



## فصل سوم

### الزامات تحلیل و طراحی برای تامین پایداری

## Chapter 3:

### Design for Stability



## منابع جهت مطالعه بیشتر

- **AISC360-16**
- ✓ **Chapter C. DESIGN FOR STABILITY**
- ✓ *APPENDIX 7. ALTERNATIVE METHODS OF DESIGN FOR STABILITY*
- ✓ *APPENDIX 8. APPROXIMATE SECOND-ORDER ANALYSIS*
- **Steel Design Guide 28**
- ✓ *Stability design of steel buildings*



## WHAT IS STABILITY?

**Stability:** The capacity of a compression member, element or frame to remain in position and support load, even if forced slightly out of line or position by an added lateral force.

**Instability:** A condition reached during buckling under increasing load in a compression member, element or frame at which the capacity for resistance to additional load is exhausted and continued deformation results in a decrease in load resisting capacity.

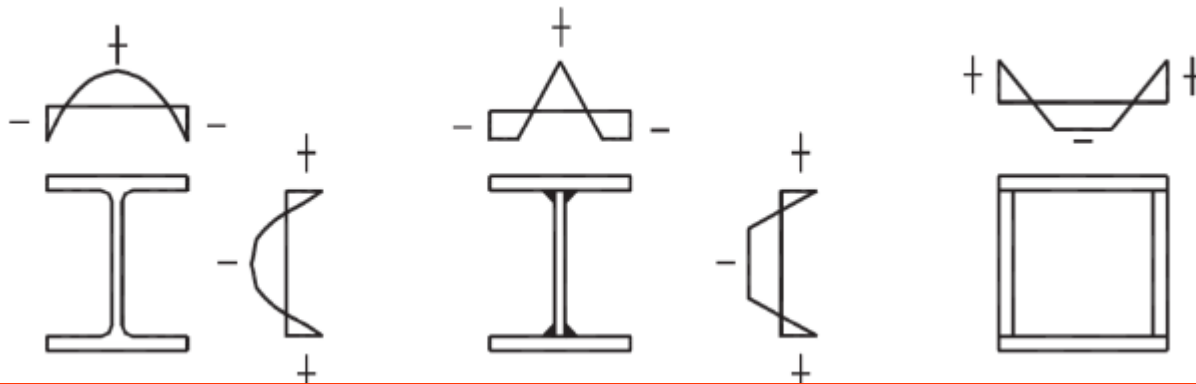


## Effective factors on STABILITY

- (a) Flexural, shear and axial member deformations
- (b) Second-order effects (including  $P-\Delta$  and  $P-\delta$  effects)
- (c) Geometric imperfections
- (d) Stiffness reductions due to inelasticity, including the effect of partial yielding of the cross section which may be accentuated by the presence of residual stresses



- وجود تنش‌های پسماند و توزیع آن‌ها عامل بسیار مهمی در بررسی پایداری ستون‌های فولادی است.
  - در ستون‌های با نسبت لاغری بین ۴۰ تا ۱۲۰ که عمده ستون‌های متعارف ساختمان‌های فولادی را تشکیل می‌دهند، وجود تنش‌های پسماند اهمیت بسیار بالایی را ایفا می‌کند.
- علت اصلی وجود چنین تنش‌هایی سرد شدن غیریکنواخت اجزای مختلف نیمرخ‌ها پس از نورد گرم و یا پس از عملیات حرارتی ورق‌ها برای ساخت نیمرخ‌هاست.





**First-order analysis:** Structural analysis in which equilibrium conditions are formulated on the undeformed structure; second-order effects are neglected.

**Second-order analysis :** Effect of loads acting on the deformed configuration of a structure; includes  $P-\delta$  effect and  $P-\Delta$  effect.



عواملی که باعث اختلاف نتایج تحلیل مرتبه اول و دوم می شوند:

✓ نواقص هندسی اعضا

✓ Geometric imperfections

✓ خروج از مرکزیت نیروهای محوری

✓ Eccentricity of axial loading

✓ تغییرشکلهای ایجاد شده در عضو تحت بارهای وارده

✓ Flexural, shear and axial member deformations



## تغییرشکلهای ایجاد شده در عضو تحت بارهای وارده به دو صورت باعث افزایش نیروهای داخلی می شود

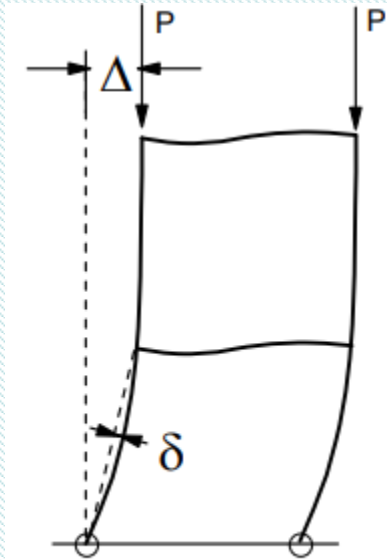
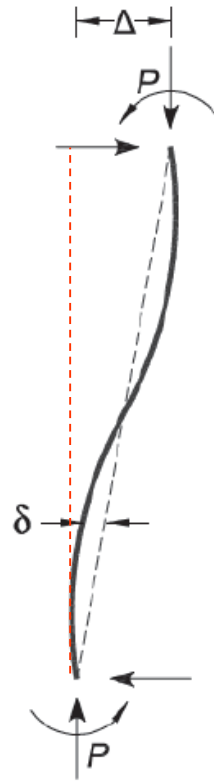


Fig. C-C2.1 The P-Δ and P-δ effects



$P-\Delta$  = Effect of loads acting on the displaced location of joints or nodes in a structure.

$P-\delta$  = Effect of loads acting on the deflected shape of a member between joints or nodes.

$P-\delta$  ✓

$P-\Delta$  ✓

Fig. C-C2.1.  $P-\Delta$  and  $P-\delta$  effects in beam-columns.





## ارائه مثال جهت تفهیم $P - \delta$



## □ آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\delta$

$$M_{z \max} = M_0 B_1$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha}$$

$$C_m = 1 + \left( \frac{\pi^2 EI \delta_0}{M_0 L^2} - 1 \right) \alpha$$

$$C_m = 1 + \psi \alpha$$

Magnification factor

ضریب بزرگنمایی

Equivalent uniform moment factor  
or

Modification factor

ضریب معادل لنگر یکنواخت

$$\alpha = \frac{P_u}{P_e}$$

Amplification Factor

ضریب تشدید



## □ آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\delta$

### Evaluation of $C_m$

The factor  $C_m$  applies only to the braced condition. There are two categories of members: those with transverse loads applied between the ends and those with no transverse loads. Figure 6.8b and c illustrate these two cases (member  $AB$  is the beam-column under consideration).

