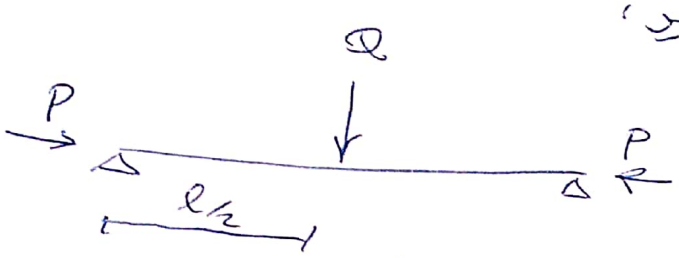
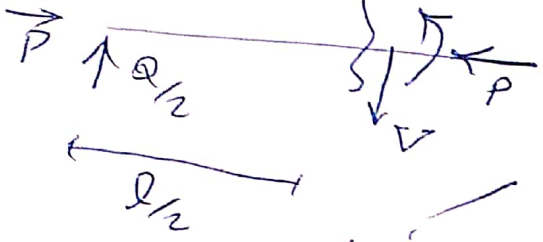
اثر نیروی محوری در لنگر خمشی:

ابتدا به اثر نیروی محوری توجه کنید:

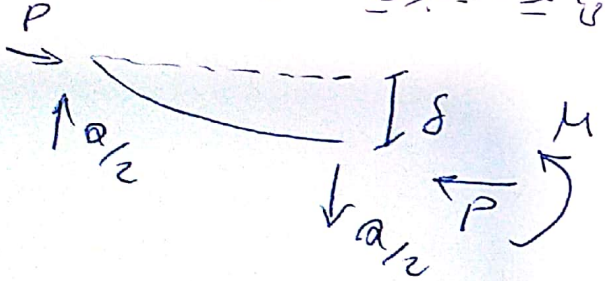




دیاگرام آزاد ←

اگر دیاگرام آزاد را با توجه به شکل تغییر شکل یافته رسم کنیم:

به علت نیروی Q تیر به میزان δ پایین می‌آید. بنابراین خواهیم داشت:



در این حالت لنگر آن نیز از مرتبه دوم می‌باشد.

$$M_{\text{ثانویه}} = \frac{Ql}{4} + P\delta = \frac{QL}{4}\left(1 + \frac{P\delta}{\frac{QL}{4}}\right) = \beta_1 \frac{QL}{4}$$

β_1

$$M_{\text{ثانویه}} = \beta_1 M_{\text{اولیه}}$$

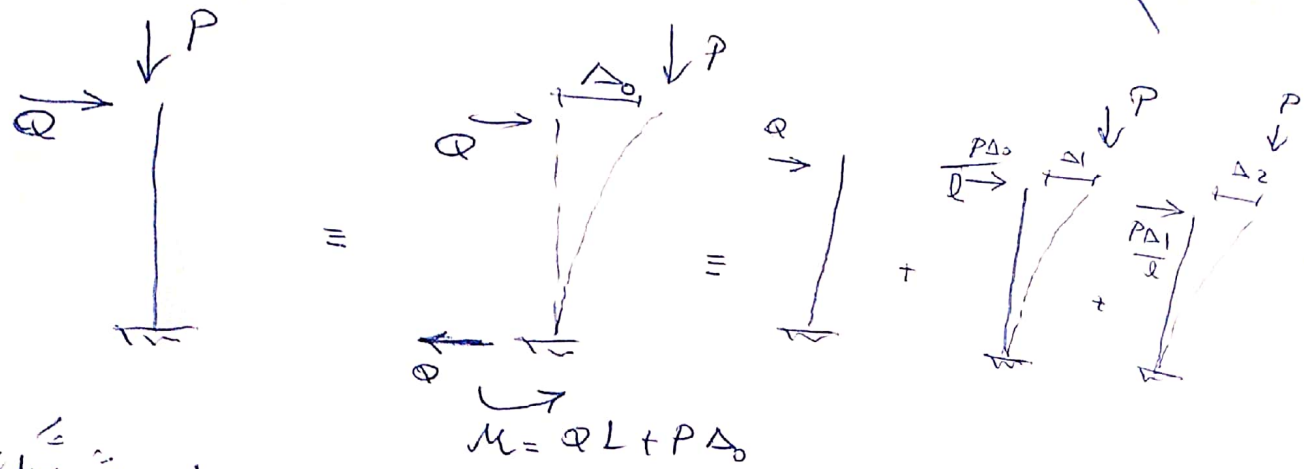
یعنی: علت نیروی فشاری، متقابلاً لنگر اولیه، بسط دهانه افزایش می‌یابد.

