بنام خدا

تعیین ضریب نامعینی بر اساس استاندارد ۲۸۰۰

مسعود حسین زاده اصل

عضو هیات علمی دانشگاه تبریز

پاییز ۱۳۹۴

فهرست مطالب

۱-۱ پیشگفتار ۱
۱-۲ مقدمه ۲
۱-۳ تعاریف ۳
۱-۴ متن استاندارد ۲۸۰۰ ..... ۵
۱-۵ تفسیر استاندارد ۲۸۰۰ ..... ۶
۱-۶ مثال۱ ..... ۱۱
۱-۷ مثال ۲ ..... ۱۳
۱-۷-۱ محاسبه ضریب ρ در سازه مثال ۲ برای زلزله راستای (x) ۱۴
۱-۷-۲ تعیین ضریب نامعینی مثال ۲ برای زلزله جهت طولی (y) ۲۲
۱-۷-۳ نتیجه گیری ۲۲
۱-۸ مثال ۳ ..... ۲۳
۱-۸-۱ نتیجه گیری ۲۷
۱-۹ مثال۴ ..... ۲۸
۱-۹-۱ نتیجه گیری ۳۷
۱-۱۰ مثال ۵ ..... ۳۸
۱-۱۱ مراجع ۴۰

۱-۱ پیشگفتار

با عرض سلام خدمت مهندسین،

استفاده از استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴، از ابتدای مهر سال ۹۴ اجباری شده است. یکی از مهمترین تغییرات ویرایش جدید، معرفی پارامتر جدیدی به نام ضریب نامعینی می باشد. در متن استاندارد ۲۸۰۰ به صورت خلاصه به تعریف این پارامتر پرداخته شده است. با توجه به اهمیت بالای این ضریب در تعیین نیروی زلزله، تصمیم گرفتم نوشتاری ویژه این ضریب نگارش کنم. در این نوشتار علاوه بر بحث و تشریح بندهای استاندارد ۲۸۰۰، با ارائه مثالهای کاربردی به نحوه محاسبه این ضریب پرداخته شده است. این نوشتار بخشی از کتاب زلزله ای می باشد که در حال نگارش آن هستم، منتها با توجه به نیاز مبرم جامعه مهندسین، تصمیم گرفتم، قبل از انتشار کتاب، قسمتی از آن را که مربوط به درجه نامعینی می باشد، به صورت رایگان در اختیار مهندسین عزیز قرار دهم. با توجه به وجود ابهام در برخی موارد آیین نامه ای، از اساتید و مهندسین گرامی درخواست می شود، در صورتی که نظر یا ایراد خاصی بر مطالب دارند از طریق ایمیل با اینجانب مطرح نمایند تا نوشتار را اصلاح کنم.

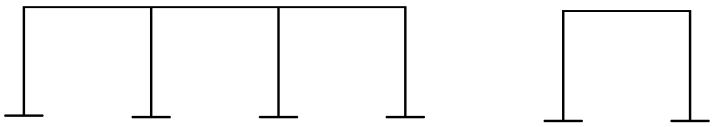
تاریخ آخرین ویرایش نوشتار در سربرگ صفحات درج شده است.

با سپاس

مسعود حسین زاده اصل

۱-۲ مقدمه

از درس تحلیل سازه ها به یاد داریم که در جه نامعینی سازه سمت چپ در شکل زیر بیشتر از سازه سمت راست می باشد. درجه ناعمعینی سازه الف $n=3$ می باشد و درجه نامعینی سازه ب برابر $n=9$ می باشد.



ب الف

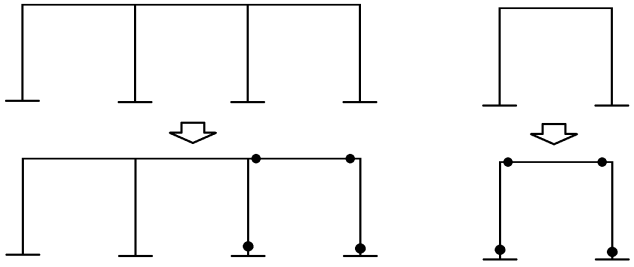
شکل ۱ الف) قاب تک دهانه ب) قاب سه دهانه

از نظر استاندارد ۲۸۰۰ تحت زلزله سازه ب بهتر از سازه الف عمل خواهد کرد.

علت بهتر بودن سازه ب:

به شکل ۲ توجه نمایید. در سازه الف که تنها یک دهانه دارد، در صورت خرابی یک تیر و دو ستون (با تشکیل تنها ۴ مفصل پلاستیک) سازه دچار خرابی می شود. در حالیکه در سازه ب که سه دهانه باربر دارد، سازه پس از تشکیل ۴ مفصل پلاستیک، پایداری خود را از دست نمی دهد. بنابراین در قابهای خمشی با افزایش "تعداد دهانه ها"، درجه نامعینی نیز افزایش یافته و در نتیجه تعداد اعضای باربر جانبی افزایش می یابد.