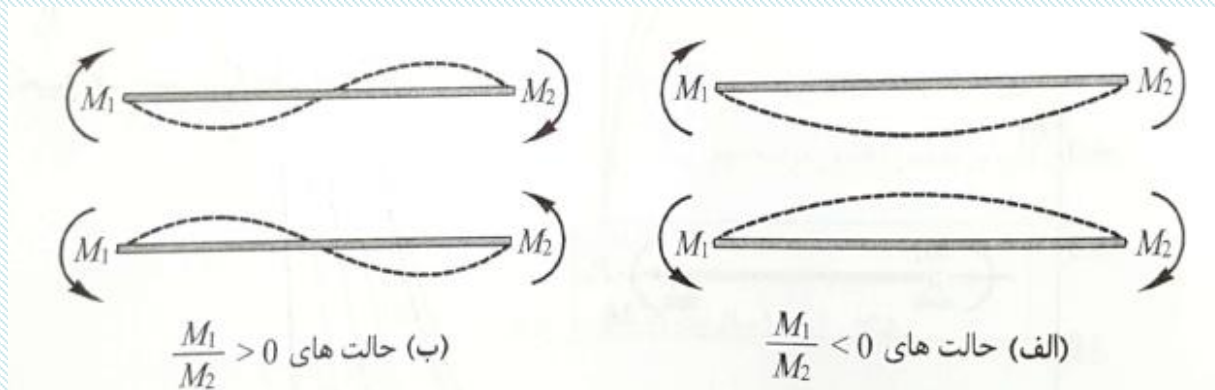
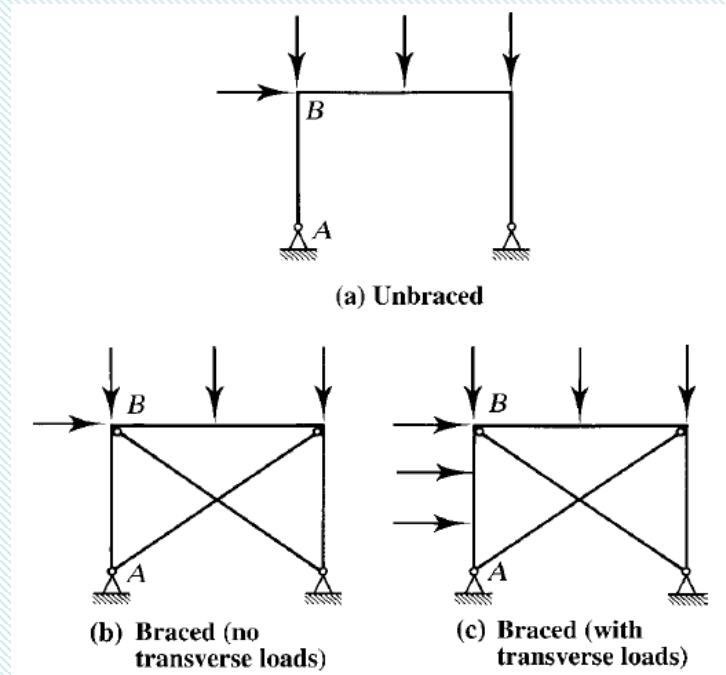
1. If there are no transverse loads acting on the member,

$$C_m = 0.6 - 0.4 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \quad (\text{AISC Equation A-8-4})$$

$M_1/M_2$  is a ratio of the bending moments at the ends of the member.  $M_1$  is the end moment that is smaller in absolute value,  $M_2$  is the larger, and the ratio is positive for members bent in reverse curvature and negative for single-curvature bending (Figure 6.9). Reverse curvature (a positive ratio) occurs when  $M_1$  and  $M_2$  are both clockwise or both counterclockwise.

2. For transversely loaded members,  $C_m$  can be taken as 1.0. A more refined procedure for transversely loaded members is provided in the Commentary to Appendix 8 of the Specification. The factor  $C_m$  is given as

$$C_m = 1 + \Psi \left( \frac{\alpha P_r}{P_{el}} \right) \quad (\text{AISC Equation C-A-8-2})$$





## Modification Factor

## □ آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\delta$

TABLE 12.3.1 Suggested Values for  $C_m$  for Situations with No Joint Translation<sup>a</sup>

Case	$C_m$ (positive moment)	$C_m$ (negative moment)	Primary Bending Moment
1	$1 + 0.2\alpha^1$	—	
2	1.0	—	
3	$1 - 0.2\alpha$	—	
4	$1 - 0.3\alpha$	$1 - 0.4\alpha$	
5	$1 - 0.4\alpha$	$1 - 0.4\alpha$	
6	$1 - 0.4\alpha$	$1 - 0.3\alpha$	
7	$1 - 0.6\alpha$	$1 - 0.2\alpha$	
8	Eq. (12.3.8)	not available	



آثار تحلیل مرتبه دوم  $P-\delta$  □

Amplification Factor

TABLE 11.2 Amplification Factors ( $\psi$ ) and Modification Factors ( $C_m$ ) for Beam Columns Subject to Transverse Loads between Joints.

Case	$\psi$	$C_m$
	0	1.0
	-0.4	$1 - 0.4 \frac{\alpha P_r}{P_{el}}$
	-0.4	$1 - 0.4 \frac{\alpha P_r}{P_{el}}$
	-0.2	$1 - 0.2 \frac{\alpha P_r}{P_{el}}$
	-0.3	$1 - 0.3 \frac{\alpha P_r}{P_{el}}$
	-0.2	$1 - 0.2 \frac{\alpha P_r}{P_{el}}$

