

بسمه تعالی

پروژه ساختمانهای بتنی

محمد رضا سلطانی

پاییز ۹۲

محاسبه بار زلزله

تاریخچه بار استاتیکی معادل

پس از زلزله ۱۹۰۸ در مسینارچیو ایتالیا، تیمی مرکب از مهندسان مأموریت یافتند که ساختمان های تخریب شده را مطالعه کرده و علت را جویا شوند. در نتیجه تحقیقات صورت گرفته رابطه زیر را بیان کردند.

$$V = C.W$$

در این رابطه، V نیروی برشی افقی پایه ساختمان ناشی از زلزله، W وزن ساختمان و C ضریب زلزله می باشد.

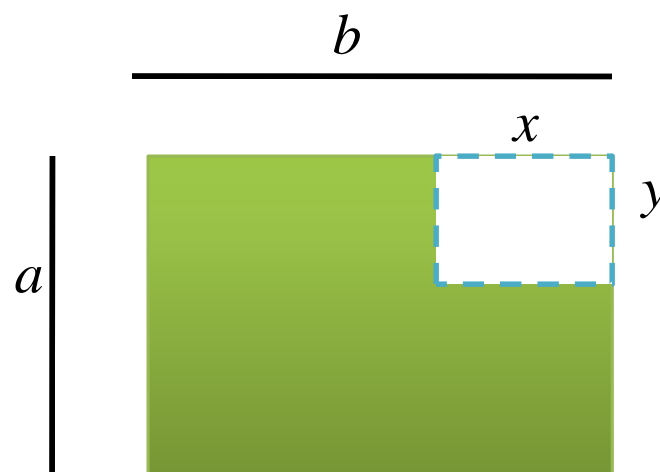
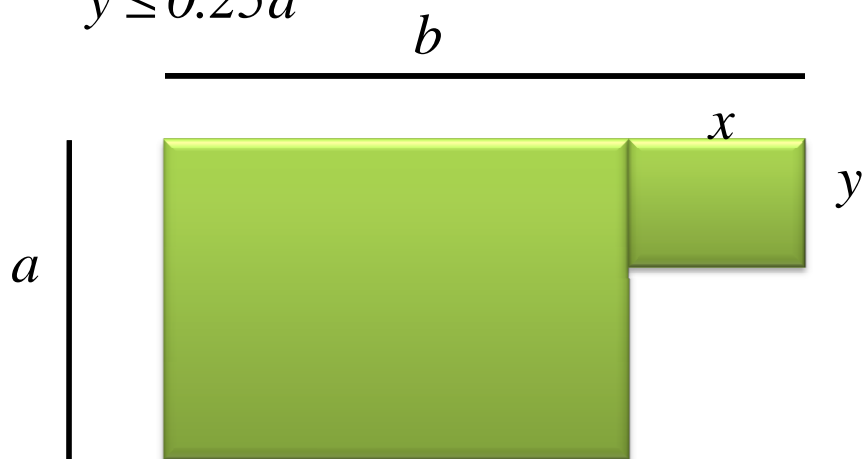
محدوده کاربرد بار استاتیکی معادل

(۱) منظم بودن ساختمان در پلان

الف) پلان ساختمان دارای شکل متقارن و یا تقریباً متقارن نسبت به محورهای اصلی ساختمان باشد. و در صورت فرورفتگی و پیش آمدگی در پلان، اندازه آن در هر امتداد از ۲۵ درصد بعد خارجی ساختمان در آن امتداد تجاوز نکند.

$$x \leq 0.25b$$

$$y \leq 0.25a$$



ب) در هر طبقه بین مرکز جرم و مرکز سختیدر هر یک از دو امتداد عمود برهم محوره‌های اصلی ساتمان از ۲۰ درصد بعد ساختمان در آن امتداد بیشتر نباشد.

ج) تغییرناگهانی در سختی دیافراگم هر طبقه نسبت به طبقه مجاور، از ۵۰ درصد بیشتر نباشد؛ و مجموع سطح بازشو از ۵۰ درصد سطح کل دیافراگم تجاوز نکند.

د) در مسیر انتقال نیروی جانبی ساختمان به زمین، انقطاعی در سیستم باربر جانبی به زمین در طبقه موجود نباشد.
و) حداکثر تغییرمکان نسبی گوشه (انتهای) ساختمان در هر طبقه که با احتساب پیچش تصادفی محاسبه شده است، نسبت به متوسط تغییرمکان نسبی دو انتهای ساختمان در آن طبقه، بیش از ۲۰ درصد اختلاف نداشته باشد.

مرکز سختی: مرکز های سختی برای یک سازه چند طبقه (بافرض رفتار الاستیک خطی) عبارتند از: نقاطی در سطوح طبقه ها که وقتی برآیند نیروهای جانبی حاصل از زلزله در آن نقطه ها فرض شود. چرخشی در هیچ یک از طبقه های سازه ایجاد نشود.

دیافراگم: سیستم افقی یا تقریبا افقی سقف است که نیروهای جانبی را به اجزای مقاوم قائم منتقل می کند.

۲) منظم بودن ساختمان در ارتفاع

الف) توزیع جرم در ارتفاع ساختمان تقریباً یکنواخت باشد؛ به طوری که در دو طبقه متوالی، تغییر جرم طبقه بالاتر (به استثنای بام و خرپشته بام) نسبت به جرم طبقه زیرین، از ۵۰ درصد بیشتر نباشد.