با افزایش درجه نامعینی شکل پذیری سازه افزایش یافته و قدرت استهلاک انرژی در آن افزایش می یابد.



ب) الف)

شکل ۲، الف سازه با چهار مفصل ناپایدار می شود، ب) برای ناپایداری سازه بیش از چهار مفصل لازم است.

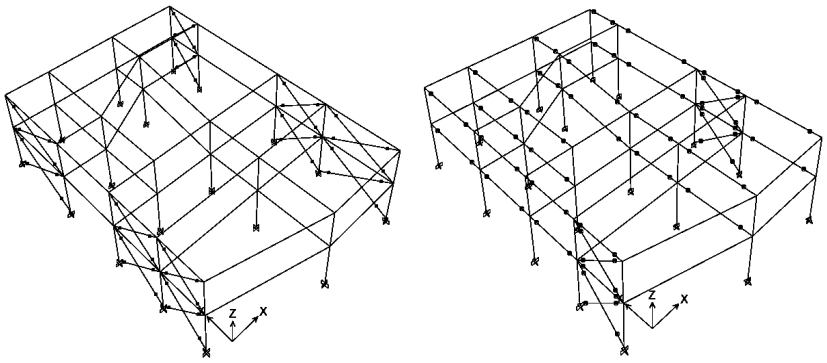
افزایش "تعداد" سیستم های باربر جانبی در سازه این اطمینان را به طراح می دهد که از بین رفتن یک یا چند عضو باربر جانبی در زلزله، موجب فروریزش سازه نخواهد شد. بنابراین سازه هایی که تعداد دهانه های قابهای خمشی آن، تعداد بادبندهای آن، و یا دیوارهای برشی آن بیشتر باشد، از نظر آیین نامه مطلوب تر خواهد بود.

در سیستم قاب خمشی رایج در ایران در سازه های متعارف معمولا تعداد دهانه های قابهای خمشی بالا بوده و سازه هایی که دارای قاب خمشی هستند، (به شرط اینکه نامنظمی پیچشی نداشته باشند) از درجه نامعینی کافی برخوردار هستند.

تعریف: سازه با درجه نامعینی بالا به سازه ای گفته می شود که در آن (در راستای x یا y) نیروی زلزله توسط "چندین" جزء مختلف (مانند چند دهانه قاب خمشی، قاب بادبندی، دیوار برشی) تحمل شود، به طوریکه با از یک رفتن یکی از این چند جزء، سازه دچار افت مقاومت شدید نشود.

به شکل ۳ توجه نمایید. سازه الف در راستای y در هر طبقه تنها دو دهانه بادبند (شامل چهار عضو قطری)، نیروی زلزله را تحمل خواهند کرد. اگر یکی از این چهار عضو قطری آسیب ببیند، سازه دچار ضعف شدید خواهد شد و احتمالا به علت از دست دادن تقارن، سازه دچار پیچش شدید شده و سازه تخریب می شود.

در سازه ب با شش دهانه بادبند (شامل ۱۲ عضو قطری) در هر طبقه می باشد. بنابراین تعداد اجزای باربر قابل توجه بوده و مسلما با آسیب دیدن یک عضو قطری، سازه دچار افت مقاومت شدید و یا پیچش شدید نخواهد شد. حساسیت سازه ب به از دست دادن یک عضو قطری کمتر از سازه الف می باشد.



ب الف

شکل ۳، الف) سازه با یک دهانه بادبند در هر طرف مرکز جرم، ب) سازه با سه دهانه بادبند در هر طرف مرکز جرم

ضریب نامعینی سازه در بند ۳-۳-۲ استاندارد ۲۸۰۰ تعریف شده است. طبق این بند در صورتی که سازه ای دارای درجه نامعینی پایین باشد، نیروی زلزله آن سازه باید به اندازه ۲۰ درصد افزایش یابد. این افزایش در زلزله در ترکیب بارها قابل اعمال می باشد. به ترکیب بارهای زیر توجه نمایید:

$$1.2D + L + \rho E + 0.2\,S$$
$$0.9D + \rho E$$

در صورتی که درجه نامعینی سازه پایین باشد (سازه با تعداد دهانه های کم)، ضریب ρ برابر ۱/۲ خواهد بود و در نتیجه در ترکیب بارها باید نیروی زلزله افزایش یابد. اگر در جه نامعینی سازه بالا باشد، ضریب ρ برابر ۱ خواهد بود و نیازی به افزایش نیروی زلزله نخواهد بود.

بنابراین مهندسین تلاش خواهند که در طراحی سازه ها به گونه ای عمل کنند که تعداد دهانه های باربر حداقل های آیین نامه را تامین کند تا مجبور نشوند سازه را برای زلزله ۱/۲ افزایش یافته طراحی نمایند.

