات السابقة كما يلي:

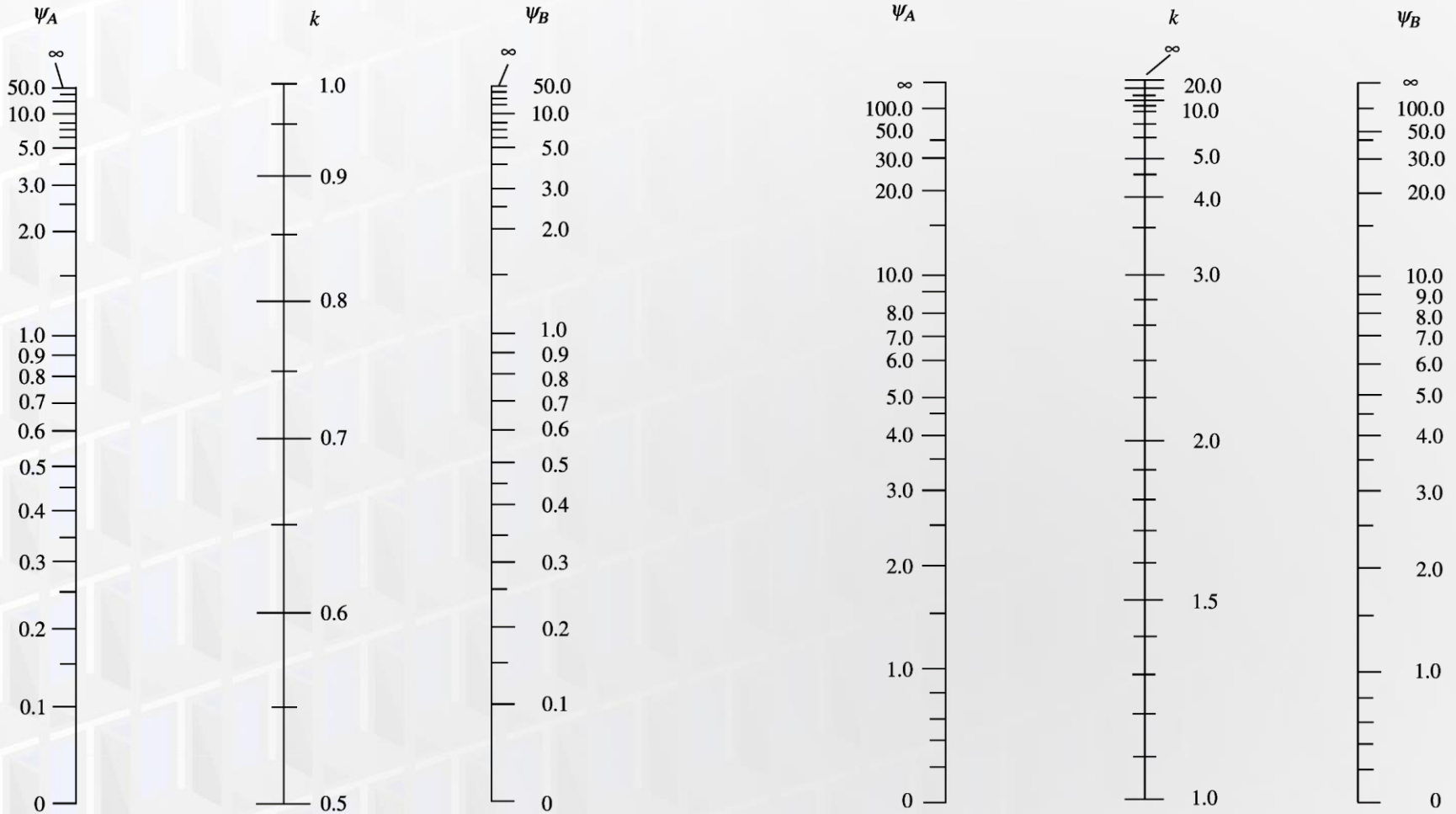
- يؤخذ الطول الفعال l_e للعناصر المضغوطة في الإطارات غير المنزاحة جانبياً كما يلي: $\frac{l_u}{2} \leq l_e \leq l_u$
- الطول الفعال l_e للعناصر المضغوطة في الإطارات المنزاحة جانبياً دائماً أكبر من l_u ويمكن أن يكون $2l_u$ وحتى أكثر.
- يسمح باستخدام **المخططات** الموجودة في الأشكال التالية من أجل تحديد عوامل الطول الفعال للعناصر المضغوطة k في الإطارات غير المنزاحة جانبياً والمنزاحة جانبياً على التوالي. حيث أن Ψ هي النسبة بين مجموع $E_c I_c / L_c$ للأعمدة على مجموع $E_b I_b / L_b$ للجوائز **في المستوي** عند إحدى نهايتي العنصر المضغوط.

$$\Psi = \frac{\sum E_c I_c / L_c}{\sum E_b I_b / L_b}$$

l_b for T beams can be closely approximated as 2 times l_g for the web.