ب) ساختمان فاقد طبقه نرم باشد. بدین منظور لازم است که سختی جانبی در هیچ طبقه ای کمتر از ۷۰ درصد سختی جانبی طبقه روی خود و یا کمتر از ۸۰ درصد متوسط سختی سه طبقه روی خود نباشد.

ج) ساختمان فاقد طبقه ضعیف باشد. بدین منظور لازم است که مقاومت جانبی هیچ طبقه ای از ۸۰ درصد مقاومت جانبی طبقه روی خود کمتر نباشد. مقاومت جانبی هر طبقه برابر با مجموع مقاومت جانبی تمام اجزای مقاومی است که برش طبقه را در جهت مورد نظر تحمل میکنند.

سختی جانبی: طبقه برابر با مجموع سختی جانبی عضوهای قائم باربر جانبی است. برای محاسبه این سختی ها میتوان تغییر مکان جانبی واحدی را در سقف طبقه مورد نظر وارد کرد؛ در حالی که تمام طبقه های زیرین بدون حرکت باقی بماند.

مقاومت جانبی: عبارت است از ظرفیت نهایی برای تحمل نیروهای جانبی

شرایط لازم جهت تحلیل استاتیکی معادل

(۱) ساختمان منظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از تراز پایه

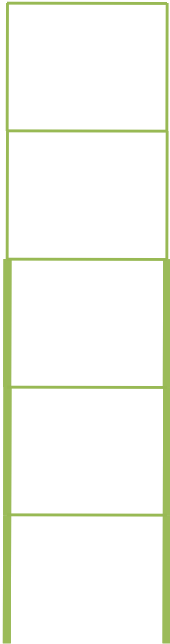
(۲) ساختمان های نامنظم تا ۵ طبقه و یا با ارتفاع کم تر از ۱۸ متر از تراز پایه

(۳) ساختمان هایی که در آنها سختی جانبی قسمت فوقانی به طور قابل ملاحظه ای کمتر از سختی جانبی قسمت تحتانی باشد، به شرط آن که:

الف) هر یک از دو قسمت سازه به تنهایی منظم باشد

ب) سختی متوسط طبقه های قسمت تحتانی حداقل ۱۰ برابر سختی متوسط طبقه های فوقانی باشد

ج) زمان تناوب اصلی نوسان کل سازه بیش تر از $1/1$ برابر زمان تناوب اصلی قسمت فوقانی نباشد؛ با فرض این که قسمت فوقانی، جدا در نظر گرفته شده و پای آن گیردار فرض شود.



روش تحلیل استاتیک معادل

روش تحلیل استاتیکی معادل، ساده ترین روش در برآورد بار زلزله بر یک ساختمان است

$$V = C.W \geq V_{min}, \quad V_{min} = 0.1AIW$$

ضریب زلزله، C از رابطه زیر تعیین میشود.

$$C = \frac{ABI}{R}$$

که در رابطه بالا، A نسبت شتاب مبنای طرح (نسبت شتاب زلزله به شتاب ثقل

B ضریب بازتاب ساختمان

I ضریب اهمیت ساختمان

R ضریب رفتار ساختمان میباشد

مراحل انجام روش تحلیل استاتیکی معادل را میتوان در گام های زیر خلاصه نمود:

- ۱- سیستم بابر جانبی ساختمان در دو جهت عمود بر هم مشخص شود.
- ۲- وزن ساختمان به تفکیک طبقه ها تعیین شده، و وزن کل آن محاسبه می شود.
- ۳- ضریب زلزله و به دنبال آن نیروی برشی پایه در هر دو امتداد ساختمان محاسبه شود.
- ۴- نیروی برشی پایه بین طبقه ها تقسیم شود.
- ۵- نیروی برشی هر طبقه بین اجزای مقاوم آن طبقه تقسیم شود؛ اثر لنگر پیچشی نیز لحاظ گردد.
- ۶- ساختمان در مقابل لنگر واژگونی کنترل شود.

عناصر سازه ای باربر جانبی

الف) دیوار برشی

ب) دیوار برشی با مصالح بنایی مسلح

ج) مهاربندها (بادبندها)

د) قاب خمشی

سیستم باربر جانبی

۱- سیستم دیوارهای باربر.

۲- سیستم قاب های ساختمانی ساده

۳- سیستم قاب خمشی

۴- سیستم دوگانه یا ترکیبی

الف) بارهای قائم عمدتاً توسط قاب های ساختمانی تحمل می شوند

ب) بارهای جانبی توسط عمل توأم مجموعه ای از دیوارهای برشی یا قاب های مهاربندی شده به همراه قاب های خمشی تحمل می شود.

ج) قاب های خمشی قادر هستند حداقل ۲۵ درصد بار جانبی وارد بر ساختمان را مستقلاً تحمل کنند. استاندارد ۲۸۰۰ قید میکند، در صورتی که این الزام برآورده نشود. سیستم به صورت دوگانه محسوب نشده و از نوع سیستم قاب ساختمانی ساده محسوب میشود.

۵- سایر سیستم های جانبی : به عنوان نمونه از سیستم خرپای فضایی و یا سیستم پوسته ای و یا گنبدی شکل نام برد.