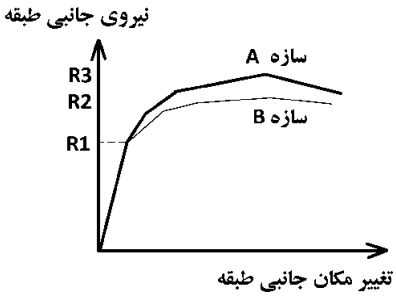
۱-۳ تعاریف

قبل از محاسبه ضریب برخی تعاریف آیین نامه ای باید مشخص شوند.

۱- مقاومت طبقه

دو تفسیر متفاوت برای محاسبه مقاومت جانبی طبقه وجود دارد. در روش اول مقاومت طبقه بر مبنای تحلیل خطی سازه محاسبه می شود و در روش دوم مقاومت جانبی طبقه بر مبنای تحیل غیر خطی (مانند روش *Push over*) محاسبه می شود. شکل ۴ نمودار نیرو- تغییرمکان طبقه دو سازه مختلف (سازه *A* و سازه *B*) را نشان می دهد. *R1* نشان دهنده شروع تسلیم هر دو سازه می باشد. ولی مقاومت نهایی سازه *A* (برابر *R3*) بیشتر از مقاومت نهایی سازه *B* (برابر *R2*) می باشد. در صورت

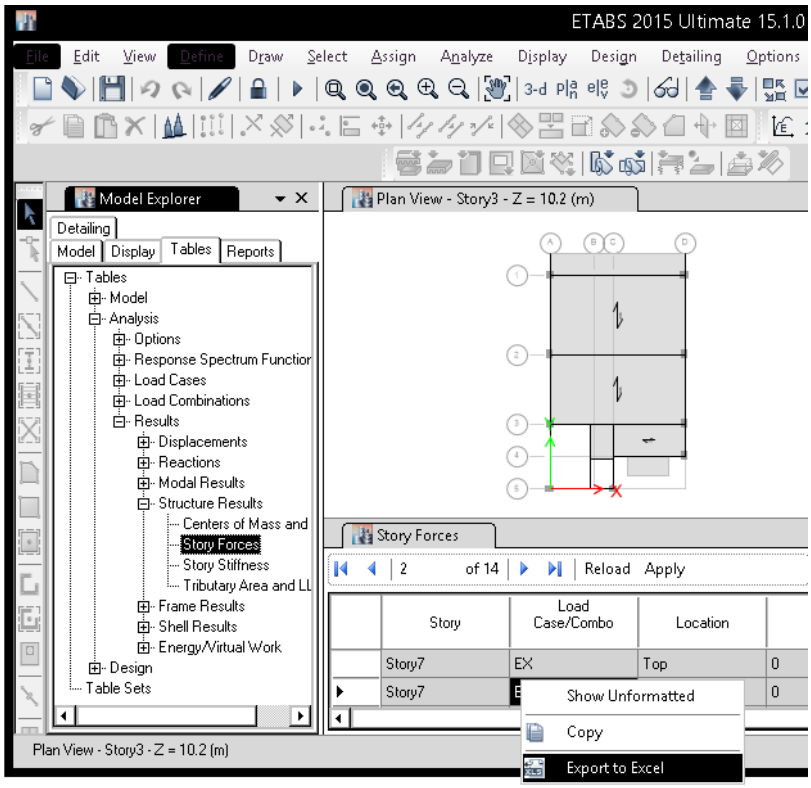
استفاده از آنالیز خطی مقاومت *R1* طبقه (با استفاده از نسبت تنش ها) قابل دست یابی می باشد. بنابراین در صورت استفاده از آنالیز خطی، مقاومت جانبی طبقه هر دو سازه یکسان بدست می آید. برای بدست آوردن مقاومت واقعی طبقه و محاسبه *R2* و *R3* باید آنالیز غیر خطی انجام شود. در مثالهای انتهای این فصل، نحوه بدست آوردن مقاومت *R1* سازه بر اساس نتایج نرم افزاری تشریح شده است.



شکل ۴، نمودار نیرو تغییرمکان طبقه سازه

۲- طبقاتی که برش در آنها از *0.35* درصد برش پایه تجاوز می کند

کنترل درجه نامعینی در طبقات آخر لازم نیست. طبق استاندارد ۲۸۰۰ لازم نیست در طبقاتی که برش ناشی از زلزله در آنها کمتر از *0.35* برش پایه می باشد، درجه نامعینی بالا باشد. برای تعیین اینکه چند طبقه آخر سازه نیاز به کنترل ندارند می توان برش طبقات را از طریق نرم افزار (گزینه *Story Shear* در شکل زیر) بدست آورد. پس از تحلیل سازه ابتدا برش طبقات را در نرم افزار مشاهده می کنیم:



شکل ۵ استخراج نیروی برشی طبقات از نرم افزار ETABS 2015

در جدول ۲ خروجی نرم افزار نمایش داده شده است. story7 مربوط به طبقه خرپشته می باشد که نیرویی بدان وارد نشده است و Vx آن صفر می باشد. برش پایه کل سازه تحت EX برابر 1270 kN می باشد. به طبقه Story6 نیروی 428 kN وارد شده

است که معادل $\frac{428}{1270} = 0.337$ می باشد که کمتر از 0.35 برش پایه می باشد و کنترل درجه نامعنی تنها در طبقات 1 تا 5 انجام خواهد شد.