4. تأثيرات النخافة في العناصر المضغوطة

4.2. الطول غير المسنود والطول الفعال للعنصر المضغوط



عوامل الطول الفعال للعناصر المضغوطة في الإطارات غير المنزاحة جانبياً

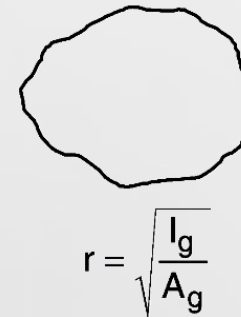
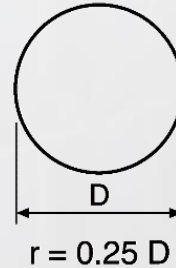
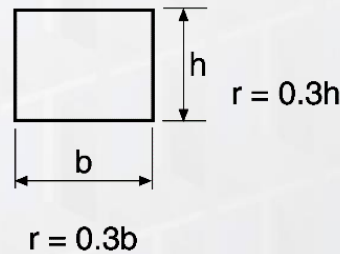
عوامل الطول الفعال للعناصر المضغوطة في الإطارات المنزاحة جانبياً

4. تأثيرات النخافة في العناصر المضغوطة

4. 3. Radius of Gyration

4. 3. نصف قطر العطالة

$$r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}}$$



يسمح بأخذ نصف قطر العطالة r مساوياً إلى **0.30** مرة من البعد الإجمالي في اتجاه دراسة الاستقرار للعناصر المضغوطة ذات المقاطع المستطيلة و**0.25** مرة من القطر للعناصر المضغوطة الدائرية.

4. تأثيرات النفاة في العناصر المضغوطة

4.4. مواصفات المقاطع المستخدمة للتحليل المرن من الدرجة الثانية

4.4. Section Properties for Frame Analysis

Element	عزم العطالة	العنصر
Beams	$0.35 I_g$	الجوائز
Columns	$0.7 I_g$	الأعمدة
Uncracked Walls	$0.7 I_g$	جدران القص غير المتشققة
Cracked Walls	$0.35 I_g$	جدران القص المتشققة
Flat Slabs	$0.25 I_g$	البلاطات المستوية

w_c : الوزن الحجمي للبيتون [kgf/m^3].

f'_c : المقاومة المميزة للبيتون [MPa].

$$E_c = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \quad [\text{MPa}]$$

5. إجراء تكبير العزم

5.1. عملية تكبير العزم - حالة عدم الإزاحة الجانبية

5. 1. Moment Magnification—Nonsway Frames

تبنى المعادلات التقريبية لتصميم العمود النحيف من أجل الإطارات غير المنزاحة جانبياً على مفهوم **عامل تكبير العزم δ_{ns}** الذي يقوم بتكبير عزم النهاية المصعد الأكبر M_2 المطبق على العنصر المضغوط. ومن ثم يتم تصميم العمود لتحمل القوة المحورية المصعدة P_u والعزم المكبر M_c حيث M_c معطى بالعلاقة:

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

تحسب كافة العوامل
من أجل العمود
المدرّوس فقط

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

5. إجراء تكبير العزم

5.1. عملية تكبير العزم - حالة عدم الإزاحة الجانبية

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75 P_c}} \geq 1 \quad P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k l_u)^2}$$

تكمن المشكلة الصعبة عند حساب حمل العمود الحرج P_c في الخيار المعتمد لحساب **معامل قساوة الانعطاف EI** والذي يقرب بطريقة معقولة تغيرات القساوة في العنصر نتيجة التشققات والسيلان ولا خطية منحنى الإجهاد - التشوه للبيتون.

بدلاً من إجراء تحليل دقيق لحساب قساوة العنصر، يمكن حساب EI من العلاقة التالية:

$$EI = \frac{0.2 E_c I_g + E_s I_{se}}{1 + \beta_{dns}}$$

حيث I_{se} عزم عطالة فولاذ التسليح حول مركز ثقل المقطع العرضي.

هذه العلاقة هي صيغة تقريبية مبسطة للعلاقة الأولى.

$$EI = \frac{0.4 E_c I_g}{1 + \beta_{dns}}$$

أو العلاقة:

5. إجراء تكبير العزم

5.1. عملية تكبير العزم - حالة عدم الإزاحة الجانبية

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75 P_c}} \geq 1 \quad P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k l_u)^2}$$

$$EI = \frac{E_c I}{1 + \beta_{dns}}$$

يمكن كذلك حساب EI من العلاقة التالية:

حيث / عزم عطالة المقطع العرضي المكافئ.

$$0.35 I_g \leq I = \left(0.80 + 0.25 \frac{A_{st}}{A_g} \right) \left(1 - \frac{M_u}{P_u h} - 0.5 \frac{P_u}{P_o} \right) I_g \leq 0.875 I_g$$

تحسب قيمة P_u و M_u من أجل تركيب الحمل المدروس، أو من أجل تركيب القوى P_u و M_u الذي ينتج أقل قيمة لـ I .

P_o : قوة الضغط الاسمية الأعظمية النظرية التي يستطيع العمود تحملها (من دون لامركزية)

$$P_o = 0.85 f'_c (A_g - A_s) + f_y A_s$$

5. إجراء تكبير العزم

5.1. عملية تكبير العزم - حالة عدم الإزاحة الجانبية

$$EI = \frac{0.2 E_c I_g + E_s I_{se}}{1 + \beta_{dns}}$$

$$EI = \frac{0.4 E_c I_g}{1 + \beta_{dns}}$$

$$EI = \frac{E_c I}{1 + \beta_{dns}}$$

يتم نقل بعض القوى الداخلية من البيتون إلى فولاذ التسليح بسبب **سيلان البيتون** في الأعمدة البيتونية المعرضة لأحمال مستديمة، وهذا يؤدي إلى زيادة الإجهادات في فولاذ التسليح. يمكن أن يتسبب نقل القوى بخضوع فولاذ تسليح الضغط قبل أوانه من أجل الأعمدة المسلحة بنسب تسليح صغيرة، وينتج عن هذا **خسارة في القيمة الفعّالة للقساوة EI**، يؤخذ هذا الأمر بالحسبان عن طريق تقسيم EI على القيمة $(1+\beta_{dns})$.