این شده با اثر $P\delta$ می‌شد که البته در این حالت ما برای تیر

نشان دادیم که در ستون‌ها آن بسته است. تغییر شکل جانبی ندارد.

Scanned by CamScanner

همین نکته برای استفاده از تغییر شکل جانبی نیز صادق است.



تغییر شکل جانبی = تغییر شکلی که باعث بازوی + تغییر شکل جانبی ستون

$\Delta = \Delta_0 + \Delta_1 + \Delta_2 + \cdots$ یعنی

از ۱ $\rightarrow$ $\Delta_0 = \frac{QL^3}{3EI} = \frac{Q}{K}$ $\quad K = \frac{3EI}{L^3}$ سختی

$\rightarrow$ $\Delta_0 = Q/K$, $\Delta_1 = \frac{P\Delta_0/l}{K}$, $\Delta_2 = \frac{P\Delta_1/l}{K}$

$\Delta_1 = \frac{P}{kl}\Delta_0$

$= \frac{P}{kl}\Delta_1$

$\Delta_2 = \frac{P}{kl} \times \frac{P}{kl}\Delta_0$

$\Delta_2 = \left(\frac{P}{kl}\right)^2 \Delta_0$

$\rightarrow$ $\Delta = \Delta_0 + \frac{P}{kl}\Delta_0 + \left(\frac{P}{kl}\right)^2\Delta_0 + \cdots$

$= \Delta_0 \left(1 + \frac{P}{kl} + \left(\frac{P}{kl}\right)^2 + \cdots\right)$

یعنی $\Delta = \Delta_0 \underbrace{(1 + q + q^2 + q^3 + \cdots)}_{\text{سری هندسی با قدرمشترک } q} = \frac{\Delta_0}{1-q}$

Scanned by CamScanner

$$\Delta_{نهایی} = \frac{\Delta_0}{1 - q_2} = \frac{\Delta_0}{1 - \frac{P}{KL}}$$

$$\Delta_{نهایی} = \frac{\Delta_0}{1 - \frac{P}{KL}} = \boxed{\frac{\Delta_0}{1 - \frac{P\Delta_0}{QL}}} = \beta_2 \Delta_0$$

$$\Delta_0 = \frac{Q}{K} \rightarrow \frac{\Delta_0}{Q} = \frac{1}{K} \rightarrow \frac{P\Delta_0}{QL} = \frac{P}{KL}$$

$$K = \frac{Q}{\Delta_0}$$

$$\Delta_{نهایی} = \beta_2 \Delta_0$$

در صورتیکه لنگرهای ثانویه ایجاد شده متناسب با جابجایی اولیه باشد

$$\rightarrow \quad M = \beta_2 M_1$$

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

روش تحلیل مرتبه دوم دقیق، تعداد لنگرها و نیروهای

(۱) در این روش به جای انجام تحلیل مرتبه دوم دقیق، با کمک ضرایب β_1 و β_2 بدست آمده از روش تحلیل مرتبه اول به تحلیل تشدید یافته می شوند. (برای ستون ها بدون تغییر مکان جانبی) و (برای ستون ها با تغییر مکان جانبی است، لازم است

(۲) از آنجا که ضریب β_1 در برگیرنده اثر $P-\delta$ و ضریب β_2 در برگیرنده اثر $P-\Delta$

Scanned by CamScanner

پیوست ۲

تحلیل مرتبه دوم از طریق تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدیدیافته

این پیوست الزامات روش تحلیل مرتبه دوم از طریق تحلیل مرتبه اول تشدید یافته را بیان می‌کند. همانگونه که در بند۱۰-۲-۱-۴-ب نیز عنوان شد، مطابق این مبحث استفاده از روش تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته به عنوان یک روش تحلیل مرتبه دوم مجاز است. مطابق الزامات این پیوست، نیروهای محوری فشاری و لنگرهای خمشی بدست آمده از تحلیل مرتبه اول، تشدید شده و مبنای طراحی قرار می گیرند.

مطالب این پیوست تحت عناوین زیر ارائه می گردد.

- پ-۲-۱ محدودیت تحلیل
- پ-۲-۲ نحوه محاسبه مقاومت‌های مورد نیاز

پ-۲-۱ محدودیت تحلیل

استفاده از این روش تحلیل فقط به سازه‌هایی که در آنها بارهای ثقلی عمدتاً توسط ستون‌ها، دیوارها یا قاب‌های قائم تحمل می‌شوند، محدود می‌گردد. برای سایر سازه‌ها، استفاده از این روش تحلیل به شرطی مجاز است که در آنها آثار $P\text{-}\Delta$ از طریق سایر روش‌های تحلیلی مرتبه دوم لحاظ شده باشد که برای این نوع سازه‌ها استفاده از این روش تحلیل برای لحاظ نمودن آثار $P\text{-}\delta$ مجاز است.