جدول ۱ نمونه نیروی برشی وارد بر طبقات در یک سازه ۶ طبقه (طبقه ۷ مربوط به خرپشته می باشد).

TABLE: Story Forces								
Story	Load Case/ Combo	Location	P	VX	VY	T	MX	MY
			kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Story7	EX	Top	0	0	0	0	0	0
Story7	EX	Bottom	0	0	0	0	0	-1
Story6	EX	Top	0	-428	0	2910	0	-1
Story6	EX	Bottom	0	-428	0	2910	0	-1488
Story5	EX	Top	0	-728	0	5163	0	-1488
Story5	EX	Bottom	0	-728	0	5163	1	-4060
Story4	EX	Top	0	-959	0	6911	1	-4060
Story4	EX	Bottom	0	-959	0	6911	2	-7513
Story3	EX	Top	0	-1122	0	8142	2	-7513
Story3	EX	Bottom	0	-1122	0	8142	4	-11613
Story2	EX	Top	0	-1224	0	8912	4	-11613
Story2	EX	Bottom	0	-1224	0	8912	10	-16107
Story1	EX	Top	0	-1270	0	9252	10	-16107
Story1	EX	Bottom	0	-1270	0	9252	15	-21052

در سازه های کوتاه (تا ۵ یا ۶ طبقه) معمولا تنها طبقه آخر دارای برش پایه ای کمتر از 0.35 برش پایه خواهد بود و در سازه های بلندتر حدود ۱۳ درصد طبقات آخر برش پایه ای کمتر از 0.35 برش پایه خواهند داشت.

۱-۴ متن استاندارد ۲۸۰۰

متن استاندارد ۲۸۰۰ در رابطه با نحوه تعیین ρ (بند ۳-۳-۲ استاندارد ۲۸۰۰):

ساختمانهایی که سیستم مقاوم جانبی آنها در دو جهت عمود بر هم دارای درجه نامعینی کافی نیستند، باید برای بار جانبی بیشتری طراحی شوند. در این ساختمانها بار جانبی باید با ضریب ρ برابر با 1.2 افزایش داده شود.

ساختمان‌هایی که سیستم مقاوم جانبی آنها دارای خصوصیات زیر هستند، دارای نامعینی کافی بوده و در آنها ضریب $\rho=1$ منظور می‌شود:

الف) درساختمان‌های منظم در پلان، در طبقاتی که برش در آنها از ۳۵ درصد برش پایه تجاوز می‌کند، حداقل دو دهانه سیستم مقاوم جانبی در هر سمت مرکز جرم، در هر دو امتداد عمود بر هم، موجود باشد. در سیستم‌های دارای دیوار برشی نعداد دهانه‌ها از تقسیم طول دیوار بر ارتفاع آن در طبقه بدست می‌آید.

ب) در سایر ساختمان، در طبقاتی که میزان برش در آنها از ۳۵ درصد برش پایه تجاوز می‌کند، چنانچه حذف جزئی از سیستم مقاوم جانبی، مطابق جدول ۲ موجب کاهش مقاومت جانبی طبقه به میزان بیشتر از ۳۳ نشود و در طبقه نامنظمی شدید پیچشی، مطابق تعریف بند (۱-۷-۱) ایجاد نگردد.

جدول ۲ محدودیت مربوط به $\rho = 1.0$

نوع سیستم مقاوم جانبی	ضوابط محدود کردن ρبه یک
سیستم مهاربندی شده	**حذف یک مهاربند یا اتصال آن**
سیستم با دیوار برشی عادی یا دیوار برشی هم بسته با نسبت ارتفاع هر پایه به طول بزرگتر از ۱	**حذف یک دیوار و یا یک پایه و یا اتصالات جمع‌کننده آنها**
سیستم قاب خمشی	**حذف مقاومت خمشی اتصالات دو انتهای یک تیر**
سیستم کنسولی	**حذف مقاومت خمشی در اتصال پایه یکی از ستون‌ها**

۱-۵ تفسیر استاندارد ۲۸۰۰

در استاندارد ۲۸۰۰ برای بررسی درجه نامعینی دو روش الف و ب ارائه شده است:

روش الف: سازه های منظم

روش ب: سایر ساختمان ها (سازه های نامنظم و نیز سازه های منظمی که شرایط بند الف را ارضا نمی کنند).