يعرّف β_{dns} من أجل الإطارات غير المنزاحة جانبياً كما يلي:

عامل يأخذ بعين الاعتبار سيلان البيتون في الأعمدة البيتونية المعرضة لأحمال مستديمة

$$\beta_{dns} = \frac{\text{الحمل المحوري الأعظمي المصعد المستديم}}{\text{الحمل المحوري الأعظمي المصعد الكلي}} \leq 1$$

تؤخذ القوى المحورية المترافقة من أجل **نفس تركيب الأحمال**، على أن لا يؤخذ β_{dns} بقيمة تزيد عن 1.0.

ليس لنقل القوى الناجم عن السيلان أهمية تذكر من أجل الأعمدة التي يأخذ فيها شكل الفولاذ الإنشائي نسبة كبيرة من كامل المقطع العرضي للعمود، وبالتالي يجب فقط تخفيض القساوة EI لحصة البيتون بالمعامل $(1+\beta_{dns})$ لأخذ تأثيرات الأحمال المستديمة بعين الاعتبار.

5. إجراء تكبير العزم

5.1. عملية تكبير العزم - حالة عدم الإزاحة الجانبية

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

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

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$

يدعى C_m **معامل تصحيح العزم المكافئ**. حيث $|M_2| > |M_1|$ والنسبة M_1/M_2 موجبة إذا كان العنصر منحنياً بانحناء مزدوج (مركب) وسالبة إذا كان العمود منحنياً بدرجة انحناء واحد (انحناء مفرد).

إذا كان **العنصر المضغوط معرضاً لأحمال عرضية بين المساند**، فمن الممكن حصول عزم أعظمي عند مقطع ما بعيداً عن أطراف العنصر. يجب في هذه الحالة تكبير أكبر عزم محسوب وحاصل في أي مكان على طول العنصر بالمعامل δ_{ns} ، و **يجب أخذ قيمة C_m مساوية إلى 1**.

5. إجراء تكبير العزم

1.5. عملية تكبير العزم - حالة عدم الإزاحة الجانبية

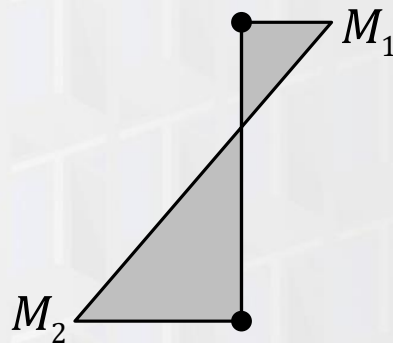
$$M_c = \delta_{ns} M_2$$

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

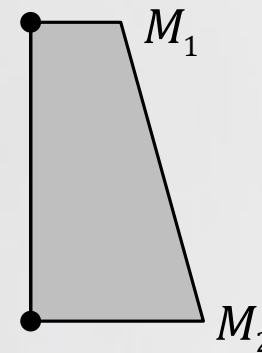
$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$