Modification Factors



## □ آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\delta$

Modification factor

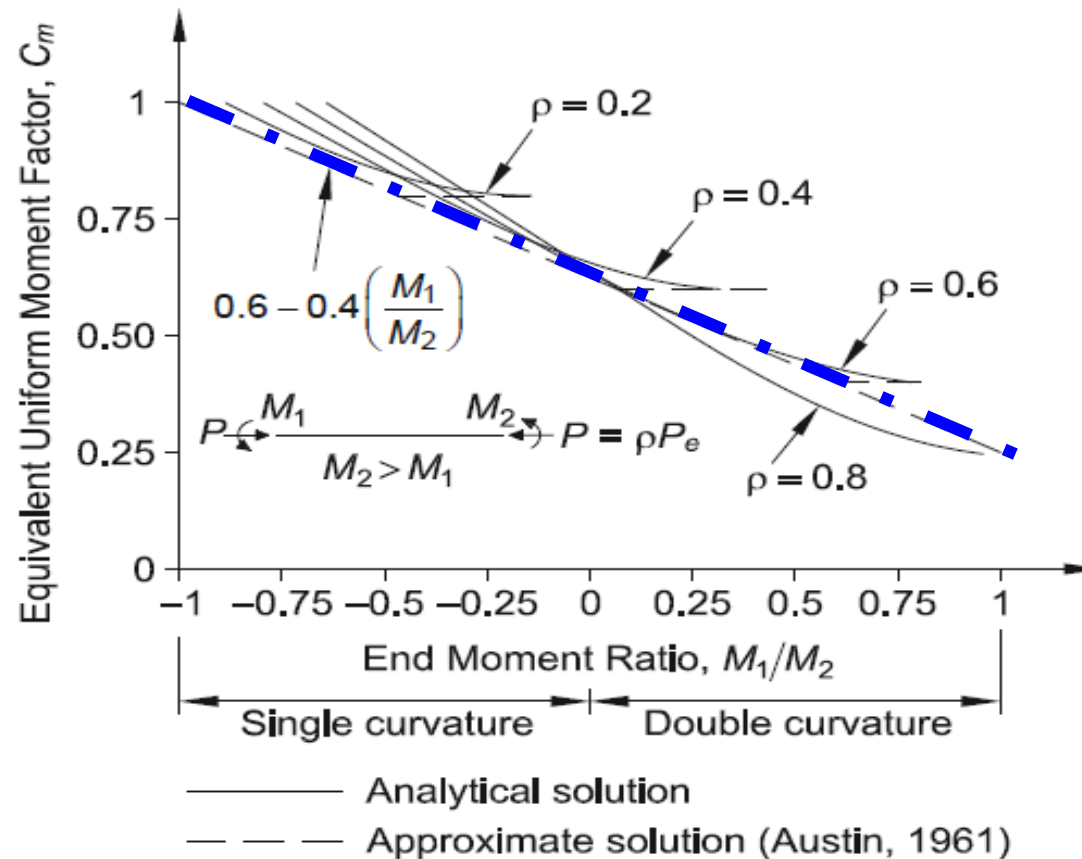


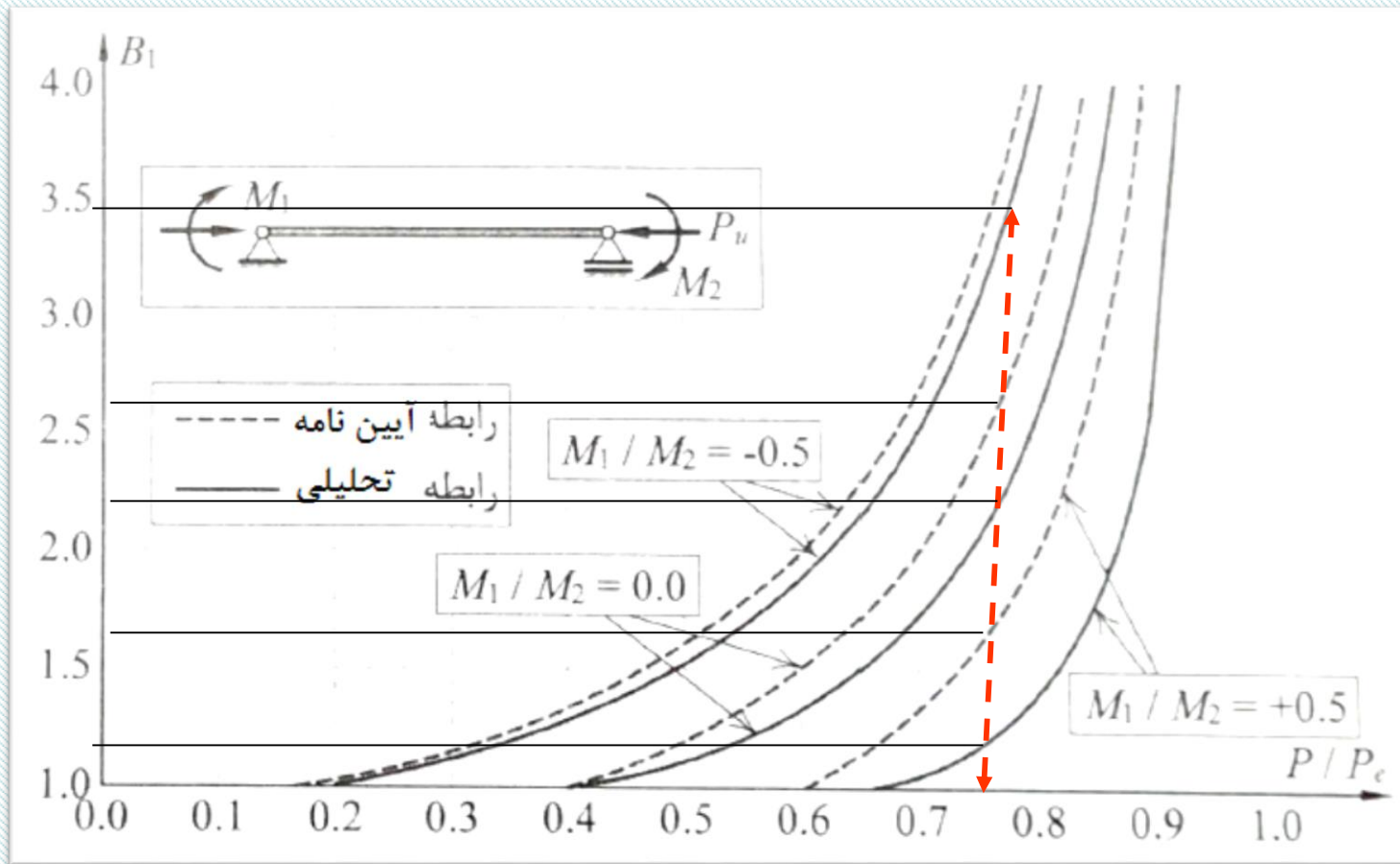
Fig. C-A-8.2. Equivalent uniform moment factor,  $C_m$ , for beam-columns subjected to applied end moments.



## □ آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\delta$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha}$$

Magnification factor



مقایسه تغییرات ضریب تشدید لنگر ناشی از اثرات  $P-\delta$  بر اساس محاسبه ضریب  $C_m$





## □ آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\delta$

- ✓ مبحث ۱۰ و AISC ضریب  $C_m$  را برای اعضای مهارشده ای که بارگذاری جانبی دارند به صورت محافظه کارانه ای برابر ۱ در نظر می گیرد.
- ✓ در صورتی که نتایج تحلیل دقیق مقدار کمتری را نشان دهد می توان جهت اقتصادی تر شدن طرح از آن استفاده کرد
- ✓ در ویرایشهای قبلی AISC استفاده از  $C_m < 0.4$  مجاز نبود.

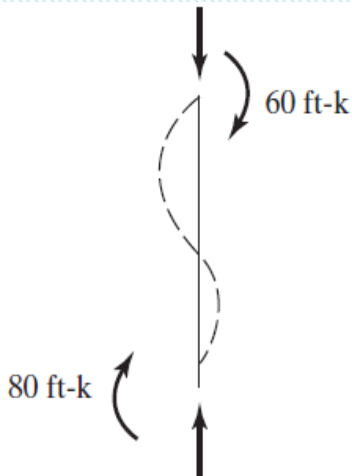


## □ آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\delta$



(a) No sidesway and no transverse loading.  
Moments bend member in single curvature.

$$C_m = 0.6 - (0.4) \left( -\frac{40}{50} \right) = 0.92$$

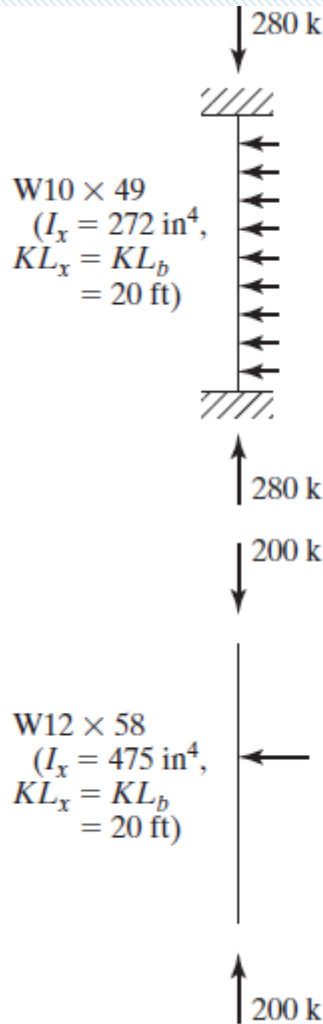


(b) No sidesway and no transverse loading.  
Moments bend member in reverse curvature.

$$C_m = 0.6 - 0.4 \left( +\frac{60}{80} \right) = 0.30$$



## □ آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\delta$



(c) Member has restrained ends and transverse loading and is bent about  $x$  axis.

$C_m$  can be determined from Table 11.1 (AISC Table C-A-8.1) as follows:

$$\alpha P_r = 280 \text{ k}$$

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)_x^2} = \frac{(\pi^2)(29 \times 10^3)(272)}{(12 \times 20)^2} = 1351 \text{ k}$$

$$C_m = 1 - 0.4 \left( + \frac{280}{1351} \right) = 0.92$$

(d) Member has unrestrained ends and transverse loading and is bent about  $x$  axis.

$C_m$  can be determined from Table 11.1 (AISC Table C-A-8.1).

