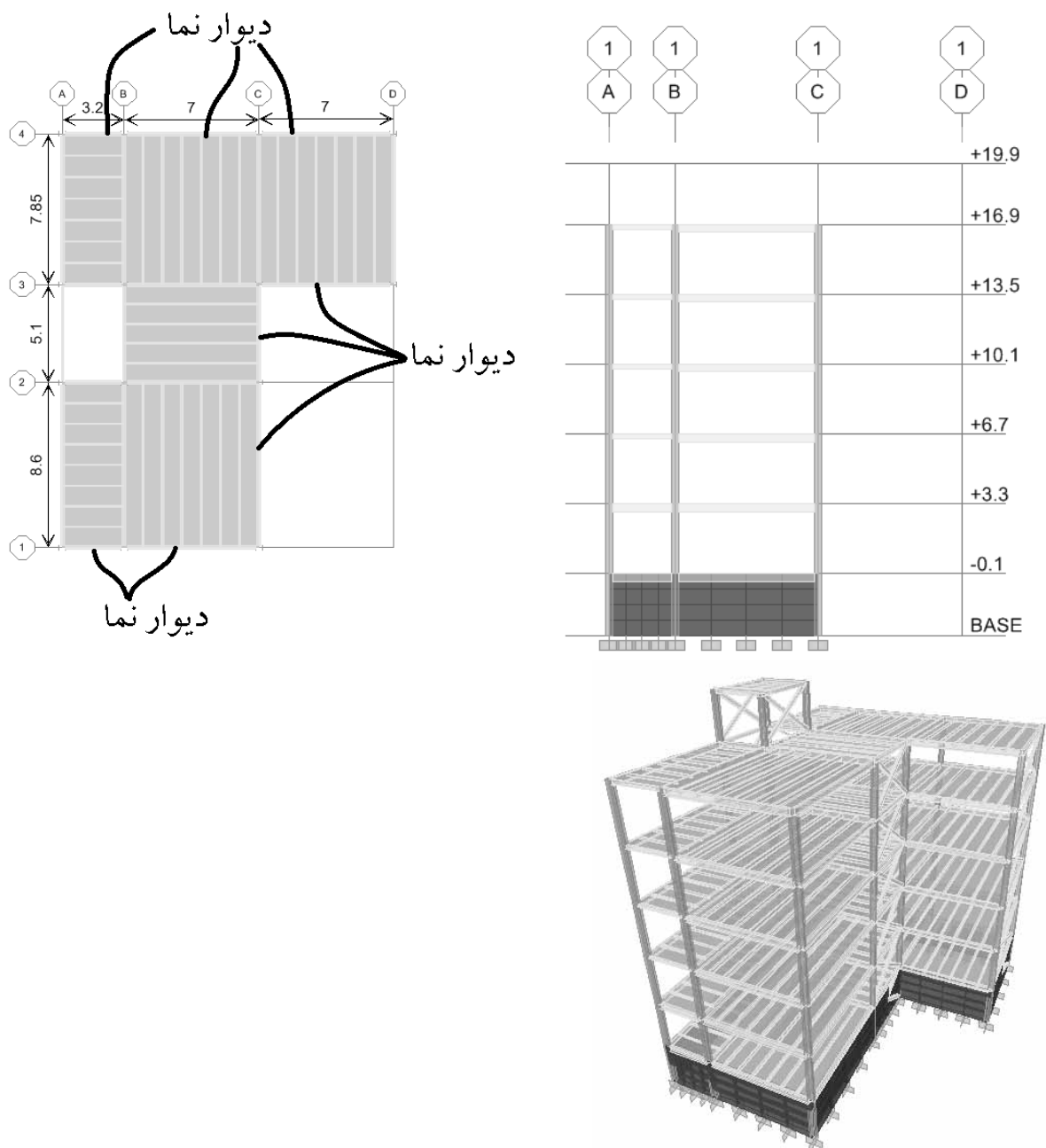


نحوه تعیین نیروی جانبی زلزله و توزیع آن در ارتفاع یک سازه فولادی ۶ طبقه

پلان و نمای یک سازه فولادی ۶ طبقه مسکونی در شکل نشان داده شده است. سیستم باربر جانبی سازه در راستای شمالی - جنوبی قاب ساده بادبندی شده با مهاربند ضربدری، و در راستای غربی - شرقی سیستم قاب خمشی فولادی با شکل پذیری متوسط می باشد. کاربری زیرزمین، انباری می باشد و کاربری طبقه همکف پارکینگ می باشد. زمان تناوب سازه حاصل از تحلیل سازه توسط نرم افزار، در جهت غربی شرقی برابر 1.2 sec و در جهت شمالی جنوبی برابر 0.5sec بدست آمده است.