Scanned by CamScanner

پ-۲-۲ نحوه محاسبه مقاومت‌های مورد نیاز

در این روش تحلیل، مقاومت‌های خمشی مرتبه دوم مورد نیاز (M_u) و مقاومت‌های محوری مرتبه دوم مورد نیاز (P_u) برای تمامی اعضای کلیه سیستم‌های سازه‌ای باید از طریق روابط زیر تعیین گردند.

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \qquad (پ-۲-۱)$$

$$P_u = P_{nt} + B_2 P_{lt} \qquad (پ-۲-۲)$$

در روابط فوق:

B_1= ضریب تشدید برای در نظر گرفتن اثر P-δ. این ضریب باید برای هر عضو تحت اثر نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی و یا تحت اثر توام آنها در هر راستای خمشی عضو مطابق بخش پ-۲-۲-۱ به طور جداگانه محاسبه گردد. برای اعضایی که در معرض نیروی محوری فشاری قرار ندارند، این ضریب باید برابر یک منظور گردد.

B_2= ضریب تشدید برای در نظر گرفتن اثر P-Δ. این ضریب باید برای هر طبقه ساختمان و در هر راستای تغییر مکان جانبی طبقه مطابق بخش پ-۲-۲-۲ بطور جداگانه محاسبه گردد.

M_{nt}= لنگر خمشی مرتبه اول برای حالتی که از انتقال جانبی قاب جلوگیری شده باشد. (مطابق بخش پ-۲-۲-۳)

M_{lt}= لنگر خمشی مرتبه اول فقط به علت انتقال جانبی (مطابق بخش پ-۲-۲-۳)

M_u= مقاومت خمشی مرتبه دوم مورد نیاز.

P_{nt}= نیروی محوری مرتبه اول برای حالتی که از انتقال جانبی قاب جلوگیری شده باشد. (مطابق بخش پ-۲-۲-۳)

P_{lt}= نیروی محوری مرتبه اول فقط به علت انتقال جانبی (مطابق بخش پ-۲-۲-۳)

P_u= مقاومت محوری مرتبه دوم مورد نیاز

(۱) $M_{nt} = 1.4 M_D$ $\quad M_{lt}=0$

(۲) $M_{nt} = 1.2 M_D + 1.6 M_L$ $\quad M_{lt}=0$

(۳) $M_{nt} = 1.2 M_D + M_L$ $\quad M_{lt} = M_E$

$P_{nt} = 1.4 P_D$ $\quad P_{lt}=0$

$P_{nt} = 1.2 P_D + 1.6 P_L$ $\quad P_{lt}=0$

$P_{nt} = 1.2 P_D + P_L$ $\quad P_{lt} = P_E$

Scanned by CamScanner

پ-۲-۲-۱ ضریب تشدید B_1

ضریب تشدید B_1 برای اعضایی که در معرض نیروی محوری فشاری قرار دارند، با استفاده از رابطه زیر تعیین می گردد:

$$B_1 = \frac{C_m}{1-(P_u/P_{e1})} \qquad \text{(پ-۲-۳)}$$

که در آن:

C_m= ضریبی است که به شرح زیر در حالتی‌که از انتقال جانبی قاب جلوگیری شده است، تعیین میگردد.

(۱) برای تیر ستون‌های فاقد هر نوع بار جانبی در بین دو انتهای آنها در صفحهٔ خمش:

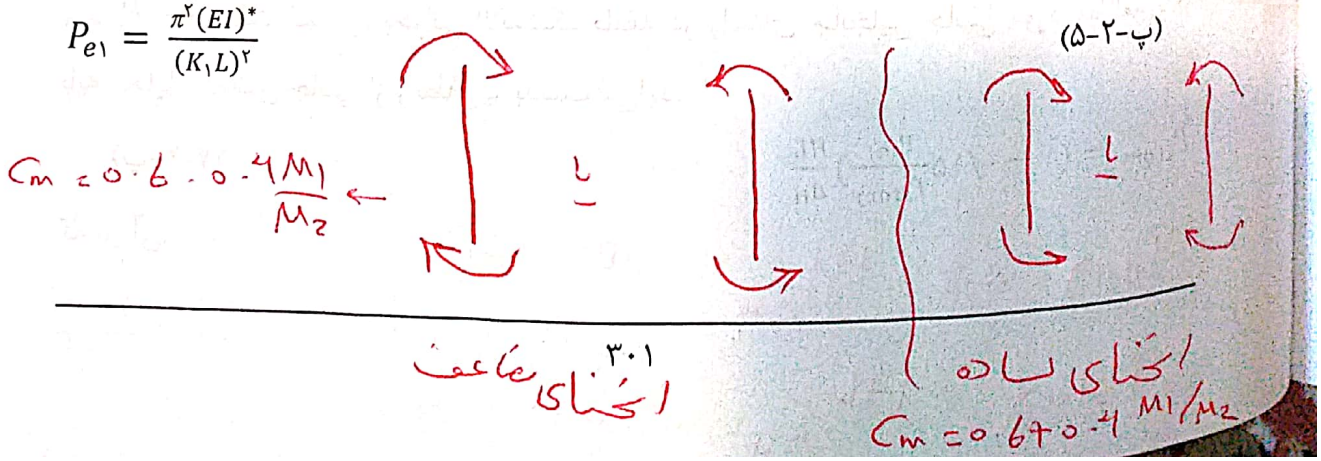
$$C_m = 0/6 - 0/4\,\frac{M_1}{M_2} \qquad \text{(پ-۲-۴)}$$

که در آن M_1 و M_2 لنگرهای خمشی مرتبه اول دو انتهای ناحیه مهار نشده عضو مورد نظر در صفحهٔ خمش بوده و $|M_1| \le |M_2|$ می‌باشد. در رابطه پ-۲-۴ در صورتی که انحنای عضو به علت لنگرهای M_1 و M_2 ساده باشد نسبت $\frac{M_1}{M_2}$ منفی و در صورتی‌که انحنای عضو به علت لنگرهای M_1 و M_2 مضاعف باشد، نسبت $\frac{M_1}{M_2}$ مثبت است.

(۲) برای تیر ستون هایی که در معرض بار جانبی در بین دو انتهای آنها در صفحهٔ خمش قرار دارند مقدار C_m را می‌توان به طور محافظه کارانه برابر یک فرض نمود مگر آن که تحلیل دقیق مقدار کمتری را تعیین نماید.

P_{e1}= مقاومت کمانش بحرانی الاستیک عضو در صفحه خمش بوده و با فرض عدم انتقال جانبی قاب از رابطهٔ زیر تعیین می‌گردد.

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 (EI)^*}{(K_1 L)^2} \qquad \text{(پ-۲-۵)}$$



Scanned by CamScanner

که در آن:

$(EI)^* =$
- صلبیت خمشی کاهش یافته عضو برای حالتی‌که برای تأمین الزامات طراحی از روش تحلیل مستقیم استفاده شده باشد ($EI^* = ۰/۸\tau_b EI$ که در آن τ_b در بخش ۱۰-۲-۱-۵ تعریف شده است)
- صلبیت خمشی کاهش نیافته (EI) برای حالتی‌که برای تأمین الزامات طراحی از روش طول موثر و یا روش تحلیل مرتبه اول استفاده شده باشد.

E= مدول الاسیتسیته فولاد

I= ممان اینرسی مقطع عضو در صفحه خمش

L= طول عضو

$K_۱$= ضریب طول موثر در صفحهٔ خمش و مقدار آن برای اعضای کلیه سیستم‌های سازه‌ای باید برابر یک در نظر گرفته شود.

P_u=مقاومت محوری مرتبه دوم مورد نیاز. در رابطه پ-۲-۳ برای محاسبه $B_۱$ مقدار P_u را می‌توان بر اساس تخمین مرتبه اول($P_u = P_{nt} + P_{lt}$) محاسبه کرد.

پ-۲-۲-۲ ضریب تشدید $B_۲$

ضریب تشدید $B_۲$ برای هر طبقه ساختمان و در هر راستای جابجایی جانبی از رابطهٔ زیر تعیین میگردد:

$$B_۲ = \frac{۱}{\left[۱-\frac{P_{story}}{P_{e\,story}}\right]} \geq ۱/۰ \qquad \text{(پ-۲-۶)}$$

که در آن:

P_{story} = مجموع بارهای قائم طبقه ناشی از ترکیب بارگذاری نظیر راستای جابجائی جانبی مورد مطالعه

$P_{e\,story}$ = مقاومت کمانش بحرانی الاستیک طبقه در راستای جابجایی جانبی مورد مطالعه و بر پایهٔ تحلیل کمانش جانبی از رابطهٔ زیر بدست می‌آید.