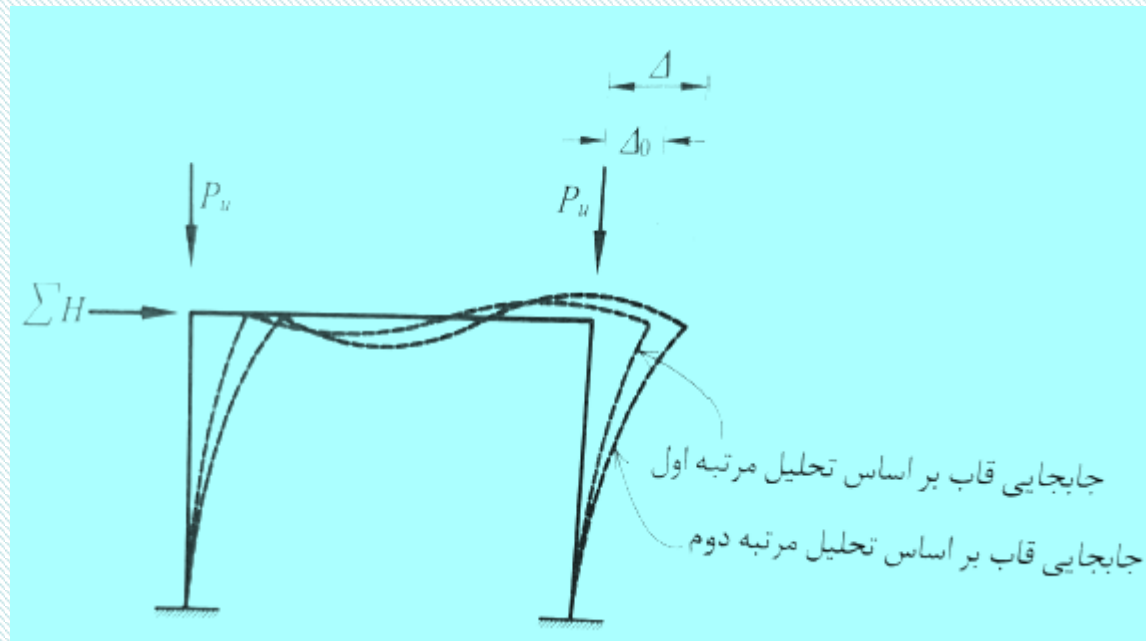
$$\alpha P_r = 200 \text{ k}$$

$$P_{e1} = \frac{(\pi^2)(29 \times 10^3)(475)}{(12 \times 20)^2} = 2360 \text{ k}$$

$$C_m = 1 - 0.2 \left( + \frac{200}{2360} \right) = 0.98$$



## آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\Delta$



اثرات  $P-\Delta$  بر جابجایی نقاط قاب خمشی



## آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\Delta$

✓ برای تعیین مقدار  $\Delta$  نیاز به انجام تحلیل مرتبه دوم بر اساس حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر اعضای قاب می باشد که پیچیده و زمانبر است.

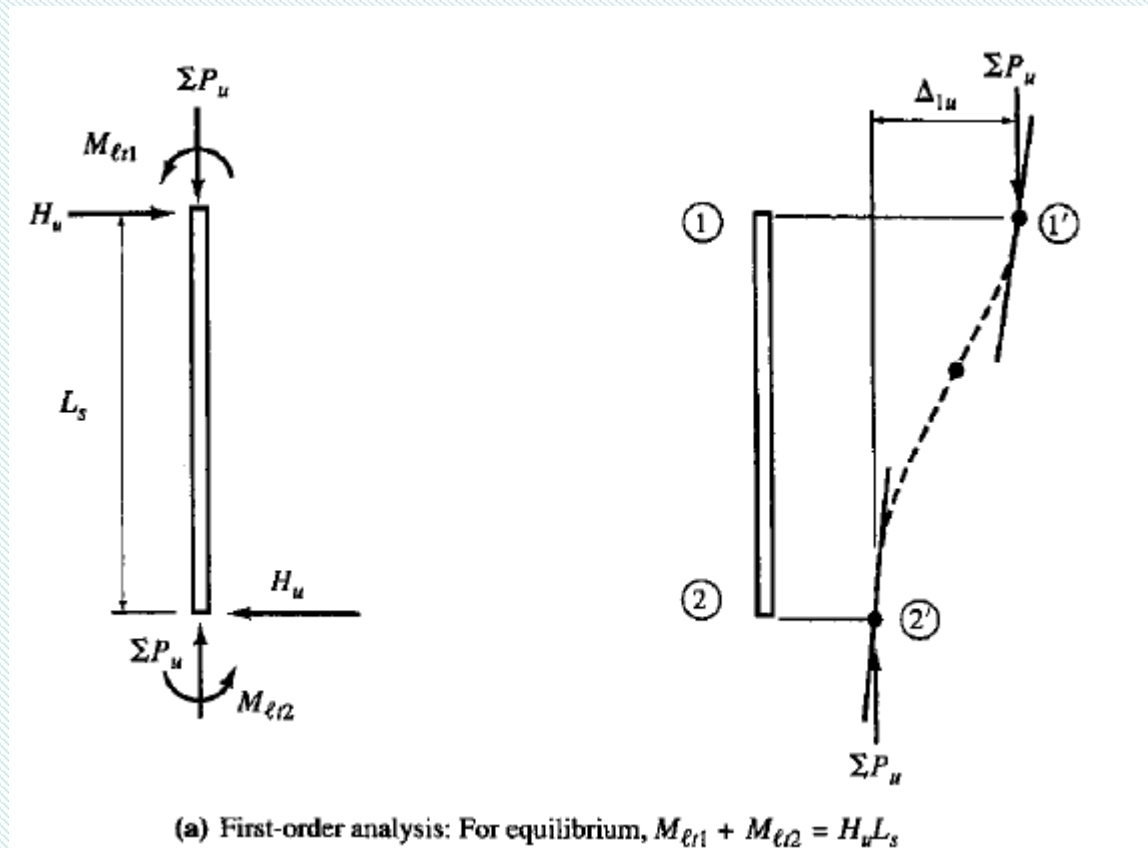
✓ بنابراین بر اساس مطالعات انجام شده، با در نظر گرفتن فرضیات زیر مساله بر اساس تحلیل مرتبه اول حل می شود.

(۱) رفتار هر طبقه مستقل از سایر طبقات است.

(۲) لنگرهای اضافی ایجاد شده در ستونها بدلیل اثرات  $P-\Delta$  معادل با لنگرهای ایجاد شده در قاب باشند که بر اساس تحلیل مرتبه اول در حالتی بدست می آیند که یک نیروی جانبی به تراز طبقه اعمال شود.



## آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\Delta$

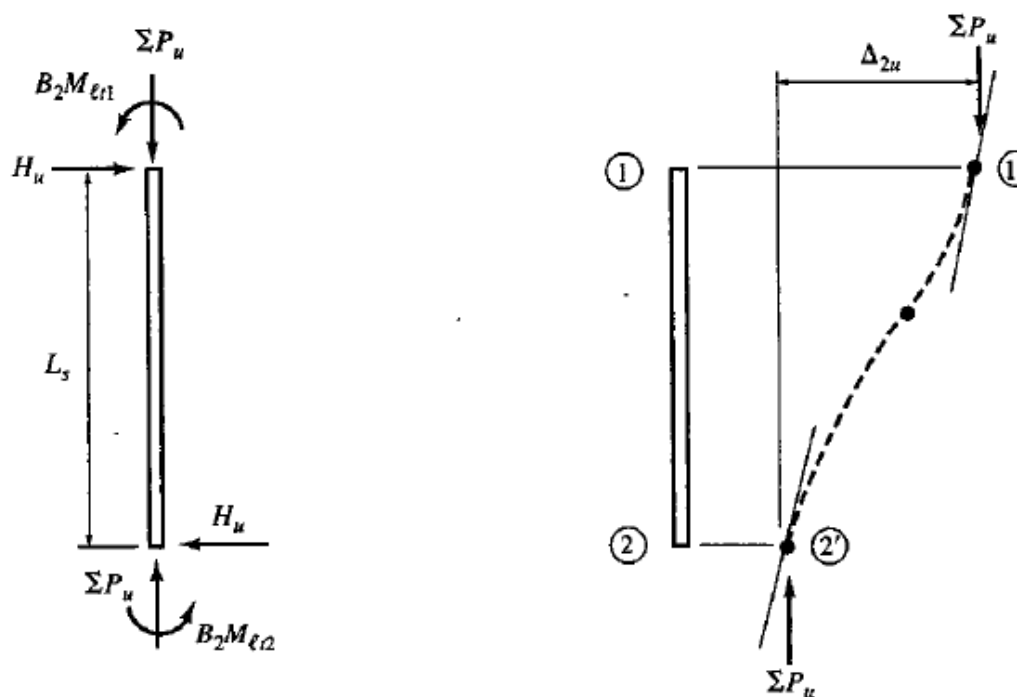


Referring to Fig. 12.11.1, first-order equilibrium requires

$$M_{\ell t1} + M_{\ell t2} = H_u L_s$$



## آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\Delta$



(b) Second-order analysis: For equilibrium,  $B_2(M_{\ell f1} + M_{\ell f2}) = H_u L_s + \Sigma P_u \Delta_{2u}$

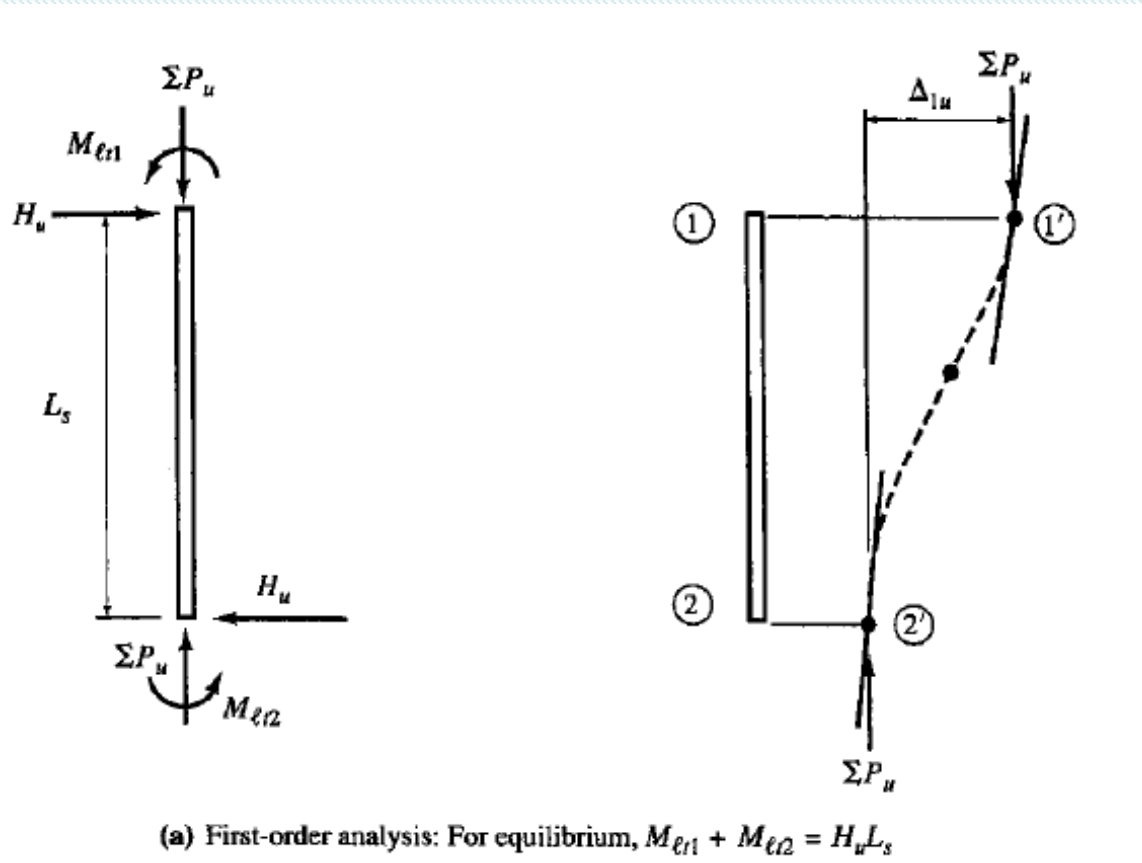
The final (including  $P-\Delta$  effect) moment equilibrium may be expressed

$$B_2(M_{\ell f1} + M_{\ell f2}) = H_u L_s + \Sigma P_u \Delta_{2u}$$

$$B_2 = \frac{H_u L_s + \Sigma P_u \Delta_{2u}}{H_u L_s}$$



## آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\Delta$

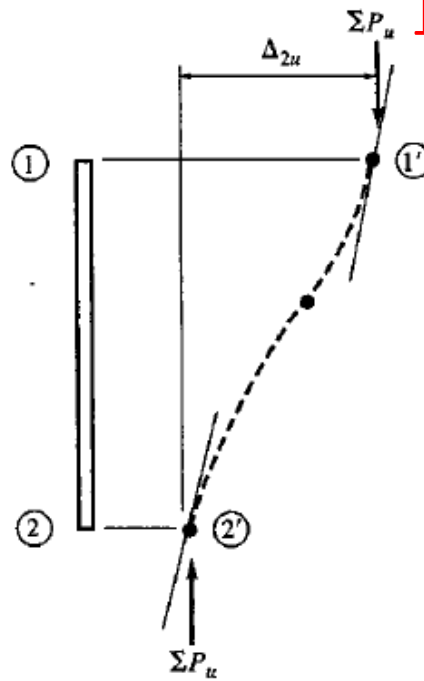
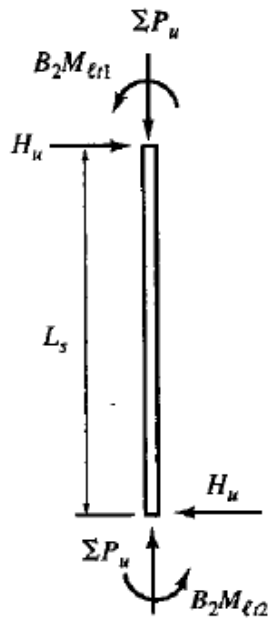


$$\Delta_{u1} = \eta H_u$$





## آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\Delta$



(b) Second-order analysis: For equilibrium,  $B_2(M_{\ell 1} + M_{\ell 2}) = H_u L_s + \Sigma P_u \Delta_{2u}$

The equivalent magnified lateral load in Fig. 12.11.1b, that is, the total moment divided by  $L_s$ , may be taken as

$$\text{Equivalent lateral load} = H_u + \frac{\Sigma P_u \Delta_{2u}}{L_s}$$

$$\Delta_{2u} = \eta (\text{Equivalent lateral load})$$

$$= \eta \left( H_u + \frac{\Sigma P_u \Delta_{2u}}{L_s} \right)$$



## آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\Delta$

Substituting  $\Delta_{1u}$  for  $\eta H_u$  gives

$$\Delta_{2u} = \Delta_{1u} + \frac{\Delta_{1u} \sum P_u \Delta_{2u}}{H_u L_s}$$

from which solving for  $\Delta_{2u}$  gives

$$\Delta_{2u} = \frac{\Delta_{1u}}{1 - \sum P_u \left( \frac{\Delta_{1u}}{H_u L_s} \right)}$$

$$B_2 = \frac{H_u L_s + \sum P_u \Delta_{2u}}{H_u L_s}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \sum P_u \left( \frac{\Delta_{1u}}{H_u L_s} \right)}$$