در پیرامون زیر زمین دیوار حائل بتنی در نظر گرفته شده است. مقادیر بارهای مرده و زنده سازه به شرح زیر می باشد:

وزن مترمربع مرده طبقات = 600 kg/m^2

وزن مترمربع تیغه بندی (بار گسترده معادل) = 110 kg/m^2

وزن مترمربع مرده بام = 670 kg/m^2

وزن مترمربع زنده طبقات = 200 kg/m^2

وزن مترمربع زنده پارکینگ = 500 kg/m^2

بار برف = 150 kg/m^2

وزن مترمربع دیوارهای محیطی غیر نما = 300 kg/m^2

وزن مترمربع دیوارهای محیطی نما = 400 kg/m^2

درصد تقریبی بازشو در دیوارهای نما = 20%

وزن خرپشته (شامل بار مرده سقف + ۲۰٪ بار زنده) = 15 ton

وزن تقریبی مرده اجزای دیگر سازه (تیر، ستون، ...) در طبقات غیر از بام = 50 ton

وزن تقریبی مرده اجزای دیگر سازه (تیر، ستون، ...) در طبقه بام = 30 ton

سازه مورد نظر در شهر تبریز و در زمین نوع III احداث خواهد شد.

ارتفاع خرپشته = 80cm

حل:

هدفمان تعیین بار لرزه ای سازه W، و نیز ضریب C، در روابط زیر می باشد:

۶-۷-۲-۵-۱ نیروی جانبی زلزله - نیروی برشی پایه، V

حداقل نیروی برشی پایه یا مجموع نیروهای جانبی زلزله در هر یک از امتدادهای ساختمان با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$V = CW \quad (۶-۷-۱)$$

در این رابطه:

V: نیروی برشی در تراز پایه، این تراز در بند ۶-۷-۲-۵-۲ تعریف شده است.

W: وزن کل ساختمان شامل تمام بار مرده و وزن تاسیسات ثابت به اضافه درصدی از بار زنده و

بار برف که در بند ۶-۷-۲-۴ مشخص شده است.

C: ضریب زلزله که از رابطه زیر به دست می آید:

$$C = \frac{ABI}{R} \quad (۶-۷-۲)$$

۱- محاسبه W:

باید وزن مرده و زنده هر طبقه را محاسبه کنیم. از طرفی با توجه به اینکه دورتادور سازه در طبقه زیر زمین دیوار حائل داریم، تراز پایه را از تراز 0.1- در نظر می گیریم و این به این معنی است که تصور کنیم سازه از نظر لرزه ای از تراز 0.1- شروع می شود (نه از تراز 3.3-):

۶-۷-۲-۵-۲ تراز پایه

تراز پایه، بنا به تعریف، به تراز در ساختمان اطلاق می شود که در هنگام وقوع زلزله، از آن تراز به پایین حرکتی در ساختمان نسبت به زمین مشاهده نشود. این تراز معمولاً در تراز سطح فوقانی شالوده در نظر گرفته می شود، ولی در مواردی که در قسمت اعظم محیط زیر زمین، دیوارهای حایل بتن آرمه وجود دارد و این دیوارها با سازه ساختمان یکپارچه ساخته می شوند، تراز پایه در تراز نزدیک ترین کف ساختمان به زمین کوبیده شده اطراف ساختمان در نظر گرفته می شود. مشروط بر آن که دیوارهای حایل تا زیر این کف ادامه داده شده باشد. بنابراین وزن طبقه زیرزمین در محاسبه وزن لرزه ای سازه وارد نخواهد شد و نیازی به محاسبه وزن طبقه زیر زمین (تراز 0.1-) نمی باشد.

محاسبه بار مرده طبقات:

بار مرده و زنده طبقات در جداول ۱ و ۲ نشان محاسبه شده است.