نکته: براساس استاندارد 2800، در سیستم دو گانه اگر ساختمان کوتاهتر از 30 متر و یا کمتر از 8 طبقه باشد، به جای بررسی اثر توأم قاب و دیوار برشی و توزیع بار جانبی به نسبت سختی عناصر باربر جانبی، می توان دیوارهای برشی و یا قاب های مهاربندی شده را برای تحمل 100 درصد بار جانبی، و مجموعه قابهای خمشی را برای تحمل 30 درصد از بار جانبی طراحی نمود

لنگر پیچشی ناشی از نیروهای جانبی زلزله

لنگر پیچشی ناشی از فاصله افقی میان مرکزهای جرم و سختی طبقات می باشد. برآیند نیروی زلزله در هر طبقه به

$$T_i = \sum_{j=i}^n e_{ij} F_j$$

مرکز جرم آن طبقه وارد می شود. که از رابطه زیر قابل محاسبه است.

در این رابطه، T_i لنگر پیچشی طبقه i ام، F_j نیروی زلزله در تراز سقف طبقه j ام و e_{ij} فاصله افقی امتداد نیروی F_j (مرکز جرم طبقه j) از مرکز سختی طبقه i ام میباشد.

توجه شود که حتی اگر مرکزهای جرم و سختی طبقه هم بر یکدیگر منطبق بوده و خروج از مرکزیتی بین نقطه اثر نیروی جانبی ناشی از زلزله و نقطه اثر مقاومت جانبی طبقه وجود نداشته باشد، ممکن است در اثر عواملی مانند مولفه پیچشی حرکت زمین، خطاهای محاسباتی، برون مرکزی بارهای زنده و دیگر علل غیر قابل پیش بینی پیچش اتفاقی ایجاد شود. به همین دلیل آیین نامه ها معمولاً یک برون مرکزی اتفاقی برای هر طبقه به مقدار ۵ درصد بعد ساختمان و در امتداد عمود بر نیروی جانبی در نظر می گیرند.

$$T_i = \sum_{j=i}^n (e_{ij} + e_{aj}) F_j$$

استداندارد ۲۸۰۰ قید میکند که اگر حداکثر تغییر مکان نسبی طبقه در گوشه انتهایی ساختمان و با احتساب پیچش تصادفی، بیش از ۲۰ درصد با متوسط تغییر مکان نسبی دو انتهای ساختمان در آن طبقه تفاوت داشته باشد (یکی از حالت‌های نامنظمی در پلان)، لازم است برون مرکزی اتفاقی حداقل، در ضریب بزرگ نمایی A_j به صورت زیر ضرب شود.

$$A_j = \left(\frac{\Delta_{max}}{1.2\Delta_{ave}} \right)^2 ; 1.0 \leq A_j \leq 3.0$$

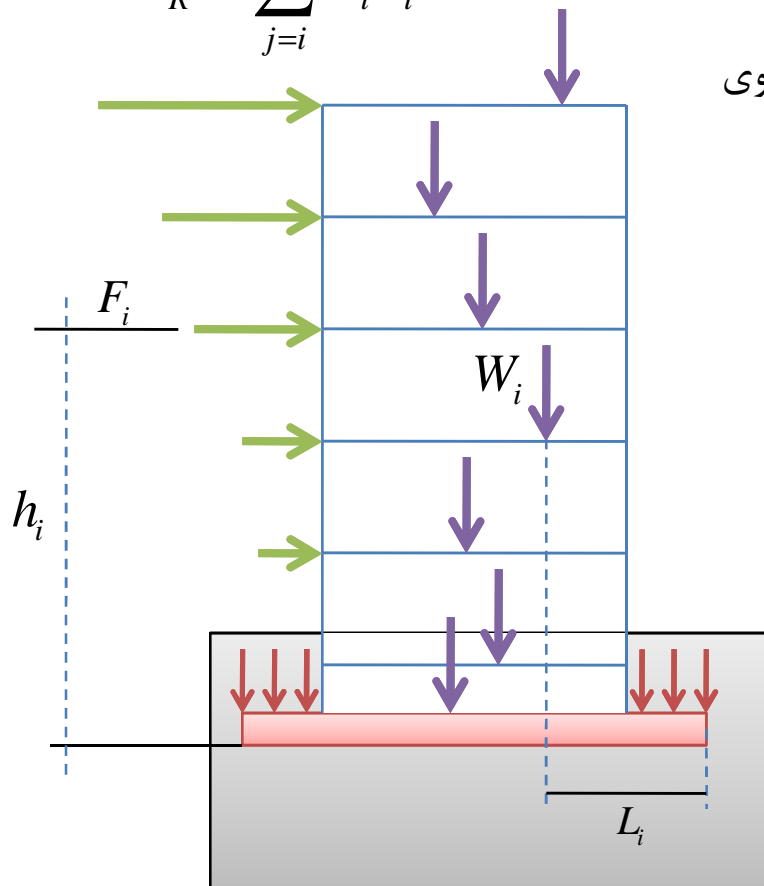
محاسبه لنگر واژگونی

محاسبه لنگر محرک

محاسبه لنگر مقاوم

$$M_o = \sum_{j=i}^n F_i h_i$$

$$M_R = \sum_{j=i}^n W_i L_i$$



براساس آیین نامه، ضریب اطمینان در مقابل واژگونی باید بزرگتر یا مساوی

۱/۷۵ باشد.