## آثار تحلیل مرتبه دوم $P-\Delta$

### Multiplier $B_2$ for $P-\Delta$ Effects

The  $B_2$  multiplier for each story and each direction of lateral translation is calculated as:

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{story}}{P_{e story}}} \geq 1$$

where

$\alpha = 1.0$  (LRFD);  $\alpha = 1.6$  (ASD)

$P_{story}$  = total vertical load supported by the story using LRFD or ASD load combinations

$P_{e story}$  = elastic critical buckling strength for the story in the direction of translation being considered, kips (N), determined by sidesway buckling analysis or as:

$$= R_M \frac{HL}{\Delta_H}$$



$$= R_M \frac{HL}{\Delta_H}$$

and

$H$  = total story shear, in the direction of translation being considered, produced by the lateral forces used to compute  $\Delta_H$ , kips (N)

$L$  = height of story, in. (mm)

$R_M = 1 - 0.15 (P_{mf} / P_{story})$

$P_{mf}$  = total vertical load in columns in the story that are part of moment frames, if any, in the direction of translation being considered (= 0 for braced-frame systems), kips (N)

$\Delta_H$  = first-order interstory drift, in the direction of translation being considered, due to lateral forces, in. (mm), computed using the stiffness required to be used in the analysis. (When the direct analysis method is used, stiffness is reduced according to Section C2.3.) Where  $\Delta_H$  varies over the plan area of the structure, it shall be the average drift weighted in proportion to vertical load or, alternatively, the maximum drift.

**User Note:**  $R_M$  can be taken as 0.85 as a lower bound value for stories that include moment frames, and  $R_M = 1$  if there are no moment frames in the story.  $H$  and  $\Delta_H$  in Equation A-8-7 may be based on any lateral loading that provides a representative value of story lateral stiffness,  $H / \Delta_H$ .



## □ روشهای تحلیل مرتبه دوم

مطابق آیین نامه AISC360 استفاده از تحلیل های الاستیک زیر به عنوان تحلیل الاستیک مرتبه دوم مجاز است:

✓ تحلیل الاستیک مرتبه دوم مبتنی بر تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته

✓ تحلیل الاستیک مرتبه دوم مبتنی بر روند تکرار



## تحلیل مرتبه دوم از طریق تحلیل مرتبه اول تشدید یافته

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt}$$

where

$B_1$  = multiplier to account for  $P-\delta$  effects, determined for each member subject to compression and flexure, and each direction of bending of the member in accordance with Section 8.2.1.  $B_1$  shall be taken as 1.0 for members not subject to compression.

$B_2$  = multiplier to account for  $P-\Delta$  effects, determined for each story of the structure and each direction of lateral translation of the story in accordance with Section 8.2.2

$M_{lt}$  = first-order moment using LRFD or ASD load combinations, due to lateral translation of the structure only, kip-in. (N-mm)

$M_{nt}$  = first-order moment using LRFD or ASD load combinations, with the structure restrained against lateral translation, kip-in. (N-mm)

$M_r$  = required second-order flexural strength using LRFD or ASD load combinations, kip-in. (N-mm)

$P_{lt}$  = first-order axial force using LRFD or ASD load combinations, due to lateral translation of the structure only, kips (N)

$P_{nt}$  = first-order axial force using LRFD or ASD load combinations, with the structure restrained against lateral translation, kips (N)

$P_r$  = required second-order axial strength using LRFD or ASD load combinations, kips (N)



## تحلیل مرتبه دوم از طریق تحلیل مرتبه اول تشدید یافته

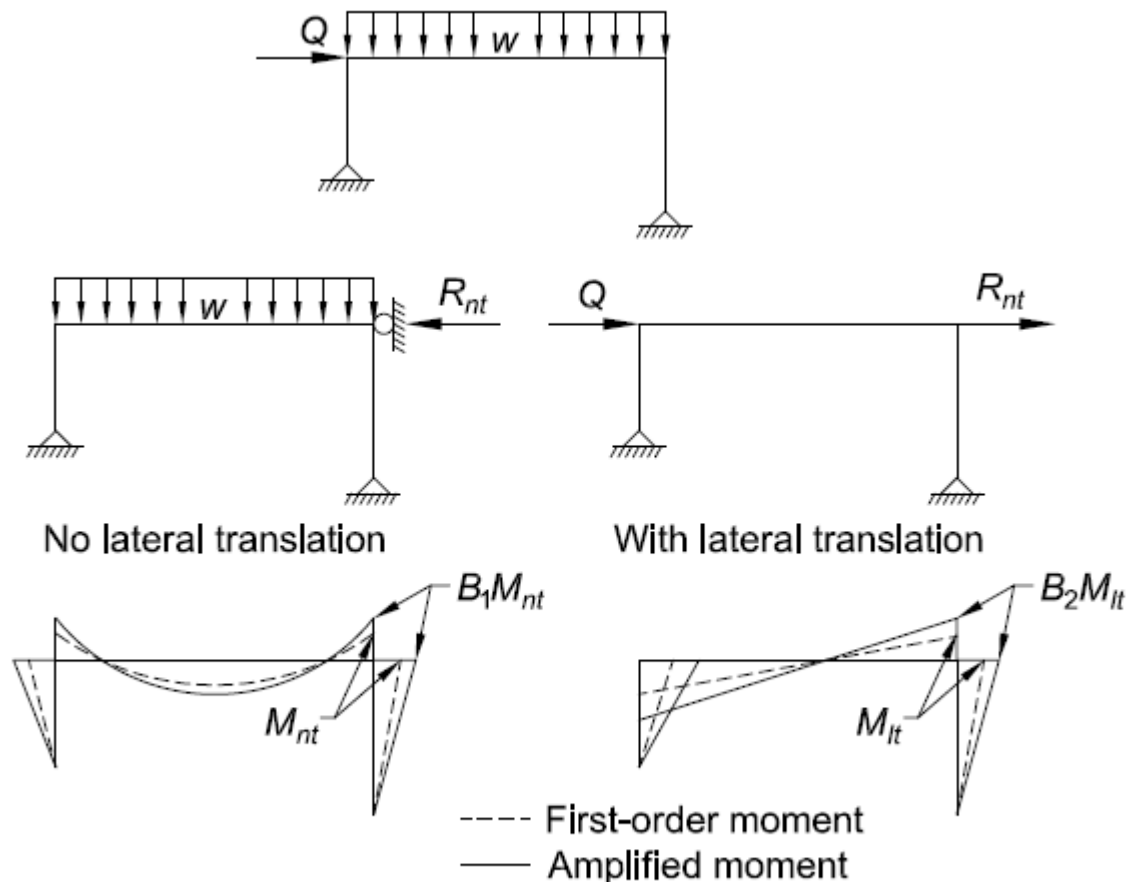
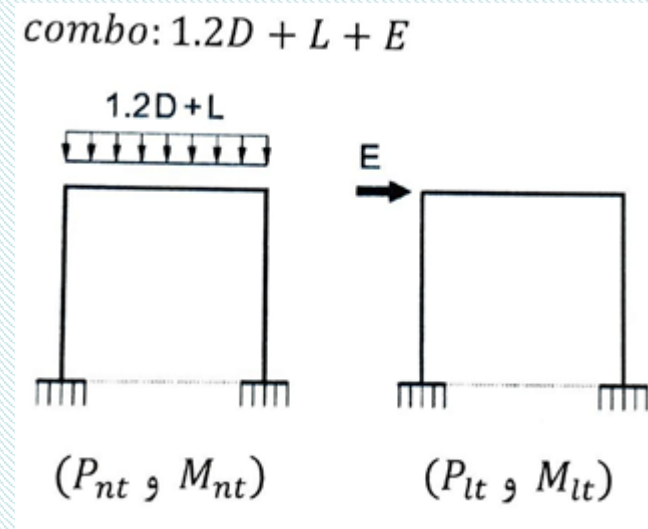
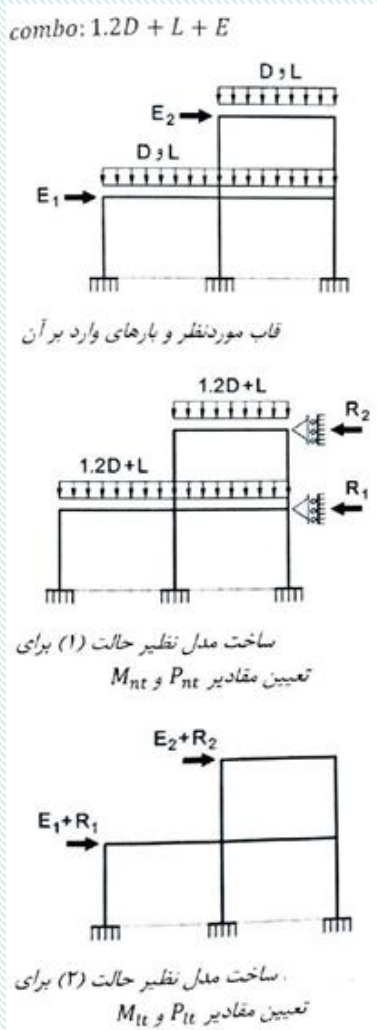