جدول ۱ بار مرده و زنده طبقات در ترازهای 3.3+، 6.7+، 10.1+ و 13.5+

وزن بار زنده	وزن تیر و ستونهای طبقه	وزن دیوارهای غیرنما	وزن دیوارهای نما	وزن مرده کف	
274.76	-	$(8.6+5.1+7.85*2)*3.4=99.96$	$((3.2+7+7)*2+8.6+5.1)*3.4=163.54$	274.76	مساحت
200	-	300	$400*0.8=320$	600+110	وزن مترمربع
54952	50000	29988	52332.8	195079.6	وزن کل

جدول ۲ بار مرده و زنده طبقه در تراز 16.9+

وزن بار زنده	وزن تیر و ستونهای طبقه	وزن دیوارهای غیرنما	وزن دیوارهای نما	وزن مرده کف	
274.76	-	$(8.6+5.1+7.85*2)*(3.4/2+0.8)=73.5$	$((3.2+7+7)*2+8.6+5.1)*(3.4/2+0.8)=120$	274.76	مساحت
150	-	300	$400*0.8=320$	670	وزن مترمربع
41214	30000	22050	38400	197827.2	وزن کل

با توجه به جداول ۱ و ۲، وزن مرده و زنده طبقات به شرح زیر می باشد:

$$DEAD_STORY=195+52+30+50=327 \text{ ton}$$

$$LIVE_STORY=55 \text{ ton}$$

$$DEAD_ROOF=198+38+22+30+15=303 \text{ ton}$$

$$LIVE_ROOF=41 \text{ ton}$$

با توجه به اینکه کاربری سازه مسکونی می باشد، بر اساس جدول ۶-۷-۱ مبحث ۶ تنها ۲۰٪ بار زنده را در نظر می گیریم:

جدول ۶-۷-۱ درصد میزان مشارکت بار زنده و بار برف در محاسبه نیروی جانبی زلزله	
محل بار زنده	درصد میزان بار زنده
بامهای شیبدار یا شیب ۲۰٪ و بیشتر *	—
بامهای مسطح یا با شیب کمتر از ۲۰٪	۲۰
ساختمانهای مسکونی، اداری، هتلها و پارکینگها	۲۰
بیمارستانها، مدارس، فروشگاهها و ساختمانهای محل اجتماع یا ازدحام	۴۰
انبارها و کتابخانه ها	۶۰
مخازن آب و سایر مایعات	۱۰۰

و بنابراین وزن لرزه ای سازه برابر است با:

$$W_STORY=(DEAD_STORY)+(LIVE_STORY)*0.2=338 \text{ ton}$$

$$W_ROOF=(DEAD_ROOF)+(LIVE_ROOF)*0.2=311 \text{ ton}$$

$$W=4*W_STORY+W_ROOF=1663 \text{ ton}$$

۲- محاسبه ضریب زلزله

همانطور که در رابطه زیر مشاهده می شود، جهت محاسبه ضریب C باید ضرایب A، B، I و R را محاسبه کنیم:

C: ضریب زلزله که از رابطه زیر به دست می آید:

$$C = \frac{ABI}{R} \quad (۲-۷-۶)$$

۲-۱- محاسبه نسبت شتاب مبنای طرح، A:

سازه مورد نظر در شهر تبریز واقع شده است که با توجه به پیوست ۶-۴ خطر نسبی آن بسیار بالا می باشد و بنابراین مقدار A برابر 0.35 می باشد.

۶-۷-۲-۵-۳ نسبت شتاب مبنای طرح، A

نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق مختلف کشور، براساس میزان خطر لرزه خیزی آنها، به شرح جدول شماره ۶-۷-۲ تعیین می شود. مناطق چهارگانه عنوان شده در این جدول در پیوست شماره ۶-۴ مشخص شده اند.

جدول ۶-۷-۲ نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق با لرزه خیزی مختلف

منطقه	توصیف	نسبت شتاب مبنای طرح
۱	پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد	%۳۵
۲	پهنه با خطر نسبی زیاد	%۳۰
۳	پهنه با خطر نسبی متوسط	%۲۵
۴	پهنه با خطر نسبی کم	%۲۰

۲-۲-۲-ضریب بازتاب ساختمان، B:

ضریب بازتاب ساختمان به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- دور تناوب ساختمان T

۲- نوع خاک

۳- میزان خطر لرزه خیزی منطقه

بنابراین قبل از محاسبه مقدار B باید سه مورد فوق تعیین شود. نوع خاک نوع III می باشد و خطر لرزه خیزی نیز خیلی زیاد می باشد. مقدار دوره تناوب به شرح زیر محاسبه می شود.