- در روش الف در هر دو جهت ρ یکسان خواهد بود (نمی توان در یک جهت ρ را ۱ منظور نمود و در جهت دیگر ρ را ۱/۲ در نظر گرفت).
- در صورت استفاده از روش ب طراح می تواند بر حسب مورد تنها یکی از دو جهت را با ضریب ۱/۲ تشدید کند.

به فلوچارت ارائه شده در شکل ۶ توجه نمایید. این فلوچارت برگرفته از FEMA P-751 می باشد و مراحل گام به گام تعیین درجه نامعینی را نشان می دهد. در ادامه توضیحاتی در رابطه با این گامها ارائه میشود:

۱- ابتدا تحلیل خطی انجام خواهد شد.

۲- طبقاتی که درجه نامعینی آنها باید بررسی شود باید مشخص شود (یک یا چند طبقه آخر نیازی به کنترل ندارند). نحوه تعیین تعداد طبقات در مثالهای کاربردی انتهای این نوشتار نشان داده شده است.

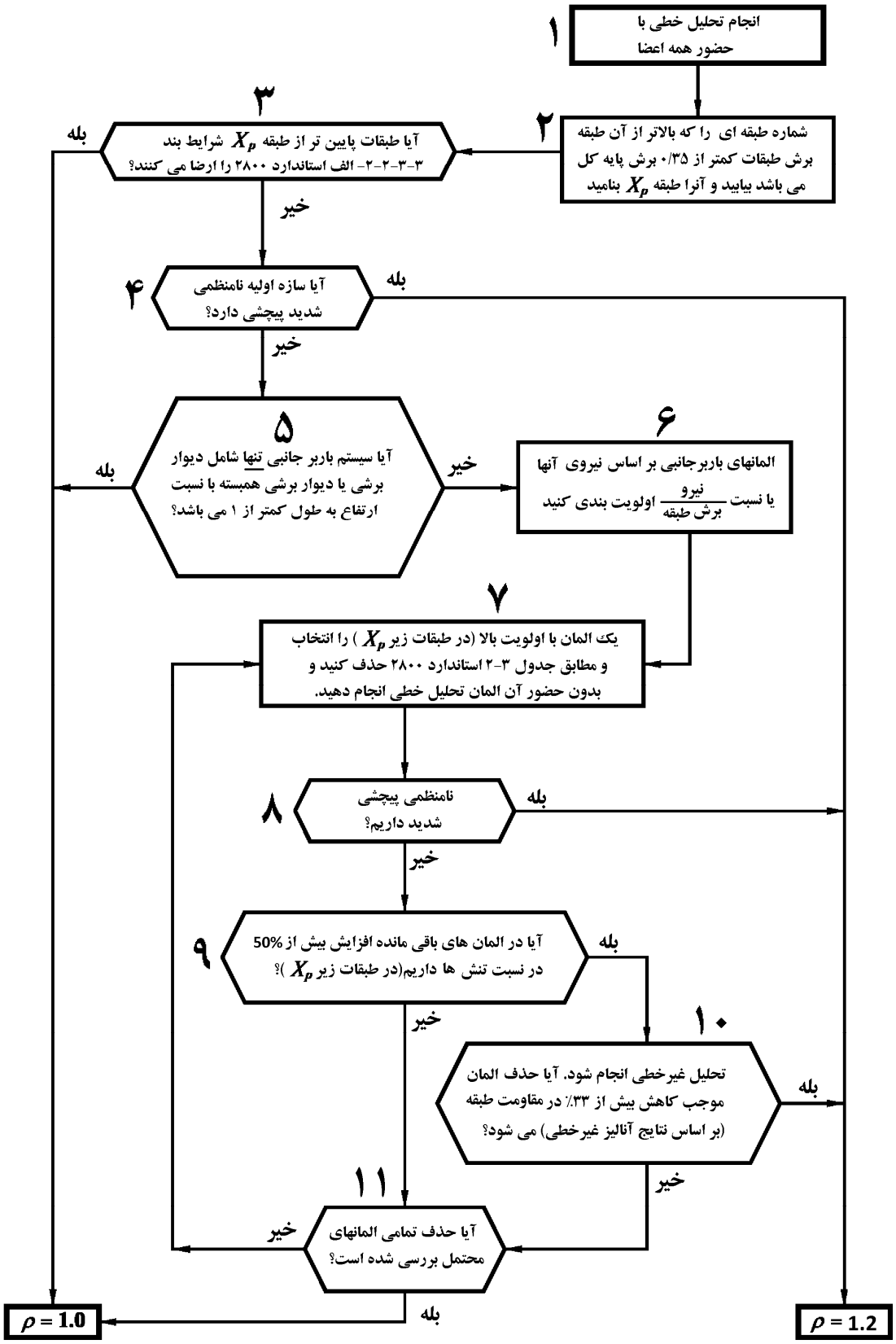
۳- سپس بررسی می شود که آیا با استفاده از روش الف می توان نتیجه گرفت که مقدار $\rho = 1$ می باشد؟

اگر سازه نامنظم باشد و یا اینکه تعداد دهانه های باربر کافی نباشد، در این صورت طراح دو راهکار خواهد داشت:

- یا باید مقدار ρ را در هر دو جهت برای Ex و Ey برابر ۱/۲ فرض نماید.
- و یا اینکه از روش ب استفاده کند (به امید اینکه در صورت استفاده از روش ب مقدار ρ برابر یک بدست آید).