$$P_{story} = (۱ - ۰/۱۵\frac{P_{mf}}{P_{story}})\frac{HL}{\Delta_H} \qquad \text{(پ-۲-۷)}$$

که در آن:

Scanned by CamScanner

P_{mf}= مجموع بارهای قائم ستون‌های قاب‌های خمشی ناشی از ترکیب بارگذاری نظیر راستای جابجائی جانبی مورد مطالعه در طبقه مورد نظر. مقدار P_{mf} برای سیستم‌های ساختمانی ساده توام با مهاربندی یا دیوارهای برشی برابر صفر و برای سیستم‌های قاب خمشی و سیستم‌های دوگانه یا ترکیبی در صورتی‌که کلیه اتصالات گیردار باشند برابر P_{story} و برای سیستم‌های قاب خمشی و سیستم‌های دوگانه یا ترکیبی که در آنها برخی از قاب‌ها به صورت ثقلی طراحی شده باشند، مقدار P_{mf} برابر مجموع بارهای قائم ستون‌های قاب خمشی می‌باشد.

Δ_H= تغییر مکان جانبی نسبی طبقه مورد مطالعه ناشی از نیروهای جانبی بر پایهٔ تحلیل مرتبه اول و صلبیت خمشی $(EI)^*$. $(EI)^*$ پارامتری است که در رابطه پ-۲-۵ مورد استفاده قرار گرفته است. در مواردی‌که مقدار Δ_H برای قاب‌های مختلف در پلان طبقه متفاوت باشد، این مقدار باید برابر متوسط وزنی تغییرمکان جانبی نسبی قاب‌های مختلف (که نسبت به بارهای قائم قاب‌های مختلف سنجیده می‌شود) و یا به طور محافظه‌کارانه برابر تغییرمکان جانبی حداکثر طبقه در نظر گرفته شود.

H= برش طبقه ناشی از بارهای جانبی در راستای مورد مطالعه که در محاسبه Δ_H مورد استفاده قرار گرفته است.

L= ارتفاع طبقه

پ-۲-۲-۳ محاسبهٔ P_{nt} ، M_{nt} ، P_{lt} و M_{lt}

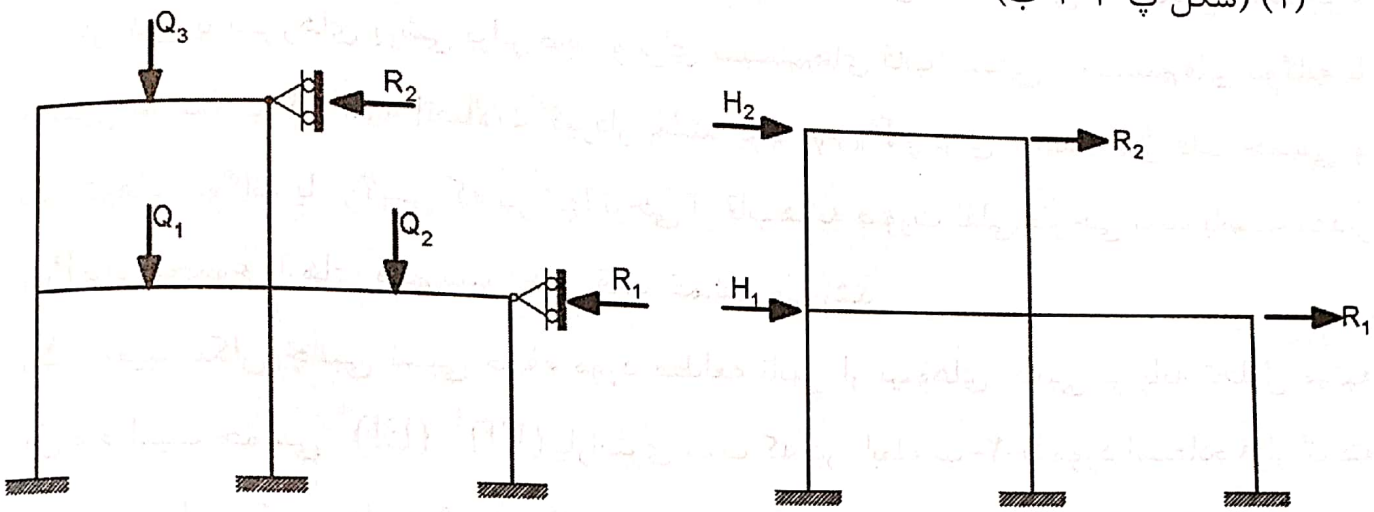
در قاب‌های نسبتاً متقارن و با بارگذاری نسبتاً متقارن، P_{nt} و M_{nt} را می‌توان از تحلیل مرتبه اول قاب در اثر بارهای ثقلی ضریبدار و M_{lt}وP_{lt} را از تحلیل مرتبه اول قاب در اثر بارهای جانبی ضریبدار بدست آورد. باید توجه داشت که در هر دو مرحله ضرایب بار باید متناسب با ضرایب به کار رفته در ترکیب بارگذاری نظیر راستای تغییرمکان جانبی مورد مطالعه اختیار شود.