در این سازه دو سیستم باربر جانبی متفاوت داریم و برای هر جهت دوره تناوب متفاوت خواهد بود.

مقدار T در جهت غربی شرقی (سیستم قاب خمشی) به صورت زیر محاسبه می شود:

$$T_x = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{زمان تناوب تجربی } 1.25 \times \\ \text{زمان تناوب حاصل از تحلیل} \end{array} \right\}$$

$$T_x = \min \{ 1.2, 1.25 \times (0.08 \times 17^{.75}) \} = 0.84 \text{ sec}$$

مقدار T در جهت شمالی جنوبی (سیستم بادبندی) به صورت زیر محاسبه می شود:

$$T_y = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{زمان تناوب تجربی } 1.25 \times \\ \text{زمان تناوب حاصل از تحلیل} \end{array} \right\}$$

$$T_y = \min \{ 0.5, 1.25 \times (0.05 \times 17^{.75}) \} = 0.5 \text{ sec}$$

۴-۵-۲-۷-۶ ضریب بازتاب ساختمان، B

ضریب بازتاب ساختمان بیانگر نحوه پاسخ ساختمان به حرکت زمین است. این ضریب با استفاده از روابط زیر و یا از روی شکل های (۱-۷-۶-الف) و (۱-۷-۶-ب) تعیین می شود:

$$B = 1 + S \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad 0 \leq T \leq T_0$$

$$B = S + 1 \quad T_0 \leq T \leq T_s \quad (۴-۷-۶)$$

$$B = (S + 1) (T_s / T)^{\frac{2}{3}} \quad T \geq T_s$$

در این روابط:

T: زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان به ثانیه است. این زمان طبق بند ۶-۵-۲-۷-۶ تعیین می شود.

T_0 ، T_s و S: پارامترهایی هستند که به نوع زمین و میزان خطر لرزه خیزی منطقه وابسته اند. مقادیر این پارامترها در جدول شماره ۳-۷-۶ و انواع زمینها در بند ۵-۵-۲-۷-۶ مشخص شده اند.

جدول شماره ۳-۷-۶ پارامترهای مربوط به روابط (۴-۷-۶)

نوع زمین	T.	T_s	خطر نسبی کم و متوسط	خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد
			S	S
I	۰/۱	۰/۴	۱/۵	۱/۵
II	۰/۱	۰/۵	۱/۵	۱/۵
III	۰/۱۵	۰/۷	۱/۷۵	۱/۷۵
IV	۰/۱۵	۱/۰	۲/۲۵	۱/۷۵

با توجه به جدول ۳-۷-۶ مبحث ۶، مقادیر ضریب بازتاب برای دو جهت غربی شرقی و شمالی جنوبی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$T_s < T_x \rightarrow B_x = (1 + 1.75) (0.7/0.84)^{\frac{2}{3}} = 2.43$$

$$T_0 < T_y < T_s \rightarrow B_y = 1 + 1.75 = 2.75$$

۳-۲- ضریب اهمیت ساختمان، I:

با توجه به اینکه کاربری سازه مسکونی می باشد، ضریب اهمیت آن برابر یک می باشد.

۴-۲- ضریب رفتار ساختمان، R:

مطابق جدول ۶-۷-۶ مبحث ۶، ضریب رفتار سازه در دو جهت مختلف به شرح زیر می باشد:

$$R_x = 7$$

$$R_y = 6$$

جدول شماره ۶-۷-۶ مقادیر ضریب رفتار ساختمان، R، همراه با حداکثر ارتفاع مجاز ساختمان H_m