$$|M_2| > |M_1|$$



$$\left(\frac{M_1}{M_2} (+) \right)$$



$$\left(\frac{M_1}{M_2} (-) \right)$$

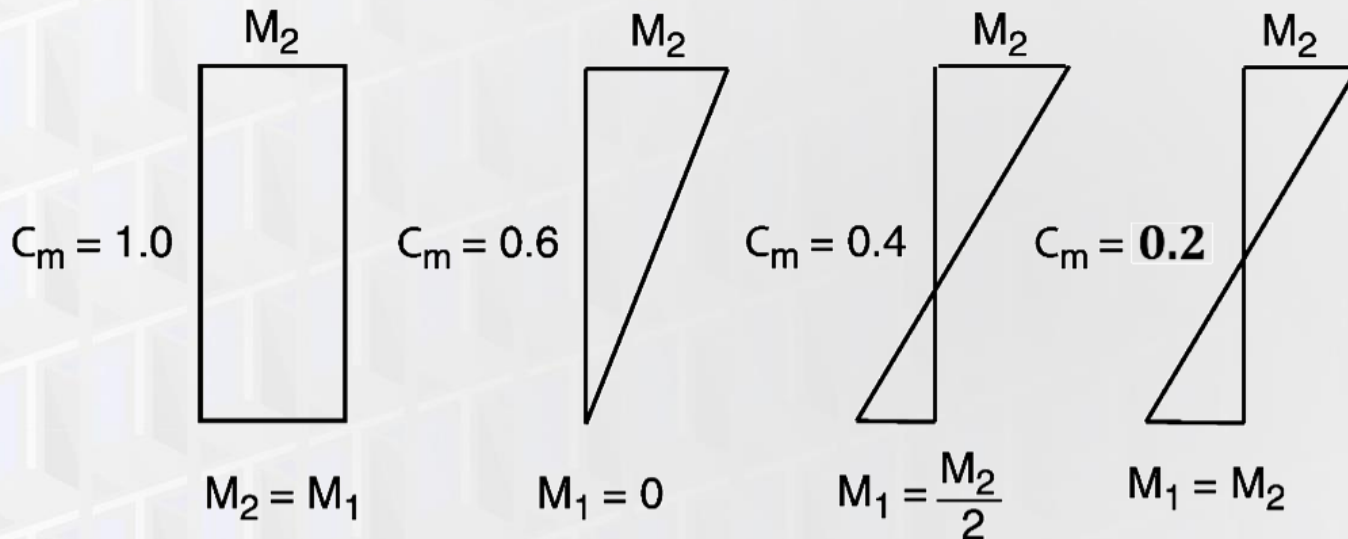
5. إجراء تكبير العزم

5.1. عملية تكبير العزم - حالة عدم الإزاحة الجانبية

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

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

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$



5. إجراء تكبير العزم

5.1. عملية تكبير العزم - حالة عدم الإزاحة الجانبية

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

يجب أن يساوي M_2 في العلاقة أعلاه على الأقل $M_{2,min}$ المحسوب من العلاقة:

$$M_{2,min} = P_u(15 + 0.03 h)$$

حيث h و 15g بالـ mm.

من أجل العناصر التي يكون فيها $M_{2,min} > M_2$ تؤخذ قيمة C_m مساوية إلى 1.0 أو يمكن حسابها عن طريق المعادلة السابقة باستخدام نسبة عزوم النهايات المحسوبة الفعلية M_1 و M_2 .

5. إجراء تكبير العزم

5.2. عملية تكبير العزم - حالة الإزاحة الجانبية

5. 2. Moment Magnification—Sway Frames

تضاف عزوم "الإزاحة" المكبّرة $\delta_s M_s$ إلى عزوم "اللاإزاحة" الغير مكبّرة M_{ns} عند كل نهاية من نهايات العمود.

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

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

M_{1ns} : العزم المصدّد الناتج عن الأحمال التي لا تسبب إزاحة جانبية محسوسة, عند النهاية ① للعنصر المضغوط.

M_{1s} : العزم المصدّد الناتج عن الأحمال التي تسبب إزاحة جانبية محسوسة, عند النهاية ① للعنصر المضغوط.

M_{2ns} : العزم المصدّد الناتج عن الأحمال التي لا تسبب إزاحة جانبية محسوسة, عند النهاية ② للعنصر المضغوط.

M_{2s} : العزم المصدّد الناتج عن الأحمال التي تسبب إزاحة جانبية محسوسة, عند النهاية ② للعنصر المضغوط.

δ_s : عامل تكبير عزم الإزاحة.

يجب التأكيد على أن حساب عزوم اللاإزاحة M_{ns} وعزوم الإزاحة M_s يتم باستخدام تحليل مرن من الدرجة الأولى.

5. إجراء تكبير العزم

5.2. عملية تكبير العزم - حالة الإزاحة الجانبية

5. 2. Moment Magnification—Sway Frames

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

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

حساب $M_s \delta_s$: الطريقة الأولى

من المسموح تحديد $M_s \delta_s$ باستخدام **تحليل من الدرجة الثانية تقريبي**, يعطى في هذه الحالة حل السلسلة اللامحدودة التي تمثل تحليل P-Δ تكراري للعزوم من الدرجة الثانية كما يلي:

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

حيث Q مؤشر الاستقرار **للطابق** ويعطى بالعلاقة:

يحسب Q لجميع الأعمدة الموجودة ضمن الطابق ومن أجل كل تركيب حمل

$$Q = \frac{(\sum P_u) \Delta_0}{V_{us} l_c}$$

5. إجراء تكبير العزم

5.2. عملية تكبير العزم - حالة الإزاحة الجانبية

5. 2. Moment Magnification—Sway Frames

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

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

حساب $\delta_s M_s$: الطريقة الثانية

من أجل الحالات التي تتجاوز فيها قيمة δ_s المحسوبة حسب الطريقة الأولى القيمة 1.5 تحسب $\delta_s M_s$ باستخدام تحليل مرن من الدرجة الثانية أو باستخدام الطريقة التالية:

يحسب δ_s لجميع الأعمدة الموجودة ضمن الطابق و من أجل كل تركيب حمل

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

$\sum P_u$: مجموع كامل الأحمال الرأسية المصعدة **ضمن الطابق**.

$\sum P_c$: مجموع أحمال التحنيب الحرجة لجميع الأعمدة المقاومة للانزاح الجانبي **ضمن الطابق**.

من المهم ملاحظة أنه من الممكن أن يؤدي إجراء تكبير العزم، في الأعمدة البعيدة عن مركز الفتل في الأبنية المعرّضة لانتقالات فتل هامة، إلى قيم عزوم أقل من الواقع. في مثل هذه الحالات يجب اعتماد تحليل ثلاثي الأبعاد من الدرجة الثانية.