$$\frac{M_R}{M_o} = 1.75$$

مثال

پلان ساختمان مسکونی طبقه ای در تهران مطابق شکل زیر است. ارتفاع طبقات ۳ متر است و در دو راستای x و y از قاب خمشی فولادی با شکل پذیری کم (قاب خمشی فولادی معمولی) استفاده شده است. بارهای مرده و زنده طبقات به صورت زیر است.

$$D_L = 550 \text{ daN/m}^2$$

بام

$$D_L = 500 \text{ daN/m}^2$$

طبقات

$$L_L = 150 \text{ daN/m}^2$$

بام

$$L_L = 200 \text{ daN/m}^2$$

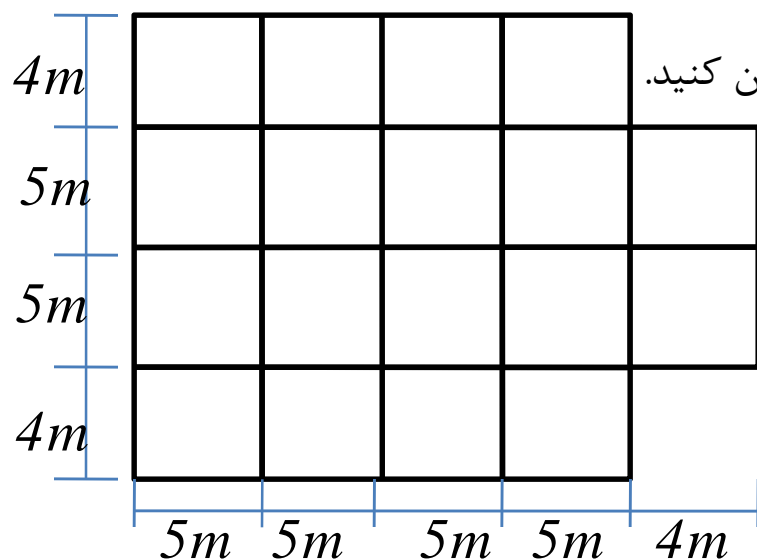
طبقات

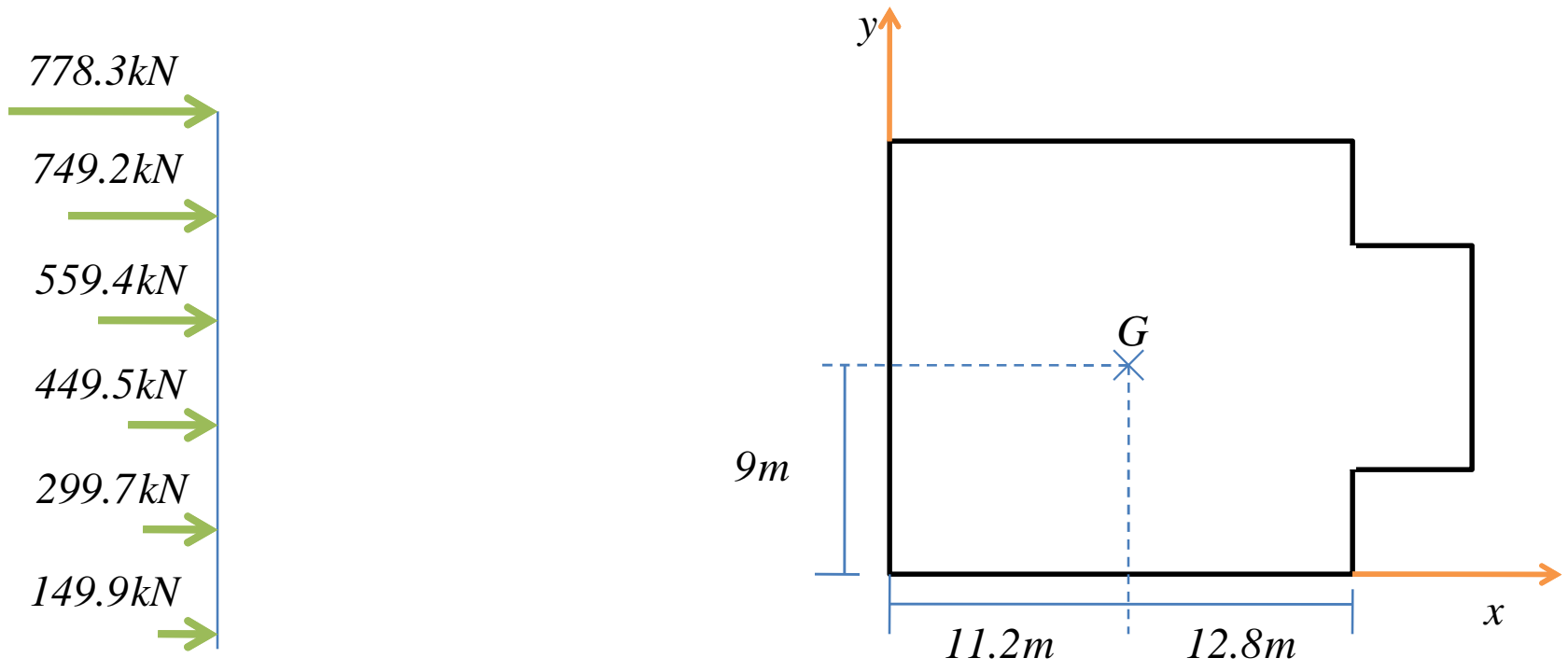
تیغه بندی معادل 130 daN/m^2 در نظر گرفته شده است.