۴- در شروع استفاده از روش ب ابتدا پرسیده می شود که آیا سازه نامنظمی پیچشی شدید دارد یا نه؟

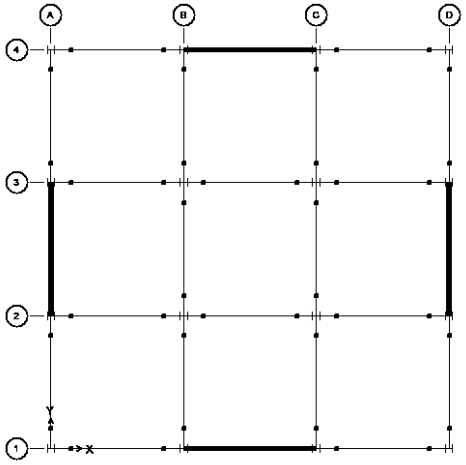
ρ سازه های نامنظم شدید پیچشی همیشه ۱/۲ خواهد بود و نیازی به بررسی ندارد



شکل ۶ فلوچارت تعیین ضریب نامعینی (مرجع FEMA P 750)

۵- طبق آنچه که در راهنمای لرزه ای آیین نامه بارگذاری آمریکا [2] و نیز FEMA P-751[3] آمده است، دیوارهای برشی که طول آن بیشتر از ارتفاع آنها باشد، احتمال فروریزش آنها در زلزله پایین بوده و در کنترل درجه نامعینی لازم نیست این نوع دیوارها حذف شوند. اگر برای مثال ارتفاع طبقه ۳ متر باشد، و طول تمامی دیوارهای برشی بیشتر از ۳ متر باشد، این دیوارها ایمن می باشند. دیوارهایی که طول آنها کمتر از ۳ متر باشد، رفتاری مانند ستون داشته و احتمال تخریب آنها در زلزله بیشتر است.

در این قسمت سوال می شود که آیا سازه "تنها" شامل دیوار برشی با نسبت ارتفاع به طول کمتر از یک می باشد یا نه؟ برای مثال در سازه های فولادی اگر از قاب ساده ساختمانی همراه با دیوار برشی استفاده شود، "تنها" سیستم باربر جانبی سازه دیوار برشی خواهد بود و اگر طول این دیوارها به حد کافی بلند باشد (بلندتر از ارتفاع آنها)، می توان ضریب ρ را برابر با یک در نظر گرفت. برای مثال پلان سازه شکل زیر طول تمامی دیوارها برابر ۵ متر می باشد و ارتفاع آنها در طبقه برابر ۳/۲ متر می باشد. و آز آنجا که تنها سیستم باربر دیوارها می باشند، ضریب نامعینی این سازه برابر یک خواهد بود.



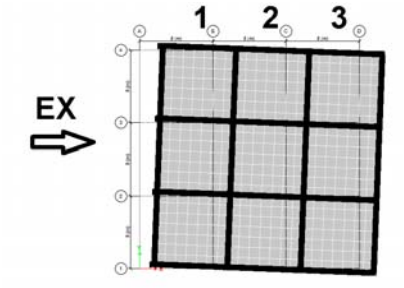
شکل ۷ سیستم قاب ساده فولادی همراه با دیوار برشی بتنی.

در سیستم های "دوگانه" که شامل دیوار برشی + قاب خمشی هستند، اگر طول دیوارها بیش از ارتفاع طبقه باشد، در بررسی کفایت سازه تنها باید احتمال حذف اجزای قاب خمشی بررسی شود.

۶- در این قسمت اعضایی از سازه که باید حذف شوند اولویت بندی می شوند. در رابطه با نحوه اولویت بندی اعضا برای حذف، به خصوص در مواردی که تعداد اعضا زیاد است (مانند قابهای خمشی) مشکل خواهیم داشت. باید عضوی برای حذف انتخاب شود که بیشترین آثار تخریبی را در سازه ممکن است ایجاد کند.

برای انتخاب اعضای بحرانی دو معیار داریم:

۱- پس از حذف عضو پیچش طبقه افزایش یابد. برای این منظور باید تیرهای "کناری" سازه انتخاب شوند. این انتخاب بر اساس تغییرشکل سازه تحت اثر زلزله انجام می شود. در شکل زیر یکی از تیرهای شماره ۱، ۲ یا سه باید انتخاب شوند. از بین این سه تیر نیز (اگر مقطع تیرها یکسان باشد) تیری بحرانی تر خواهد بود که طول آن کمتر باشد. علت: تیرهای کوتاه تاثیر بیشتری در سختی جانبی سازه دارند.