سیستم سازه	سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی	R	H _m (متر)
الف- سیستم دیوارهای باربر	۱- دیوارهای برشی بتن آرمه ویژه	۷	۵۰
	۲- دیوارهای برشی بتن آرمه متوسط	۶	۵۰
	۳- دیوارهای برشی بتن آرمه معمولی	۵	۳۰
	۴- دیوارهای برشی با مصالح بنایی مسلح	۴	۱۵
ب- سیستم قاب ساختمانی ساده	۱- دیوارهای برشی بتن آرمه ویژه	۸	۵۰
	۲- دیوارهای برشی بتن آرمه متوسط	۷	۵۰
	۳- دیوارهای برشی بتن آرمه معمولی	۵	۳۰
	۴- دیوارهای برشی با مصالح بنایی مسلح	۴	۱۵
	۵- مهاربندی برون محور فولادی [۱]	۷	۵۰
	۶- مهاربندی هم محور فولادی [۱]	۶	۵۰
پ- سیستم قاب خمشی	۱- قاب خمشی بتن آرمه ویژه [۲]	۱۰	۱۵۰
	۲- قاب خمشی بتن آرمه متوسط [۲]	۷	۵۰
	۳- قاب خمشی بتن آرمه معمولی [۲] و [۳]	۴	-
	۴- قاب خمشی فولادی ویژه [۱]	۱۰	۱۵۰
	۵- قاب خمشی فولادی متوسط [۱]	۷	۵۰
	۶- قاب خمشی فولادی معمولی [۳] و [۴]	۵	-
ت- سیستم دوگانه یا ترکیبی	۱- قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + دیوارهای برشی بتن آرمه ویژه	۱۱	۲۰۰
	۲- قاب خمشی بتنی متوسط + دیوارهای برشی بتن آرمه متوسط	۸	۷۰
	۳- قاب خمشی فولادی متوسط + دیوارهای برشی بتن آرمه متوسط	۸	۷۰
	۴- قاب خمشی فولادی ویژه + مهاربندی برون محور فولادی	۱۰	۱۵۰
	۵- قاب خمشی فولادی ویژه + مهاربندی هم محور فولادی	۹	۱۵۰
	۶- قاب خمشی فولادی متوسط + مهاربندی برون محور فولادی	۷	۷۰
	۷- قاب خمشی فولادی متوسط + مهاربندی هم محور فولادی	۷	۷۰

پس از محاسبه مقادیر فوق مقدار ضریب زلزله برای سازه مورد نظر در دو راستا بدست می آید:

$$C_x = \frac{ABI}{R} = \frac{0.35 \times 2.43 \times 1}{7} = 0.1215$$

$$C_y = \frac{ABI}{R} = \frac{0.35 \times 2.75 \times 1}{6} = 0.160$$

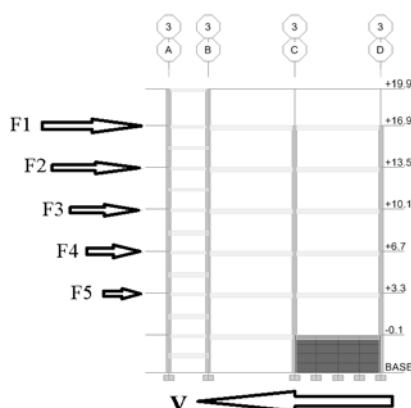
و در نتیجه می توان مقدار نیروی لرزه ای جانبی استاتیکی معادل را در دو جهت x و y بدست آورد:

$$V_x = C_x W = 0.1215 \times 1663 = 202 \text{ ton}$$

$$V_y = C_y W = 0.146 \times 1662.2 = 267 \text{ ton}$$

۳- توزیع نیروی زلزله در ارتفاع

نیروهای V_x و V_y برش پایه کل سازه می باشند. نیروی V حاصل جمع نیروهای جانبی وارد بر کل طبقات می باشد $(V=F_1+F_2+F_3+F_4+F_5)$:



حال سوال این است که چه سهمی از نیروی برش پایه کل به هر طبقه می رسد؟ نحوه توزیع نیروی V در ارتفاع در بند ۶-۷-۲-۵-۹ مبحث ۶ تشریح شده است:

۶-۷-۲-۵-۹ توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع ساختمان

نیروی برشی پایه V ، که طبق بند ۶-۷-۲-۵-۱ محاسبه شده است، مطابق رابطه زیر در ارتفاع ساختمان توزیع می گردد:

$$F_i = (V - F_t) \frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \quad (۱۰-۷-۶)$$

در این رابطه:

F_t : نیروی جانبی در تراز طبقه i

W_i : وزن طبقه i شامل وزن سقف و بار زنده آن طبق بند ۶-۷-۲-۴ و نصف وزن دیوارها و ستونهایی که در بالا و پایین سقف قرار گرفته اند.

h_i : ارتفاع تراز i ارتفاع سقف طبقه i از تراز پایه

n : تعداد طبقات ساختمان از تراز پایه به بالا

F_t : نیروی جانبی اضافی در تراز سقف طبقه n که به وسیله رابطه زیر تعیین می شود:

$$F_t = 0.07TV \quad (۱۱-۷-۶)$$

نیروی F_t نباید بیشتر از $0.25V$ در نظر گرفته شود و چنانچه T برابر یا کوچکتر از 0.7 ثانیه باشد، می توان آن را برابر با صفر اختیار نمود.