Fig. C-A-8.1. Moment amplification.



## تحلیل مرتبه دوم از طریق تحلیل مرتبه اول تشدید یافته



قاب متقارن و بارگذاری متقارن





## □ تحلیل الاستیک مرتبه دوم مبتنی بر روند تکرار

اساس این روش بر مبنای تشکیل ماتریس سختی هندسی است که پس از تشکیل آن ماتریس سختی کل به شرح زیر است.

$$[K] = [K]_E - [K]_G$$

ماتریس سختی الاستیک

ماتریس سختی هندسی که تابعی از نیروی محوری اعضا است

✓ روش تقریبی تکرار برای انجام تحلیل الاستیک مرتبه دوم

✓ روش تقریبی ساده شده تکرار برای انجام تحلیل الاستیک مرتبه دوم



## □ تحلیل الاستیک مرتبه دوم مبتنی بر روند تکرار

- روش تقریبی تکرار برای انجام تحلیل الاستیک مرتبه دوم
- روش تقریبی ساده شده تکرار برای انجام تحلیل الاستیک مرتبه دوم



## □ تحلیل الاستیک مرتبه دوم مبتنی بر روند تکرار

حل مثال



## تحلیل الزامات تحلیل و طراحی برای تامین پایداری سازه های فولادی

برای تامین پایداری سازه های فولادی و پایداری اعضای آن در تحلیل و طراحی باید چه الزاماتی رعایت شود. آیین نامه AISC این الزامات را در قالب دو روش اصلی زیر ارائه کرده است.

Direct Analysis Method (DAM)

روش تحلیل مستقیم ✓

Effective Length Method (ELM)

روش طول موثر ✓



## Effective factors on STABILITY

- (a) Flexural, shear and axial member deformations, and all other component and connection deformations that contribute to the displacements of the structure
- (b) Second-order effects (including  $P-\Delta$  and  $P-\delta$  effects)
- (c) Geometric imperfections
- (d) Stiffness reductions due to inelasticity, including the effect of partial yielding of the cross section which may be accentuated by the presence of residual stresses
- (e) Uncertainty in system, member, and connection strength and stiffness



## روش تحلیل مستقیم

Direct Analysis Method (DM)



## Direct Analysis Method (DM)

## الزامات روش تحلیل مستقیم □

- تحلیل سازه باید بر اساس یکی از روشهای تحلیل مرتبه دوم انجام گیرد.
- مقاومت فشاری اسمی اعضا برای انواع مختلف سیستم باربر جانبی (حتی قابهای مهارنشده) باید بر اساس ضریب طول موثر واحد ( $K=1$ ) تعیین گردد.
- نواقص هندسی اولیه اعضا شامل کجی و ناشاقولی اعضا از طریق اعمال یک بار جانبی اضافی در طبقات ساختمان اعمال می گردد.

$N_i = 0.002Y_i$ ; Notional load at level  $i$  where  $Y_i$  = gravity load at level  $i$  from each LRFD load combination being considered or 1.6 times the ASD load combination.



## Direct Analysis Method (DM)

## الزامات روش تحلیل مستقیم

■ برای در نظر گرفتن بار جانبی فرضی برای هر سازه باید چهار حالت بارگذاری Notional در نظر گرفته شود.

$NOXD : \left( \text{Base load case} = DEAD \text{ و } load \text{ Ratio} = 0.002 \text{ و } \odot Global X \right)$   
 $NOXL : \left( \text{Base load case} = LIVE \text{ و } load \text{ Ratio} = 0.002 \text{ و } \odot Global X \right)$   
 $NOYD : \left( \text{Base load case} = DEAD \text{ و } load \text{ Ratio} = 0.002 \text{ و } \odot Global Y \right)$   
 $NOYL : \left( \text{Base load case} = LIVE \text{ و } load \text{ Ratio} = 0.002 \text{ و } \odot Global Y \right)$

Combo 1: 1.4DL

Combo 2: 1.2DL + 1.6LL

Combo 3: 1.2DL + LL + EX

Combo 4: 1.2DL + LL - EX

Combo 5: 1.2DL + LL + EY

Combo 6: 1.2DL + LL - EY





## Direct Analysis Method (DM)

## الزامات روش تحلیل مستقیم

■ برای در نظر گرفتن بار جانبی فرضی برای هر سازه باید چهار حالت بارگذاری Notional در نظر گرفته شود.

■ مبحث ۱۰ اجازه می دهد در شرایطی که ضریب تشدید  $B_2$  با در نظر گرفتن سختی کاهش یافته اعضا کمتر از ۱.۷ باشد، نیروی جانبی  $N_i$  فقط در ترکیبات بارگذاری ثقیل اعمال شود.

$$B_2 \leq 1.7 \text{ یا } \frac{\Delta_{2nd}}{\Delta_{1st}} \leq 1.7$$

■ همچنین اگر میزان ناشاقولی اعضا در هر طبقه از میزان حداکثر مجاز آن (۰.۰۰۲ ارتفاع طبقه) کمتر باشد، میتوان ضریب مربوطه را به نسبت آن کاهش داد.

Combo 1:  $1.4DL + 1.4NOXD$

Combo 2:  $1.4DL - 1.4NOXD$

Combo 3:  $1.4DL + 1.4NOYD$

Combo 4:  $1.4DL - 1.4NOYD$

Combo 5:  $1.2DL + 1.6LL + 1.2NOXD + 1.6NOXL$

Combo 6:  $1.2DL + 1.6LL - 1.2NOXD - 1.6NOXL$

Combo 7:  $1.2DL + 1.6LL + 1.2NOYD + 1.6NOYL$

Combo 8:  $1.2DL + 1.6LL - 1.2NOYD - 1.6NOYL$

Combo 9:  $1.2DL + LL + EX$

Combo 10:  $1.2DL + LL - EX$

Combo 11:  $1.2DL + LL + EY$

Combo 12:  $1.2DL + LL - EY$



## Direct Analysis Method (DM)

## الزامات روش تحلیل مستقیم

■ کاهش سختی

Use reduced member properties  $EI^* = 0.8\tau_b EI$

Apply the  $\tau_b$  reduction as follows:

$\tau_b = 1.0$  when  $\alpha P_r / P_y \leq 0.5$

$\tau_b = 4(\alpha P_r / P_y) [1 - (\alpha P_r / P_y)]$  when  $\alpha P_r / P_y > 0.5$

where

$\alpha = 1.0$  (LRFD);  $\alpha = 1.6$  (ASD)

Note: In lieu of applying  $\tau_b < 1.0$ , it is permissible to apply additional additive notional loads,  $N_i$ , of  $0.001 Y_i$  at all levels.