الف) برش پایه ناشی از زلزله در راستای محور x را تعیین کنید.

ب) نیروی طبقات و برش طبقات ناشی از زلزله در راستای محور x را تعیین کنید.

ج) کنترل واژگونی ساختمان در راستای محور x را انجام دهید.





طبقه	h_i	W_i	$W_i h_i$	F_i	V_i
6	18	2320	41760	778.3	778.3
5	15	2680	40200	749.2	1527.5
4	12	2680	32160	599.4	2126.9
3	9	2680	24120	449.5	2576.4
2	6	2680	16080	299.7	2876.1
1	3	2680	8040	149.9	3023
Σ			162360	3026	

مثال

در مثال قبل، در حالتی که نیروی زلزله در جهت X ها اثر کند، لنگر پیچشی ناشی از زلزله در طبقه هم کف را جهت منظور کردن در محاسبات زلزله محاسبه کنید. فرض کنید فاصله بین مرکز سختی ساختمان در طبقه هم کف و مرکز جرم طبقات، در راستای محور Y ها و در چهار طبقه پایین صفر بوده، و در دو طبقه بالاتر به ترتیب $+0.85m$ و $+0.7m$ باشد.

$$T_i = \sum_{j=i}^n (e_{ij} + e_{aj})F_j \rightarrow T_1 = \sum_{j=1}^n (e_{1j} + e_{aj})F_j$$

$$e_{aj} = 5\%a = 0.05 \times 18 = 0.9m$$

طبقه	h_j	e_{1j}	e_{aj}	$e_{1j} + e_{aj}$	F_j	$(e_{1j} + e_{aj})F_j$
6	18	صفر	0.9	0.9	778.3	700.5
5	15	صفر	0.9	0.9	749.2	674.3
4	12	صفر	0.9	0.9	599.4	539.5
3	9	صفر	0.9	0.9	449.5	404.6
2	6	0.85	0.9	1.75	299.7	524.5
1	3	0.70	0.9	1.6	149.9	239.8
Σ					$T_1 =$	2983.2

مولفه های قائم نیروی زلزله

بزرگی مولفه قائم حرکت زمین به طور معمول حدود $1/3$ مولفه افقی آن است. با وجود این در طراحی های متداول، برای کنترل ایمنی ساختمان در مقابله با نیروی زلزله فقط مولفه افقی منظور میشود. با این حقیقت که، اگر عضوی فقط برای مولفه افقی نیروی زلزله طراحی شود، برای مولفه قائم نیز مقاومت کافی دارد. با این وجود در بعضی مواقع مولفه قائم حرکت زمین ممکن است تا $2/3$ مولفه افقی نیز برسد.

استاندارد ۲۸۰۰-۸۴ قید میکند که نیروی قائم ناشی از زلزله که در حقیقت معرف اثر مولفه قائم شتاب زلزله در ساختمان است، باید در موارد زیر در محاسبات منظور شود.

۱- تیرهای با دهانه بیش از ۱۵ متر، همراه با ستون و دیوارهای تکیه گاهی آن ها.

۲- تیرهایی که تحت بار قائم متمرکز قابل توجه (در مقایسه با سایر بارهای وارد بر تیر) قرار دارند، همراه با ستون ها و دیوارهای تکیه گاهی آن ها

۳- بالکن ها و پیش آمدگی های طره ای.

نیروی قائم ناشی از زلزله، F_V از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$F_V = 0.7 AIW_p$$

که W_p بار مرده جزء مورد نظر به اضافه کل سربار آن بوده، و A و I به ترتیب نسبت شتاب مبنای طرح و ضریب اهمیت ساختمان می باشد.

آیین نامه قید میکند که برای بالکن ها و پیش آمدگی های طره ای، نیروی قائم ناشی از زلزله باید دو برابر مقدار رابطه بالا باشد.

$$F_V = 1.4 AIW_p$$

به علاوه نیروی قائم ناشی از زلزله در بالکن ها و پیش آمدگی ها، باید در هر دو جهت روبه بالا و رو به پایین، و بدون منظور کردن اثر کاهنده بارهای ثقلی منظور شود.

بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، نیروی قائم زلزله باید در ترکیبات زیر همراه با نیروی افقی زلزله بکار برده شود:
الف) ۱۰۰ درصد نیروی زلزله در هر امتداد افقی، با ۳۰ درصد نیروی زلزله در امتداد افقی عمود بر آن، و با ۳۰ درصد نیروی زلزله در امتداد قائم

ب) ۱۰۰ درصد نیروی زلزله در امتداد قائم، با ۳۰ درصد نیروی زلزله در هر یک از دو امتداد افقی متعامد

مثال

یک بالکن به طول ۲ متر در طبقه سوم یک ساختمان آموزشی در اصفهان را در نظر بگیرید. فاصله تیرهای کنسولی در این بالکن ۵ متر بوده و بار مرده برابر با ۶۰۰ دکانیوتن بر متر مربع برآورد شده است. لنگرهای طراحی بدون ضریب تیرهای طره ای در این بالکن را محاسبه کنید.