شکل ۸ انتخاب تیر بحرانی بر اساس معیار پیچش

۲- پس از حذف عضو مقاومت جانبی طبقه بیشترین افزایش را داشته باشد. بر اساس این معیار بحرانی ترین اعضا، اعضایی خواهند بود که نیروی قابل توجهی دارند. در قابهای خمشی اگر ابعاد مقطع تیرها یکسان باشند، تیرهای "کوتاهتر" جذب نیروی بیشتری دارند و حذف آنها تاثیر بیشتری در افت مقاومت طبقه خواهد داشت. در گام ششم فلوچارت اشاره شده است که تیرهایی انتخاب شوند که نسبت نیروی عضو به برش طبقه در آن اعضا بیشتر باشد. در این رابطه می توان به دیاگرام برشی تیرها مراجعه کرد و تیری را انتخاب نمود که نیروی برشی بیشتری (تحت اثر زلزله مربوطه) در آن ایجاد می شود. به مثالهای کاربردی انتهای فصل مراجعه نمایید.

۷- پس از تعیین اعضای بحرانی باید از مدل اصلی یک کپی (..save as) تهیه کرده و در مدل جدید عضو مورد نظر حذف می شود. حذفیات بر اساس جدول ۳-۲ استاندارد ۲۸۰۰ انجام خواهد شد. خذفیات شامل موارد زیر می باشد:

- بادبند

در صورتی که در سازه بادبند داشته باشیم، "یکی" از بادبندها از مدل حذف خواهند شد. در صورتی که بادبند ضربدری داشته باشیم، تنها یکی از قطری ها حذف خواهد شد. این حذف تنها در "یکی از طبقات" انجام خواهد شد و لازم نیست در کلیه طبقات بادبند مورد نظر حذف شود.

- قاب خمشی

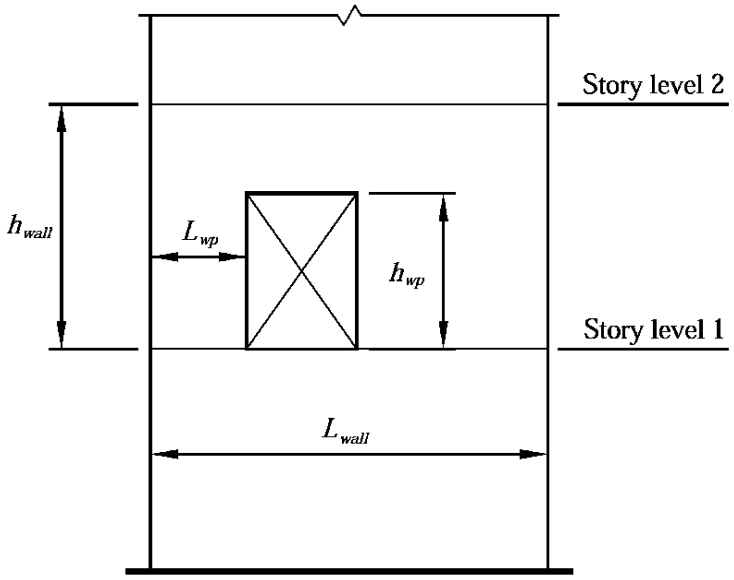
در صورتی که قاب خمشی داشته باشیم، یکی از تیرهای قاب خمشی در "یکی از طبقات" باید در مدل دوسرمفصل شود (دو سرمفصل کردن تیر در حقیقت موجب از دست رفتن باربری جانبی آن دهانه می شود)

- دیوار برشی

در صورتی که دیوار برشی داشته باشیم، تنها دیوارهایی که طول کم دارند (طولشان کمتر از ارتفاع طبقه می باشد)، باید حذف شوند. به متن جدول ۳-۲ استاندارد ۲۸۰۰ توجه نمایید. عبارت عنوان شده در این جدول به صورت زیر می باشد:

" سیستم با دیوار برشی عادی **یا** دیوار برشی هم بسته با نسبت ارتفاع هر پایه به طول بزرگتر از ۱"

به "یا" در عبارت فوق دقت نمایید. اصولا شرط "نسبت ارتفاع هر پایه به طول بزرگتر از ۱" تنها به دیوار برشی هم بسته (دیوارهای کوپله) اشارت می کند و دیوارهای برشی عادی با هر طولی که داشته باشند، باید حذف آنها از مدل بررسی شود. بررسی مراجع مختلف (از جمله FEMA p 750) نشان می دهد که منظور نویسندگان آیین نامه از شرط نسبت ارتفاع به طول هم مربوط به دیوار عادی می باشد و هم دیوار هم بسته را شامل می شود. شکل ۹ نحوه محاسبه نسبت ارتفاع به طول را در دیوارها نشان میدهد.