ابتدا باید کنترل کنیم که آیا منظور کردن نیروی شلاقی برای سازه مورد نظر ضروری است یا نه:

۱-۳- محاسبه نیروی شلاقی

در مواردی که زمان تناوب سازه بیش از 0.7sec باشد، باید نیروی شلاقی در تراز آخر سازه در نظر گرفته شود. با توجه به اینکه در جهت غربی شرقی، زمان تناوب سازه 0.84sec می باشد، مقدار این نیرو را محاسبه می کنیم:

$$F_{t-x} = 0.07T_x V_x = 0.07 \times 0.84 \times 202 \text{ ton} = 12 \text{ ton}$$

در جهت شمالی جنوبی، زمان تناوب سازه 0.5sec می باشد که کمتر از 0.7sec است و بنابراین نیازی به در نظر گرفتن نیروی شلاقی در جهت شمالی جنوبی نیست:

$$F_{t-y} = 0$$

۲-۳- محاسبه نیروهای جانبی در جهت شرقی غربی

$$F_{1-y} = (V_y - F_{t-y}) \frac{W_5 h_5}{W_1 h_1 + W_2 h_2 + W_3 h_3 + W_4 h_4 + W_5 h_5}$$

$$= (202 - 12) \frac{311 \times 17}{338 \times 3.4 + 338 \times 6.8 + 338 \times 10.2 + 338 \times 13.6 + 311 \times 17}$$

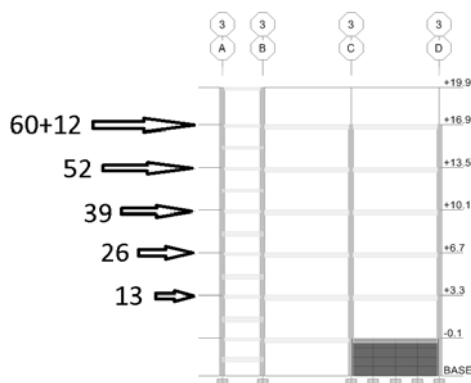
$$= 190 \times \frac{311 \times 17}{16779} = 60 \text{ ton}$$

$$F_{2-x} = 190 \times \frac{338 \times 13.6}{16779} = 52 \text{ ton}$$

$$F_{3-x} = 190 \times \frac{338 \times 10.2}{16779} = 39 \text{ ton}$$

$$F_{4-x} = 190 \times \frac{338 \times 6.8}{16779} = 26 \text{ ton}$$

$$F_{1-x} = 190 \times \frac{338 \times 3.4}{15742} = 13 \text{ ton}$$



۳-۳- محاسبه نیروهای جانبی در جهت شمالی جنوبی

$$F_{1-x} = (V_x - F_{t-x}) \frac{W_5 h_5}{W_1 h_1 + W_2 h_2 + W_3 h_3 + W_4 h_4 + W_5 h_5}$$

$$= (267 - 0) \frac{311 \times 17}{338 \times 3.4 + 338 \times 6.8 + 338 \times 10.2 + 338 \times 13.6 + 311 \times 17}$$

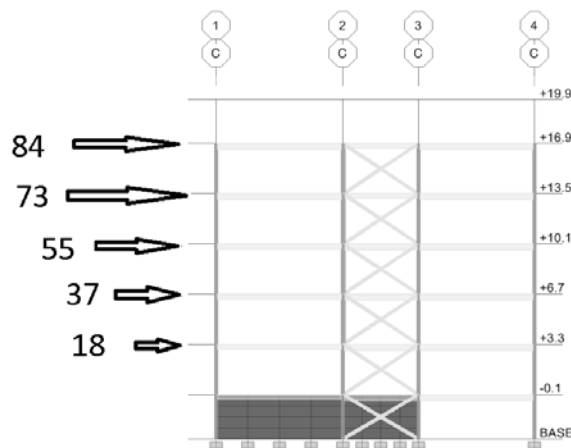
$$= 267 \times \frac{311 \times 17}{16779} = 84 \text{ ton}$$

$$F_{2-y} = 267 \times \frac{338 \times 13.6}{16779} = 73 \text{ ton}$$

$$F_{3-y} = 267 \times \frac{338 \times 10.2}{16779} = 55 \text{ ton}$$

$$F_{4-y} = 267 \times \frac{338 \times 6.8}{16779} = 37 \text{ ton}$$

$$F_{1-y} = 243 \times \frac{338 \times 3.4}{16779} = 18 \text{ ton}$$



۴- ترکیب بارهای لرزه ای:

با توجه به اینکه پلان سازه نامنظم می باشد، در ترکیب بارهای لرزه ای باید ۳۰ درصد جهت متعامد را هم منظور کنیم:

۶-۷-۲-۱-۳ ساختمان باید در دو امتداد عمود بر هم در برابر نیروهای جانبی محاسبه شود. به طور کلی محاسبه در هر یک از این دو امتداد جز در موارد زیر به طور مجزا و بدون در نظر گرفتن نیروی زلزله در امتداد دیگر انجام می شود:

الف- ساختمان های نامنظم در پلان

ب- کلیه ستون هایی که در محل تقاطع دو و یا چند سیستم مقاوم باربر جانبی قرار دارند. در موارد الف و ب امتداد اعمال نیروی زلزله باید با زاویه مناسبی که حتی المقدور بیشترین اثر را ایجاد می کند، انتخاب شود. برای منظور نمودن بیشترین اثر زلزله، می توان صد در صد نیروی زلزله هر امتداد را با ۳۰ درصد نیروی زلزله در امتداد عمود بر آن ترکیب کرد. در طراحی اجزاء بحرانی ترین حالت ممکن از نظر علائم نیروهای داخلی حاصل از زلزله باید ملحوظ گردند.

حال سوال این است که چه سازه هایی نامنظم محسوب می شوند؟

۶-۷-۱-۸-۱-۱ منظم بودن در پلان

الف- پلان ساختمان دارای شکل متقارن و یا تقریباً متقارن نسبت به محورهای اصلی ساختمان، که معمولاً عناصر مقاوم در برابر زلزله در امتداد آن قرار دارند، باشد. همچنین در صورت وجود فرورفتگی یا پیش آمدگی در پلان، اندازه آن در هر امتداد از ۲۵ درصد بعد خارجی ساختمان در آن امتداد تجاوز ننماید.

ب- در هر طبقه فاصله بین مرکز جرم و مرکز سختی در هر یک از دو امتداد متعامد ساختمان از ۲۰ درصد بعد ساختمان در آن امتداد بیشتر نباشد.

پ- تغییرات ناگهانی در سختی دیافراگم هر طبقه نسبت به طبقات مجاور از ۵۰ درصد بیشتر نبوده و مجموع سطوح بازشو در آن از ۵۰ درصد سطح کل دیافراگم تجاوز ننماید.

ت- در مسیر انتقال نیروی جانبی به زمین، انقطاعی مانند تغییر صفحه اجزای باربر جانبی در طبقات وجود نداشته باشد.

ث- در هر طبقه حداکثر تغییر مکان نسبی در انتهای ساختمان، با احتساب پیچش تصادفی، بیشتر از ۲۰ درصد با متوسط تغییر مکان نسبی دو انتهای ساختمان در آن طبقه اختلاف نداشته باشد.

۶-۷-۱-۸-۲ منظم بودن در ارتفاع

الف- توزیع جرم در ارتفاع ساختمان، تقریباً یکنواخت باشد به طوری که جرم هیچ طبقه ای، به استثنای بام و خرپشته بام نسبت به جرم طبقه زیر خود بیشتر از ۵۰ درصد تغییر نداشته باشد.

ب- 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. طبقه ای که سختی جانبی آن کمتر از محدوده عنوان شده در این بند باشد، انعطاف پذیر تلقی شده و طبقه ساختمان «ترم» نامیده می شود.

پ- مقاومت جانبی هیچ طبقه ای کمتر از ۸۰ درصد مقاومت جانبی طبقه روی خود نباشد. مقاومت هر طبقه برابر با مجموع مقاومت جانبی کلیه اجزای مقاومی است که برش طبقه را در جهت مورد نظر تحمل می نمایند. طبقه ای که مقاومت جانبی آن کمتر از حدود عنوان شده در این بند باشد، ضعیف تلقی شده و طبقه «ضعیف» نامیده می شود.