$$F_V = 0.7 A I W_p$$

$$W_p = (5 \times 2)(600 + 500) = 11000 \text{ daN} \rightarrow 110 \text{ kN}$$

$$F_v = 1.4 \times 0.35 \times 1.2 \times 110 = 64.7 \text{ kN}$$

$$LL = 500 \text{ daN}$$

$$I = 1.2$$

$$A = 0.35$$

نیروی جانبی زلزله وارد بر اجزای ساختمان و قطعه های الحاقی

اجزای ساختمان و قطعه های الحاقی به ساختمان باید در مقابل نیروی جانبی زلزله که از رابطه زیر بدست می آید، محاسبه شوند.

$$F_p = AB_p I w_p$$

در این رابطه؛ A و I به ترتیب نسبت شتاب مبنای طرح و ضریب اهمیت ساختمان بوده و w_p وزن جزء ساختمان یا قطعه الحاقی مورد نظر است. همچنین B_p ضریب بازتاب قطعه مورد نظر است که مقدار آن از جدول زیر بدست می آید

تراز پایه در بارگذاری زلزله

تراز پایه تراز در ساختمان است که هنگام وقوع زلزله، از آن تراز به پایین حرکتی در ساختمان نسبت به زمین مشاهده نشود.

تغییر مکان جانبی نسبی طبقات

تغییر مکان جانبی نسبی هر طبقه^۱، به صورت اختلاف تغییر مکان های مرکز جرم کف در بالا و پایین آن طبقه تعریف می شود.

در تحلیل سازه و تعیین تغییر مکان جانبی، ممکن است از تحلیل خطی و یا تحلیل غیر خطی استفاده شود. ۱- اگر تغییر مکان با فرض رفتار خطی سازه تحت بار جانبی تعیین شود. به آن تغییر مکان جانبی نسبی طبقه گویند. در تحلیل سازه با فرض رفتار خطی برای تعیین این تغییر مکان، اگر سازه بتنی باشد باید اثرات ترک خوردگی در اعضاء را منظور نمود. بر اساس توصیه آیین نامه بتن آرمه “

تغییر مکان جانبی نسبی بهره برداری	تغییر مکان جانبی نسبی طرح
$0.5I_G$	تیر..... $0.35I_G$
$1.0I_G$	ستون..... $0.7I_G$
$0.5I_G$	دیوارهای ترک خورده..... $0.35I_G$
$1.0I_G$	دیوارهای ترک نخورده..... $0.7I_G$

نکته: در حالت تغییر مکان نسبی جانبی بهره برداری از اثر $P - \Delta$ صرف نظر میشود.

¹ Story Drift

۱- اگر تغییر مکان براساس تحلیل غیرخطی و با منظور نمودن رفتار واقعی سازه تحت زلزله طرح تعیین شود، به آن تغییر مکان جانبی نسبی واقعی طرح گفته میشود.

تغییر مکان جانبی نسبی واقعی طرح در طبقه، Δ_M ، را میتوان براساس تحلیل خطی سازه و با استفاده از

$$\Delta_M = 0.7R\Delta_w$$

رابطه زیر نیز محاسبه نمود:

که Δ_w تغییر مکان جانبی نسبی طرح در طبقه (مبتنی بر تحلیل خطی سازه) بوده و R ضریب رفتار سازه می باشد.

کنترل تغییر مکان جانبی طبقات

الف- تغییر مکان جانبی نسبی واقعی طرح در محل مرکز جرم هر طبقه، $\bar{\Delta}_M$ باید محدودیت های زیر را برآورده کند. در رعایت این محدودیت، لازم است اثر $P - \Delta$ در محاسبه تغییر مکان ها منظور شده باشد.

$$T < 0.7 \text{ Sec} \rightarrow \bar{\Delta}_M < 0.025h$$

$$T \geq 0.7 \text{ Sec} \rightarrow \bar{\Delta}_M < 0.020h$$

که h ارتفاع طبقه، و T زمان تناوب اصلی ساختمان است.

$$T < 0.7 \text{ Sec} \rightarrow \Delta_w < (0.036h)/R$$

$$T \geq 0.7 \text{ Sec} \rightarrow \Delta_w < (0.029h)/R$$

ب- تغییر مکان جانبی نسبی بهر هبرداری در هطبقه، δ ، نباید از 0.005 ارتفاع آن طبقه بیش تر باشد؛

$$\delta \leq 0.005h$$

یعنی:

اثر $P-\Delta$ یا لنگر ثانویه M_s

اهمیت و محدودیت

هنگامی که یک ساختمان در حالت تغییرمکان جانبی تحت اثر یک بار قائم قرار میگیرد، اثر به اصطلاح $P-\Delta$ به سبب وجود بار قائم P و تغییرمکان جانبی Δ ، باعث افزایش لنگر خمشی طبقات و نیز افزایش تغییرمکان جانبی طبقات میشود. که از رابطه زیر محاسبه میشود:

$$M_s = \Delta M_i = P_i \Delta_{wi}$$

در این رابطه Δ_{wi} تغییرمکان جانبی نسبی اولیه در طبقه i ام، و P_i مجموع بارهای مرده و زنده در طبقه های i و بالاتر می باشد.