در قاب‌های با هندسه و یا با بارگذاری نامتقارن چون در هنگام تحلیل برای بارهای قائم ضریبدار امکان انتقال جانبی برای قاب وجود دارد، لذا در اینگونه قاب‌ها تحلیل باید به شرح زیر در دو مرحله صورت گیرد.

(۱) تحلیل قاب برای بارهای قائم ضریبدار با فرض عدم انتقال جانبی در قاب (شکل پ-۲-۲-الف)

Scanned by CamScanner

(۲) تحلیل قاب برای بارهای قائم ضریبدار به همراه واکنش‌های تکیه‌گاهی بدست آمده از مرحله (۱) (شکل پ-۲-۲-ب)

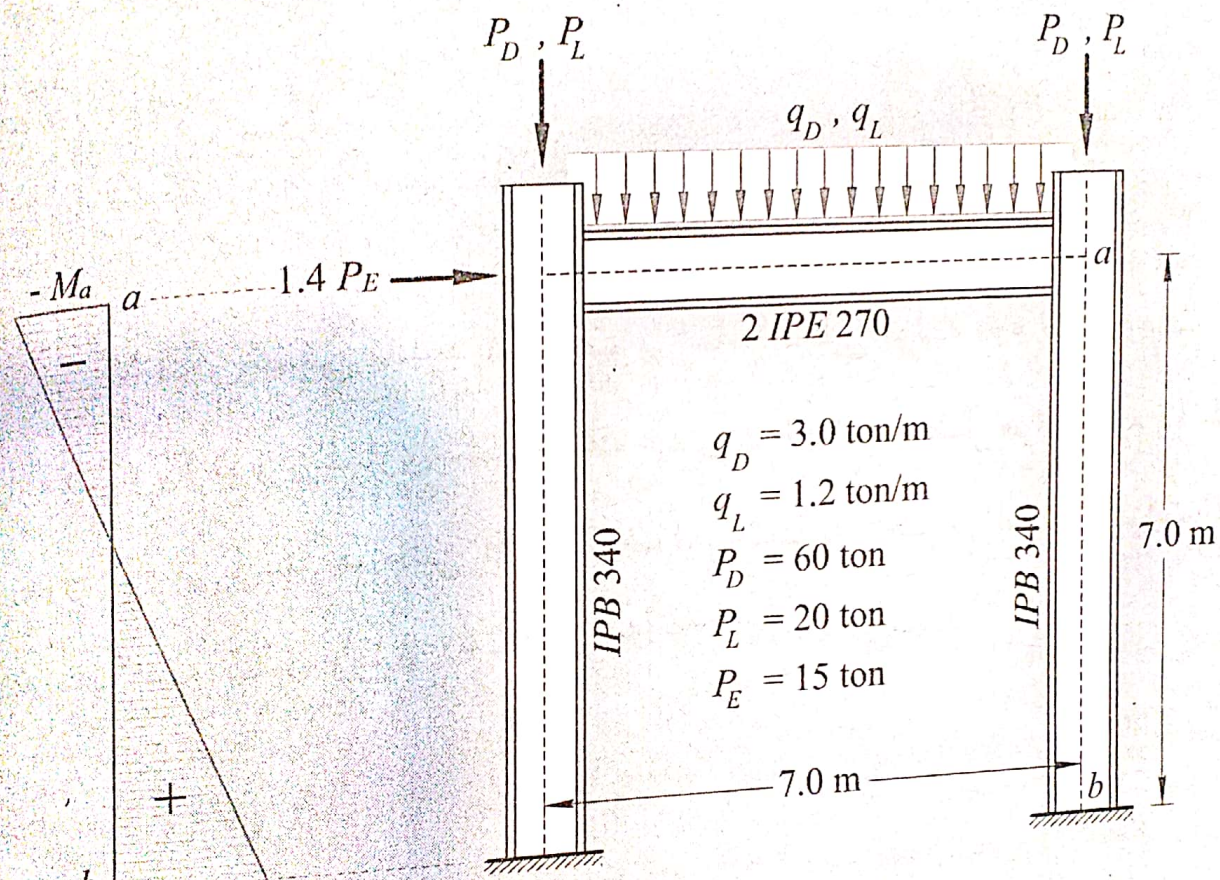


شکل پ-۲-۲ مراحل مختلف تحلیل مرتبه اول قاب برای محاسبه P_{nt} ، M_{nt} ، P_{lt} و M_{lt}