5. إجراء تكبير العزم

5.2. عملية تكبير العزم - حالة الإزاحة الجانبية

يحسب δ_s لجميع الأعمدة الموجودة ضمن الطابق و من أجل كل تركيب حمل

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

يحسب P_c للأعمدة المقاومة للانزياح في الطابق بنفس الطريقة المشروحة سابقاً للأعمدة الغير منزاحة جانبياً مع تبديل المعامل β_{dns} بالمعامل β_{ds} :

$$EI = \frac{0.2 E_c I_g + E_s I_{se}}{1 + \beta_{ds}} \quad EI = \frac{0.4 E_c I_g}{1 + \beta_{ds}} \quad EI = \frac{E_c I}{1 + \beta_{ds}}$$

حيث $\beta_{ds} = \frac{\text{القصر الأعظمي المصعد المستديم ضمن الطابق}}{\text{القصر الأعظمي المصعد في ذلك الطابق و المترافق مع نفس تركيب الأحمال}} \leq 1$

حسب هذا التعريف قيمة β_{ds} في أغلب الحالات مساوية للصفر ($\beta_{ds}=0$). في الحالة الخاصة للإطارات المنزاحة، حيث أن الأحمال الجانبية مستديمة، ستكون قيمة β_{ds} مغايرة للصفر. يمكن أن يحدث هذا في حال كان البناء متوضع على موقع منحدر (Sloping Site) و معرض لضغط تربة من أحد الجوانب و من الجانب المقابل غير معرض لضغط تربة.

6. تلخيص معادلات التصميم

6.1. عملية تكبير العزم - حالة عدم الإزاحة الجانبية

1. حدد تراكيب الأحمال المصّدة.

لاحظ أنه يجب تحديد $M_{u,top}$ و $M_{u,bot}$ عند أعلى وأسفل العمود باستخدام تحليل من الدرجة الأولى مبني على مواصفات المقاطع المتشقة للعناصر.

2. حدد M_c من أجل كل تركيب أحمال، حيث أن الآن M_c هو عزم نهاية العمود المصّد الأكبر، متضمناً تأثيرات النفاة (إذا كانت لازمة).

لاحظ أنه يمكن تحديد M_c بإحدى الطرق التالية:

i. تحليل لاخطي من الدرجة الثانية.

ii. تحليل مرّن من الدرجة الثانية.

iii. إجراء تكبير العزم.

3. أوجد تسليح العمود اللازم لتركيب الأحمال الحرج المحدد في الخطوات 1 و 2 أعلاه. يتألف كل تركيب أحمال من P_u و M_c .

6. تلخيص معادلات التصميم

6.1. عملية تكبير العزم - حالة عدم الإزاحة الجانبية

4. إجراء تكبير العزم.

يمكن إهمال تأثيرات النفاة عندما:

$$\frac{k l_u}{r} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 34 + 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \\ 40 \end{array} \right.$$

يؤخذ الحد M_1/M_2 سالباً عندما ينعطف العمود بانحناء مفرد وموجباً عندما ينعطف العمود بانحناء مزدوج. عندما يكون $M_1=M_2=0$ نفرض $M_2=M_{2,min}$, ويكون لدينا في هذه الحالة $kl_u/r=34$.

إذا توجب أخذ تأثيرات النفاة بعين الاعتبار, نقوم بتحديد M_c من أجل كل تركيب أحمال من العلاقة:

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

حيث M_2 : العزم الأكبر بين $M_{u,top}$ و $M_{u,bot}$, و بحيث: $M_2 \geq P_u(15 + 0.03 h)$ h تؤخذ بالـ mm.

6. تلخيص معادلات التصميم

6.1. عملية تكبير العزم - حالة عدم الإزاحة الجانبية

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75 P_c}} \geq 1.0 \quad P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k l_u)^2} \quad 4. \text{ إجراء تكبير العزم.}$$

$$EI = \frac{0.2 E_c I_g + E_s I_{se}}{1 + \beta_{dns}} \quad EI = \frac{0.4 E_c I_g}{1 + \beta_{dns}} \quad EI = \frac{E_c I}{1 + \beta_{dns}}$$

$$\beta_{dns} = \frac{\text{الحمل المحوري الأعظمي المصعد المستديم}}{\text{الحمل المحوري الأعظمي المصعد الكلي و المحسوب من نفس تركيب الأحمال}}$$

$$C_m = \begin{cases} 0.6 - 0.4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) & \text{من أجل الأعمدة من دون الأحمال العرضية :} \\ 1 & \text{من أجل الأعمدة مع الأحمال العرضية :} \end{cases}$$

معامل تصحيح العزم المكافئ

يمكن أخذ عامل الطول الفعّال k مساوياً للقيمة 1 أو يمكن تحديده من المخططات للإطارات غير المنزاحة جانبياً.

5. تحقق من أن M_c أصغر من 1.4 مرة العزم الناتج عن التأثيرات من الدرجة الأولى. و في حال عدم تحقق هذا الشرط يجب تعديل أبعاد العمود.

6. تلخيص معادلات التصميم

6.2. عملية تكبير العزم - حالة الإزاحة الجانبية

1. حدد تراكيب الأحمال المصّدة.

A. أحمال الثقالة (الميتة والحية).

$$M_{u,top} = (M_{u,top})_{ns}$$

$$M_{u,bot} = (M_{u,bot})_{ns}$$

هذه التراكيب تسبب فقط عزوم "لإزاحة".

تحدد العزوم $(M_{u,bot})_{ns}$ و $(M_{u,top})_{ns}$ عند أسفل وأعلى العمود على التوالي، باستخدام تحليل مرن من الدرجة الأولى مبني على خواص المقطع المتشقق للعناصر.