## Direct Analysis Method (DM)

## الزامات روش تحلیل مستقیم

چنانچه استفاده از  $\tau_b = 1.0$  مدنظر باشد و  $\frac{\Delta_{2nd}}{\Delta_{1st}} \leq 1.7$  یا  $B_2 \leq 1.7$

کاهش سختی خمشی

Combo 1:  $1.4DL + 1.4 \times 1.5 NOXD$

Combo 2:  $1.4DL - 1.4 \times 1.5 NOXD$

Combo 3:  $1.4DL + 1.4 \times 1.5 NOYD$

Combo 4:  $1.4DL - 1.4 \times 1.5 NOYD$

Combo 5:  $1.2DL + 1.6LL + 1.2 \times 1.5 NOXD + 1.6 \times 1.5 NOXL$

Combo 6:  $1.2DL + 1.6LL - 1.2 \times 1.5 NOXD - 1.6 \times 1.5 NOXL$

Combo 7:  $1.2DL + 1.6LL + 1.2 \times 1.5 NOYD + 1.6 \times 1.5 NOYL$

Combo 8:  $1.2DL + 1.6LL - 1.2 \times 1.5 NOYD - 1.6 \times 1.5 NOYL$

Combo 9:  $1.2DL + LL + EX + 1.2 \times 0.5 NOXD + 0.5 NOXL$

Combo 10:  $1.2DL + LL + EX - 1.2 \times 0.5 NOXD - 0.5 NOXL$

Combo 11:  $1.2DL + LL - EX + 1.2 \times 0.5 NOXD + 0.5 NOXL$

Combo 12:  $1.2DL + LL - EX - 1.2 \times 0.5 NOXD - 0.5 NOXL$

Combo 13:  $1.2DL + LL + EY + 1.2 \times 0.5 NOYD + 0.5 NOYL$

Combo 14:  $1.2DL + LL + EY - 1.2 \times 0.5 NOYD - 0.5 NOYL$

Combo 15:  $1.2DL + LL - EY + 1.2 \times 0.5 NOYD + 0.5 NOYL$

Combo 16:  $1.2DL + LL - EY - 1.2 \times 0.5 NOYD - 0.5 NOYL$

بار جانبی اضافی در این قسمت به کلیه ترکیب بارها شامل ترکیب بارهای ثقلی و جانبی اعمال می شود.



## Direct Analysis Method (DM)

## الزامات روش تحلیل مستقیم □

- کاهش سختی اشاره شده در بند قبلی فقط برای تحلیل سازه جهت تعیین نیروهای داخلی کاربرد دارد و برای محاسبه دریافت، کنترل خیز اعضا و کنترل ارتعاش کاربردی ندارد.
- منظور نمودن آثار نواقص هندسی فقط جهت طراحی اعضای سازه کاربرد دارد و برای محاسبه دریافت، کنترل خیز اعضا و کنترل ارتعاش کاربردی ندارد.



## روش طول موثر

Effective Length Method (ELM)



## Effective Length Method (ELM)

## الزامات روش طول موثر

- کاربرد این روش در سازه هایی مجاز است که ضریب B2 برای کلیه طبقات سازه کوچکتر یا مساوی ۱.۵ است.
- بارهای ثقلی عمدتاً توسط ستونها، دیوارها یا قابهای قائم تحمل می شود.
- تحلیل سازه باید بر اساس یکی از روشهای تحلیل مرتبه دوم انجام گیرد.
- برای ستون های مهار شده  $K=1$  و برای ستونهای مهار نشده  $K>1$
- سختی خمشی اعضا (EI) کاهش نمی یابد.
- آثار نواقص هندسی مشابه روش تحلیل مستقیم لحاظ می گردد و بارهای جانبی فرضی فقط به ترکیبات بارگذاری ثقلی اضافه می شوند.



## Effective Length Method (ELM)

## الزامات روش طول موثر □

- مطابق AISC و مبحث ۱۰ هرگاه نسبت تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر ناشی از تحلیل مرتبه دوم به تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر ناشی از تحلیل مرتبه اول یا به طور تقریبی ضریب B2 در تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته، در کلیه طبقات هر نوع سیستم سازه ای کمتر یا مساوی ۱.۱ باشد، در این صورت کلیه قابها آن سیستم سازه ای را می توان به عنوان قاب مهار شده در نظر گرفت و ضریب طول موثر برای کلیه ستونها برابر واحد است.





## مقایسه الزامات دو روش



■ بر اساس هر دو روش برای در نظر گرفتن آثار مرتبه دوم تحلیل سازه باید از نوع تحلیل الاستیک مرتبه دوم باشد. به عبارت دیگر تحلیل سازه باید از نوع الاستیک مرتبه دوم مبتنی بر روند تکرار یا از نوع الاستیک مرتبه اول تشدید یافته باشد. پس از منظر نوع تحلیل دو روش هیچ گونه تفاوتی ندارند.

■ در روش تحلیل مستقیم تحلیل الاستیک مرتبه دوم و در نتیجه تعیین مقاومت های مورد نیاز باید بر اساس سختی های کاهش یافته اعضا صورت گیرد اما در عوض مقدار ضریب طول موثر برای اعضای کلیه سیستمها برابر واحد در نظر گرفته می شود. در حالیکه در روش طول موثر در تعیین مقاومت های مورد نیاز هیچ گونه کاهش سختی برای اعضا در نظر گرفته نمی شود ولی در عوض ضریب طول موثر اعضا باید بدست آید.

■ در روش طول موثر آثار غیرالاستیک اعضا به دلیل وجود تنشهای پسماند در مقاطع، در روند تحلیل الاستیک مرتبه دوم نادیده گرفته می شود در این روش ضریب طول موثر اعضا از طریق نمودارهای ژولیان و لرنس بر اساس یکسری شرایط انتهایی ایده آل تهیه شده است، بنابراین ممکن است در بسیاری از سازه های با هندسه پیچیده محاسبه این ضریب با تقریب زیادی همراه باشد.





## مقایسه الزامات دو روش

- میزان محافظه کار بودن دو روش به پارامترهای متعددی نظیر میزان حساسیت سازه مورد نظر به آثار مرتبه دوم، میزان سهم نیروی محوری و لنگر خمشی در معادلات اندرکنشی و نیز به میزان صحت مقدار ضریب طول موثر بستگی دارد.
- در سازه های دارای هندسه نسبتا منظم طراحی بر اساس روش تحلیل مستقیم به طور جزئی به نتایج مقرون به صرفه تری منجر می شود.
- اگر سازه مورد نظر دارای هندسه نسبتا پیچیده باشد و در روش طول موثر برای تعیین ضریب طول موثر از نمودار ژولیان-لرنس استفاده شده باشد، چون نتایج روش طول موثر ممکن است دارای خطاهای فاحشی باشد در نتیجه استفاده از روش تحلیل مستقیم قابل توصیه است.
- در سازه های دارای قابهای مهاربندی شده اختلاف نتایج دو روش کم است.
- اگر در روش طول موثر برای محاسبه  $K$  ستونها از تحلیلهای کمانشی (تحلیلهای مبتنی بر معادلات دیفرانسیل حاکم بر کمانش اعضا و تعیین موده های کمانشی اعضا) استفاده شود و ضرایب طول موثر ستونها از روی مود کمانش نظیر آنها به دست آمده باشد، آنگاه نتایج این روش قابل اعتماد خواهد بود.