بنابراین برشی اضافی در حالت رفتار خطی طبقه بر اثر $P-\Delta$ در طبقه i به صورت زیر برآورد می شود.

$$\Delta V_i = \frac{\Delta M_i}{h_i} = \frac{P_i \Delta_{iw}}{h_i}$$

اهمیت اثر $P-\Delta$ براساس مقدار شاخص پایداری تعیین میشود.

$$0.1 < \theta < \theta_{max}, \quad \theta_{max} = 1.25/R \leq 0.25$$

براساس آیین نامه ۲۸۰۰ در صورتی که مقدار شاخص پایداری طبقه کمتر از ده درصد باشد، میتوان از اثرات $P-\Delta$ صرفنظر کرد.

محاسبه تغییر مکان نسبی و نیروی برشی معادل طبقه بر اثر $P - \Delta$

مجموع لنگر خمشی در حالت رفتار خطی برابر است با

$$M_i + \Delta M_i = M_i + P_i \Delta_{wi} = M_i (1 + \theta_i)$$

از طرفی لنگر اضافی ΔM_i ایجاد یک تغییر مکان اضافی در طبقه میکند؛ که این تغییر مکان نیز اثرات $P - \Delta$ را بیشتر میکند؛ در نتیجه:

$$M_i (1 + \theta_i) + P_i (P_i \Delta_{wi}) = M_i (1 + \theta_i + \theta_i^2)$$

و به همین ترتیب

$$M_{iP\Delta} = M_i (1 + \theta_i + \theta_i^2 + \theta_i^3 + \dots) = M_i \frac{1}{1 - \theta_i}$$

همچنین نیروی برشی معادل طبقه با منظور نمودن اثرات $P - \Delta$ را میتوان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$V_{iP\Delta} = V_i \left(\frac{1}{1 - \theta_i} \right)$$

در سازه های تحت اثر زلزله، تغییر مکان طبقه ها که از محاسبات سازه در برابر بارهای جانبی زلزله بدست می آید،

نمایان گر تغییر مکان جانبی غیر خطی طبقه در یک زلزله شدید نمی باشد. تغییر مکان جانبی نسبی افزایش یافته با

منظور کردن اثر $P - \Delta$ را بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ میتوان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\bar{\Delta}_{wi} = \Delta_{wi} \left(\frac{1}{1 - \theta_i} \right)$$

سرانجام تغییرمکان جانبی نسبی واقعی طرح در محل مرکز جرم طبقه که با $\bar{\Delta}_{Mi}$ نشان داده میشود، از رابطه زیر محاسبه میشود.

$$\bar{\Delta}_{Mi} = 0.7R\bar{\Delta}_{wi}$$

تغییرمکان جانبی نسبی واقعی طرح هر طبقه که از رابطه فوق محاسبه میشود باید با مقادیر مجاز آیین نامه ای مقایسه و کنترل شود:

$$T < 0.7Sec \rightarrow \bar{\Delta}_{Mi} < 0.025h$$

$$T \geq 0.7Sec \rightarrow \bar{\Delta}_{Mi} < 0.020h$$

ترکیب بار

روش تنش مجاز

روش تنش نهایی $1.25D + 1.5L$

$$1.25D$$

$$D + 1.2L + 1.2E$$

$$D + 1.2E$$

$$0.85D + 1.2E$$

$$D + 1.2L + 1.2W$$

$$D + 1.2W$$

$$0.85D + 1.2W$$

$$1.25D + 1.5L + 1.5H$$

$$1.25D + 1.5H$$

$$1.25D + 1.5L + 1.5F$$

$$1.25D + 1.25F$$

$$0.85D + 1.25F$$

$$D + 1.2L + T$$

$$1.25D + 1.25T$$

$$D$$

$$D + L$$

$$0.75 \left(D + S + \frac{1}{3}W \right)$$

$$0.75 \left(D + \frac{1}{2}S + W \right)$$

$$0.75(D + L + E)$$

F بارهای ناشی از وزن و یا فشار مرتبط با سیالات با چگالی مشخص و با حداکثر ارتفاع قابل کنترل، و یا لنگرها و نیروهای داخلی مربوطه،

سختی جانبی:

(۱) سختی قاب های خمشی

برای ستون ها با اتصالات گیردار، چنان چه از چرخش دو انتهای ستون صرف نظر شود، سختی جانبی قاب در یک طبقه را می توان با تقریب خوبی از رابطه زیر برآورد نمود.

$$K = \frac{12EI_c}{h^3}$$

که I_c جمع ممان اینرسی ستون های طبقه مورد نظر و h ارتفاع آن طبقه می باشد.

(۲) قاب مهاربندی شده

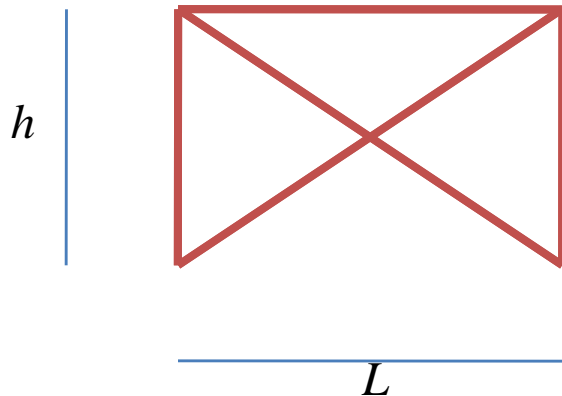
قاب مهاربندی شده، سیستمی به شکل خرپای قائم است که بیشتر در ساختمان های فولادی برای ایجاد مقاومت در برابر نیروهای جانبی استفاده میشود.