العزوم M_1 و M_2 هي القيمة الأصغر والقيمة الأكبر من العزوم $(M_{u,bot})_{ns}$ و $(M_{u,top})_{ns}$ على التوالي.

6. تلخيص معادلات التصميم

6.2. عملية تكبير العزم - حالة الإزاحة الجانبية

1. حدد تراكيب الأحمال المصّدة.

A. أحمال الثقالة (الميتة والحية) والأحمال الجانبية. العزوم الكلية عند أعلى وأسفل العمود هي:

$$M_{u,top} = (M_{u,top})_{ns} + (M_{u,top})_s$$

$$M_{u,bot} = (M_{u,bot})_{ns} + (M_{u,bot})_s$$

العزوم M_1 و M_2 هي القيمة الأصغر والقيمة الأكبر من العزوم $M_{u,top}$ و $M_{u,bot}$ على التوالي. لاحظ أنه في هذه المرحلة M_1 و M_2 لا تحوي تأثيرات النخافة. العزوم M_{1ns} و M_{1s} هي عزوم اللإزاحة وعزوم الإزاحة المصّدة، على التوالي، عند نهاية العمود التي يكون عندها M_1 مطبقاً. بينما العزوم M_{2ns} و M_{2s} هي عزوم اللإزاحة وعزوم الإزاحة المصّدة، على التوالي، عند نهاية العمود التي يكون عندها M_2 مطبقاً.

C. أحمال الثقالة الميتة والأحمال الجانبية.

تعرف العزوم في تركيب الأحمال هذا بنفس الطريقة المعطاة في الفقرة B.

6. تلخيص معادلات التصميم

6.2. عملية تكبير العزم - حالة الإزاحة الجانبية

2. حدد تسليح العمود اللازم لمقاومة تركيب الحمل الحرج المحدد في الخطوة 1 أعلاه.

لاحظ أنه إذا تم حساب P_c الحمل الحرج باستخدام EI من العلاقة التي تحوي I_{se} فمن الضروري أولاً تقدير تسليح العمود.

يتألف كل تركيب حمل من P_u و M_1 و M_2 ، حيث أن M_1 و M_2 عزوم النهايات المصعدة الكلية متضمنة تأثيرات النخافة.

تحدد العزوم M_1 و M_2 بإحدى الطرق التالية:

- i. تحليل لاخطي من الدرجة الثانية.
- ii. تحليل مرن من الدرجة الثانية.
- iii. إجراء تكبير العزم.

6. تلخيص معادلات التصميم

6.2. عملية تكبير العزم - حالة الإزاحة الجانبية

3. إجراء تكبير العزم.

تُهمل تأثيرات النفاة عندما: $\frac{k l_u}{r} < 22$

عندما نحتاج أخذ تأثيرات النفاة بعين الاعتبار، نحسب:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

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

تُحسب العزوم $\delta_s M_{1s}$ و $\delta_s M_{2s}$ بإحدى الطرق التالية:

A. تحليل من الدرجة الثانية تقريبي:

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

$$Q = \frac{(\sum P_u) \Delta_0}{V_{us} l_c}$$

$$1.0 \leq \delta_s \leq 1.5$$

6. تلخيص معادلات التصميم

6.2. عملية تكبير العزم - حالة الإزاحة الجانبية

B. طريقة العزم المكبر التقريبية:

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1 - \frac{\sum P_u}{0.75 \sum P_c}} \geq M_s \quad P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k l_u)^2}$$

$$EI = \frac{0.2 E_c I_g + E_s I_{se}}{1 + \beta_{ds}} \quad EI = \frac{0.4 E_c I_g}{1 + \beta_{ds}} \quad EI = \frac{E_c I}{1 + \beta_{ds}}$$

لاحظ أنه إذا تم حساب P_c الحمل الحرج باستخدام EI من العلاقة التي تحوي I_{se} فمن الضروري أولاً تقدير تسليح العمود.

يجب أن يكون عامل الطول الفعال k أكبر من 1 ومبني على قيم خواص المقاطع المتشقة.

$$\beta_{ds} = \frac{\text{القصر الأعظمي المصعد المستديم ضمن الطابق}}{\text{القصر الأعظمي المصعد في ذلك الطابق و المترافق مع نفس تركيب الأحمال}} \leq 1$$

6. تلخيص معادلات التصميم

6.2. عملية تكبير العزم - حالة الإزاحة الجانبية

4. تحقق من أن:

$$M_{ns} + \delta_s M_s \leq 1.4 (M_{ns} + M_s)$$

وفي حال عدم تحقق العلاقة فإنه يجب تعديل أبعاد المقطع أو الجملة الإنشائية.

ملاحظة هامة جداً:

مقارنة M_2 مع $M_{2,min}$ تتم فقط من أجل حالة عدم الإزاحة الجانبية.

7. التحليل من الدرجة الثانية لأخذ تأثيرات النحافة

7. Second-order Analysis

It may be evident from the preceding examples that although the ACI moment magnifier method works well enough for nonsway frames, its application to sway frames is complicated, with many opportunities for error, especially when the following equation is used to calculate δ_s .