Scanned by CamScanner

مثال ۶-۴:

مقادیر مقاومت خمشی و فشاری مورد نیاز ستون ab در شکل ۶-۱۷ را بر اساس روش تحلیل مرتبه اول تشدید یافته تعیین کنید. مقادیر لنگرهای خمشی و نیروهای فشاری عضو بر اساس تحلیل مرتبه اول در جدول ۶-۳ نشان داده شده است. $E = ۲/۰۴ \times ۱۰^{۶}\ kg/cm^{۲}$



(ب) تغییرات لنگر عضو ab

(الف) شکل سازه

شکل ۶-۱۷- مشخصات سازه مثال ۶-۴

جدول ۶-۳- نتایج تحلیل مرتبه اول سازه مثال ۶-۴

	M_a(t.m)	M_b(t.m)	P(ton)
بار مرده	۸/۱۷	۴/۰۸	۷۰/۵
بار زنده	۳/۲۷	۱/۶۳	۲۴/۲
بار زلزله	۲۲/۵	۳۰	۶/۴۳

حل:

مقادیر لنگرهای انتهایی عضو ab و نیروی فشاری آن بر اساس ترکیبات مختلف بدین صورت محاسبه می‌شود:

Scanned by CamScanner

(۱) : ۱/۴ D : $M_{u,a} = ۱/۴ \times ۸/۱۷ = ۱۱/۴۴$ t.m

$M_{u,b} = ۱/۴ \times ۴/۰۸ = ۵/۷۱$ t.m

$P_u = ۱/۴ \times ۷۰/۵ = ۹۸/۷$ ton

(۲) : ۱/۲ D + ۱/۶ L : $M_{u,a} = ۱/۲ \times ۸/۱۷ + ۱/۶ \times ۳/۲۷ = ۱۵/۰۴$ t.m

$M_{u,b} = ۱/۲ \times ۴/۰۸ + ۱/۶ \times ۱/۶۳ = ۷/۵۰$ t.m

$P_u = ۱/۲ \times ۷۰/۵ + ۱/۶ \times ۲۴/۲ = ۱۲۳/۳$ ton

(۳) : ۱/۲ D + L + E : $M_{u,a} = ۱/۲ \times ۸/۱۷ + ۳/۲۷ + ۲۲/۵ = ۳۵/۵۷$ t.m

$M_{u,b} = ۱/۲ \times ۴/۰۸ + ۱/۶۳ + ۳۰ = ۳۶/۵۳$ t.m

$P_u = ۱/۲ \times ۷۰/۵ + ۲۴/۲ + ۶/۴۳ = ۱۱۵/۲$ ton

با توجه به تقارن شکل سازه، مقادیر M_{nt} و P_{nt} نیروهای داخلی ناشی از بارهای ثقلی و M_{lt} و P_{lt} ناشی از بار جانبی زلزله می‌باشند. بدین ترتیب می‌توان این مقادیر را در هر یک از ترکیبات بار مطابق جدول ۶-۴ تعیین نمود.

جدول ۶-۴- مقادیر M_{nt} و P_{nt} و M_{lt} و P_{lt} در سازه مثال ۶-۴

ترکیب بار	نقطه a		نقطه b		P_{nt}	P_{lt}
	M_{nt}	M_{lt}	M_{nt}	M_{lt}		
۱/۴ D	۱۱/۴۴	۰	۵/۷۱	۰	۹۸/۷	۰
۱/۲ D + ۱/۶ L	۱۵/۰۴	۰	۷/۵۰	۰	۱۲۳/۳	۰
۱/۲ D + L + E	۱۳/۰۷	۲۲/۵	۶/۵۳	۳۰	۱۰۸/۸	۶/۴

برای محاسبه ضریب تشدید لنگر ناشی از اثرات $P-\delta$، از رابطه (۶-۳۶) استفاده می‌شود. به همین منظور ابتدا P_{e1} بر اساس رابطه (۶-۳۷) محاسبه می گردد.