الف) قاب مهاربندی شده هم محور

ب) قاب مهاربندی شده برون محور

که A_b سطح مقطع مهاربند d ، طول مهاربند

$$K = \sum \frac{EL^2 A_b}{d^3}$$



سیستم های باربر و توزیع بار بین آنها

۳) سختی دیوار برشی

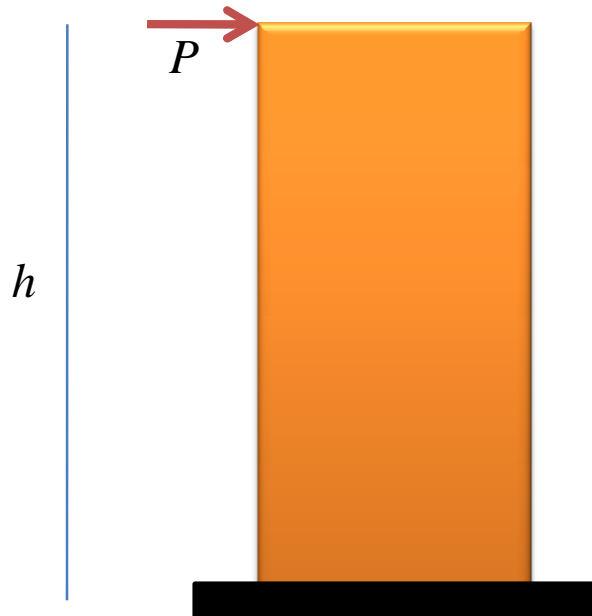
دیوارهای برشی در طراحی به صورت تیرهای عمیق طره ای در نظر گرفته میشوند. بدین ترتیب برای تعیین سختی آنها مشابه یک تیر طره ای که در انتهای آزاد آن تغییرمکان واحد ایجاد شده است، عمل میشود.

$$K = \frac{I}{h^3 \left(\frac{I}{3EI} + \frac{\alpha}{AGh^2} \right)}$$

در این رابطه A سطح مقطع دیوار برشی در طبقه مورد نظر، I و E به ترتیب ممان اینرسی و مدول ارتجاعی مقطع

دیوار برشی، G مدول ارتجاعی دیوار برشی، h ارتفاع طبقه و α ضریب شکل است که برای مقاطع مستطیلی و دایره ای

به ترتیب برابر $1/2$ و $10/9$ می باشد.



سختی جانبی:

(۱) سختی قاب های خمشی

برای ستون ها با اتصالات گیردار، چنان چه از چرخش دو انتهای ستون صرف نظر شود، سختی جانبی قاب در یک طبقه را می توان با تقریب خوبی از رابطه زیر برآورد نمود.

$$K = \frac{12EI_c}{h^3}$$

که I_c جمع ممان اینرسی ستون های طبقه مورد نظر و h ارتفاع آن طبقه می باشد.

(۲) قاب مهاربندی شده

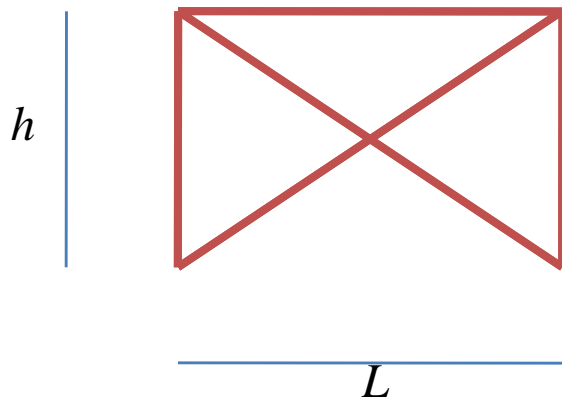
قاب مهاربندی شده، سیستمی به شکل خرپای قائم است که بیشتر در ساختمان های فولادی برای ایجاد مقاومت در برابر نیروهای جانبی استفاده میشود.

الف) قاب مهاربندی شده هم محور

ب) قاب مهاربندی شده برون محور

که A_b سطح مقطع مهاربند d ، طول مهاربند

$$K = \sum \frac{EL^2 A_b}{d^3}$$



سختی جانبی:

۳) سختی دیوار برشی

دیوارهای برشی در طراحی به صورت تیرهای عمیق طره ای در نظر گرفته میشوند. بدین ترتیب برای تعیین سختی آنها مشابه یک تیر طره ای که در انتهای آزاد آن تغییرمکان واحد ایجاد شده است، عمل میشود.

$$K = \frac{I}{h^3 \left(\frac{I}{3EI} + \frac{\alpha}{AGh^2} \right)}$$

در این رابطه A سطح مقطع دیوار برشی در طبقه مورد نظر، I و E به ترتیب ممان اینرسی و مدول ارتجاعی مقطع

دیوار برشی، G مدول ارتجاعی دیوار برشی، h ارتفاع طبقه و α ضریب شکل است که برای مقاطع مستطیلی و دایره ای

به ترتیب برابر $1/2$ و $10/9$ می باشد.