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

With the universal availability of computers in design offices, and because of the complexity of the moment magnifier method, it is advantageous to apply rational second-order frame analysis, or P- Δ analysis, in which the effects of lateral deflection on moments, axial forces, and, in turn, lateral deflections are computed directly. The resulting moments and deflections include the effects of slenderness, and so the problem is strictly nonlinear, whether the model used for the analysis is elastic (ACI Code 6.7) or inelastic (ACI Code 6.8).

7. التحليل من الدرجة الثانية لأخذ تأثيرات النحافة

7. Second-order Analysis

Elastic second-order analysis in accordance with ACI Code 6.7 must consider the effects of axial loads, cracked regions within the members, and load duration, and although elastic models are simpler to implement than nonlinear models, the key requirement for EI values for second-order frame analysis, whether elastic or inelastic, is that they be representative of member stiffness just prior to failure. The values of E and I in ACI Code 6.6.3.1, meet that requirement and include a stiffness reduction factor of 0.875.

7. التحليل من الدرجة الثانية لأخذ تأثيرات النحافة

7. Second-order Analysis

Inelastic second-order analysis in accordance with ACI Code 6.8 must account for the effects of material nonlinearity, member curvature and lateral drift, load duration, shrinkage and creep, and the interaction between the frame and the supporting foundation.

ACI Code 6.8 requires that the second-order analysis procedure be one that provides a strength prediction that is in "substantial agreement" with test results for reinforced concrete columns in statically indeterminate frames. ACI Commentary 6.8 suggests that a prediction within 15 percent of the test results is satisfactory. It also suggests that a stiffness reduction factor ϕ_K of 0.80 be used to account for variations in actual member properties and for consistency with elastic second-order analysis under ACI Code 6.7.

The member dimensions used in any second-order analysis must be within 10 percent of the final dimensions. Otherwise, the frame must be reanalyzed.

A rational second-order analysis gives a better approximation of actual moments and forces than the moment magnifier method. Differences are particularly significant for irregular frames, frames subject to significant sway forces, and for lightly braced frames. There may be important economies in the resulting design.

8. تأثيرات تحليل P-Delta ضمن برنامج ETABS

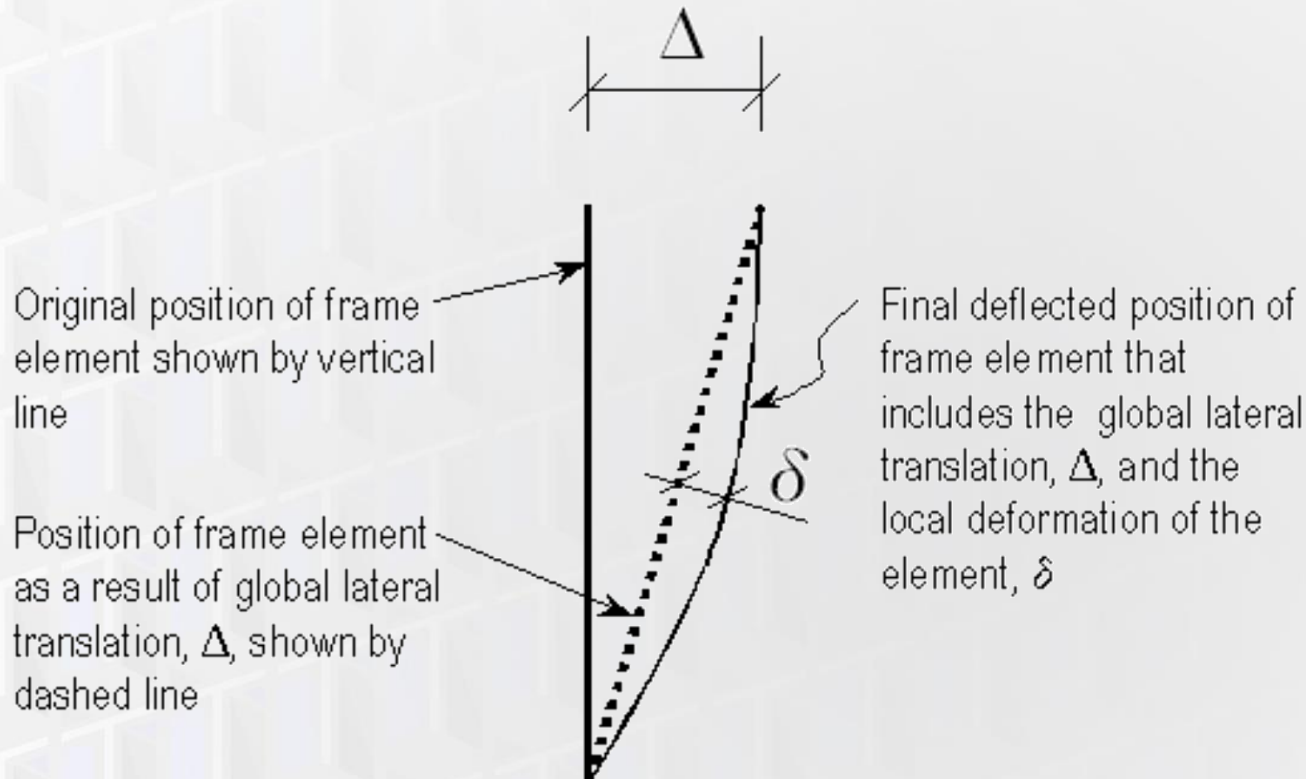
8. Second Order P-Delta Effects in ETABS

Typically, design codes require that second order P-Delta effects be considered when designing concrete frames. These effects are the global lateral translation of the frame and the local deformation of members within the frame.