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 \times ۲/۰۴ \times ۱۰^6 \times ۳۶۶۶۰}{۷۰۰^2} = ۱۵۰۶ \times ۱۰^3 \text{ kg}$$

ضریب C_m به کمک رابطه (۶-۲۱) در هر یک از ترکیبات بارگذاری قابل محاسبه است. دقت شود که با توجه به نمودار تغییرات لنگر عضو ab در شکل ۶-۱۷-ب نسبت $\frac{M_1}{M_2}$ باید مثبت فرض گردد.

Scanned by CamScanner

$$P_{e\,story} = \frac{0.85\,H\,L}{\Delta_H}$$

محاسبه ضریب β_2

$\Delta_H = 0.0055\,L$

$H = 21$ ton

برش طبقه

$$\longrightarrow P_{es} = \frac{0.85 \times 21 \times 7}{0.0055 \times 7} = 3245 \text{ ton}$$

$$P_{story} = 1.2 \times (\underbrace{3 \times 7}_{\text{بار گسترده}} + \underbrace{2 \times 60}_{\text{بار متمرکز}}) + 2 \times 20 + \underbrace{7 \times 1.2}_{\text{بار دیوار}} = 217.6$$

بار مرده

$$\beta_2 = \frac{1}{1 - \frac{P_{story}}{P_{e\,story}}} = \frac{1}{1 - \frac{217.6}{3245}} = 1.07$$

بارگذاری ثقلی $P = P_{nt} + \beta_2 P_{lt}$

ترکیب بار (3) $= 108.8 + 1.07 \times 6.4 = 115.65$

$$M_a = \beta_1 M_{nt} + \beta_1 M_{lt}$$

$$M_a = 1 \times 13.07 + 1.07 \times 22.5 = 37.15$$

$$M_b = 1 \times 6.53 + 1.07 \times 30 = 38.6$$

سایر ترکیبات به همین ترتیب

Scanned by CamScanner

ترکیب بار (۱): $C_m = ۰/۶ - ۰/۴ \times \left(\frac{۵/۷۱}{۱۱/۴۴}\right) = ۰/۴$

رابطه (۶-۳۶) $\Rightarrow B_۱ = \frac{۰/۴}{۱ - \frac{۹۸/۷}{۱۵۰۶}} = ۰/۴۲۸ < ۱ \Rightarrow B_۱ = ۱$

ترکیب بار (۲): $C_m = ۰/۶ - ۰/۴ \times \left(\frac{۷/۵}{۱۵/۰۴}\right) = ۰/۴$

رابطه (۶-۳۶) $\Rightarrow B_۱ = \frac{۰/۴}{۱ - \frac{۱۲۳/۳}{۱۵۰۶}} = ۰/۴۳۶ < ۱ \Rightarrow B_۱ = ۱$

ترکیب بار (۳): $C_m = ۰/۶ - ۰/۴ \times \left(\frac{۳۵/۵۷}{۳۶/۵۳}\right) = ۰/۲۱۱$

رابطه (۶-۳۶): $B_۱ = \frac{۰/۲۱۱}{۱ - \frac{۱۱۵/۲}{۱۵۰۶}} = ۰/۲۲۸ < ۱ \Rightarrow B_۱ = ۱$

مشاهده می‌شود که در هر سه ترکیب بار ضریب $B_۱$ کوچک‌تر از یک به دست آمده و

به همین دلیل برابر با یک فرض

Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

$P_{estory} = \dfrac{0.85\,H\,L}{\Delta_H}$ ضریب β_2 برای

$\Delta_H = 0.0055\,L$

$H = 21$ ton $\rightarrow$ $P_{es} = \dfrac{0.85 \times 21 \times 7}{0.0055 \times 7} = 3245$ ton

برش پایه

$P_{story} = 1.2 \times (\underbrace{3 \times 7}_{\text{بارگسترده}} + \underbrace{2 \times 6.0}_{\text{بار متمرکز}}) + 2 \times 2.0 + 7 \times 1.2 = 217.6$

بار مرده

بار زنده

$\beta_2 = \dfrac{1}{1 - \dfrac{P_{story}}{P_{estory}}} = \dfrac{1}{1 - \dfrac{217.6}{3245}} = 1.07$

بارگذاری پایه $P = P_{nt} + \beta_2 P_{lt}$

ترکیب بار (3) $= 108.8 + 1.07 \times 6.4 = 115.65$

$M_a = \beta_1 M_{nt} + \beta_2 M_{lt}$

$M_a = 1 \times 13.07 + 1.07 \times 22.5 = 37.15$

$M_b = 1 \times 6.53 + 1.07 \times 30 = 38.6$

سایر ترکیبات

همین روش

Scanned by CamScanner