8. تأثيرات تحليل P-Delta ضمن برنامج ETABS

8. Second Order P-Delta Effects in ETABS

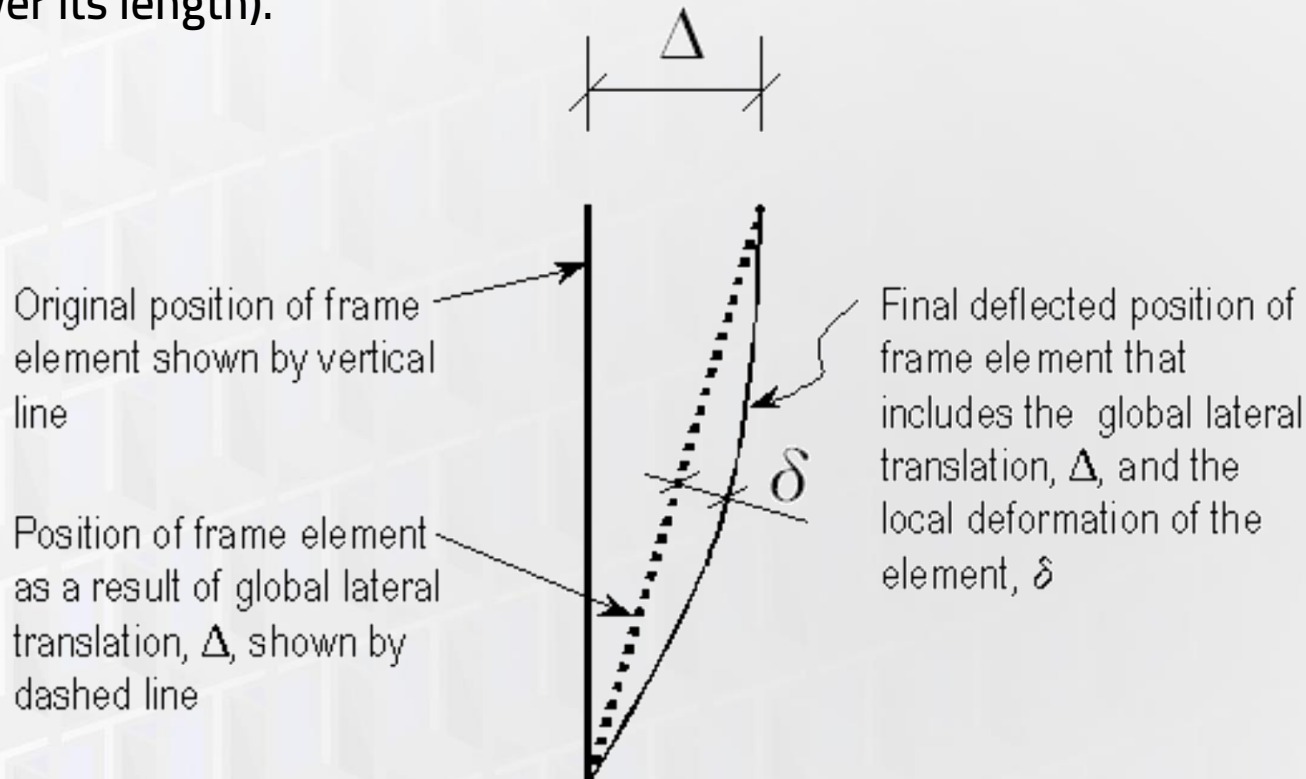
Consider the frame object shown in figure, which is extracted from a story level of a larger structure. The overall global translation of this frame object is indicated by Δ . The local deformation of the member is shown as δ . The total second order P-Delta effects on this frame object are those caused by both Δ and δ .



8. تأثيرات تحليل P-Delta ضمن برنامج ETABS

8. Second Order P-Delta Effects in ETABS

The program has an option to consider P-Delta effects in the analysis. When P-Delta effects are considered in the analysis, the program does a good job of capturing the effect due to the Δ deformation shown in figure, but it does not typically capture the effect of the δ deformation (unless, in the model, the frame object is broken into multiple elements over its length).



8. تأثيرات تحليل P-Delta ضمن برنامج ETABS

8. Second Order P-Delta Effects in ETABS

Consideration of the second order P-Delta effects is generally achieved by computing the flexural design capacity using a formula similar to that shown in the following equation.

$$M_{CAP} = a M_{nt} + b M_{lt}$$

M_{CAP} = Flexural design capacity required

M_{nt} = Required flexural capacity of the member assuming there is no joint translation of the frame (i.e., associated with the δ deformation)

M_{lt} = Required flexural capacity of the member as a result of lateral translation of the frame only (i.e., associated with the Δ deformation)

a = Unitless factor multiplying M_{nt}

b = Unitless factor multiplying M_{lt} (assumed equal to 1 by the program)

8. تأثيرات تحليل P-Delta ضمن برنامج ETABS

8. Second Order P-Delta Effects in ETABS

When the program performs concrete frame design, it assumes that the factor b is equal to 1 and calculates the factor a . That $b = 1$ assumes that P-Delta effects have been considered in the analysis. Thus, in general, when performing concrete frame design in ETABS, consider P-Delta effects in the analysis before running the program.