h_{wall} = ارتفاع دیوار برشی
h_{wp} = ارتفاع دیوار برشی هم بسته
L_{wall} = طول دیوار برشی
L_{wp} = طول دیوار برشی هم بسته

نسبت ارتفاع به طول در دیوار برشی $= \frac{h_{wall}}{L_{wall}}$

نسبت ارتفاع به طول در دیوار برشی هم بسته $= \frac{h_{wp}}{L_{wp}}$

شکل ۹ تعیین نسبت ارتفاع به طول دیوارهای برشی (مرجع FEMA P 750)

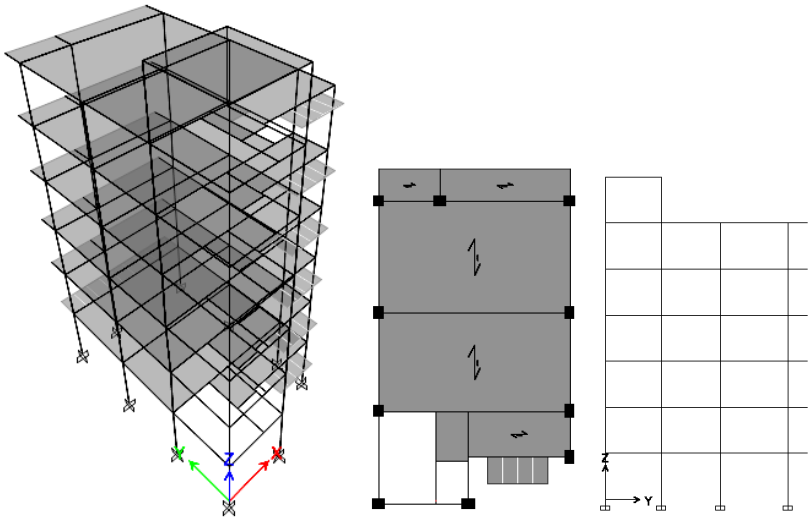
۸- در مدلی که عضو مورد نظر حذف شده تحلیل خطی انجام می شود و بررسی می شود که آیا سازه پس از حذف عضو نامنظمی شدید پیچشی دارد یا نه؟ در صورتی که سازه پیچش شدید داشته باشد، پاسخ سوال در قسمت ۸ "بلی" بوده و ضریب نامعینی برابر ۱/۲ خواهد بود. در غیر این صورت به قسمت ۹ خواهیم رفت

۹- در این قسمت یک برآورد اولیه از کاهش مقاومت جانبی طبقه انجام می شود. طبق جدول ۳-۲ استاندارد ۲۸۰۰ پس از حذف عضو از سیستم نباید بیش از ۳۳ درصد کاهش مقاومت داشته باشیم. همانطور که در قسمت تعاریف عنوان گردید دو روش برای محاسبه مقاومت طبقه وجود دارد: روش خطی و روش غیرخطی. انجام آنالیز غیر خطی هزینه بر بوده و مستلزم صرف وقت می باشد. در قسمت ابتدا به روش آنالیز خطی یک برآورد اولیه از تغییرات نسبت تنشها در سازه انجام می شود. بدین ترتیب که ابتدا در سازه اولیه (که در آن عضو حذف نشده) نسبت تنشها محاسبه می شود. فرض کنید نسبت تنش در یکی از ستونهای یک قاب خمشی در سازه اولیه برابر ratio1 باشد. سپس نسبت تنشها در سازه تضعیف شده (پس از حذف عضو) محاسبه می شود و فرض نمایید که نسبت تنش در همان ستون به ratio2 افزایش یابد. اگر $\frac{\text{ratio2}-\text{ratio1}}{\text{ratio1}} > 1.5$ باشد، آنالیز خطی کافی نبوده و باید آنالیز غیر خطی انجام شود و مقاومت کل طبقه محاسبه گردد. در آنالیز خطی باید نسبت تنش در تک تک اعضا کنترل شود و هیچ عضوی نباید تغییر بیش از 50 درصد باشد در غیر این صورت طراح یا باید مقدار ρ را برابر ۱/۲ منظور کند و یا اینکه در سازه آنالیز غیرخطی انجام دهد و مقاومت واقعی طبقه را در دو سازه محاسبه کند.

در ادامه برای روشن شدن نحوه تعیین ضریب ρ مثالهای کابردی ارائه میشود.

۱-۶ مثال ۱

مثال اول مربوط به یک سازه ۶ طبقه با سیستم قاب خمشی در هر دو جهت می باشد. پلان و نمای سه بعدی سازه در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰ سازه مربوط به مثال ۱

برای تعیین درجه نامعینی بر اساس فلوچارت جدول ۲جدول ۲ عمل می شود:

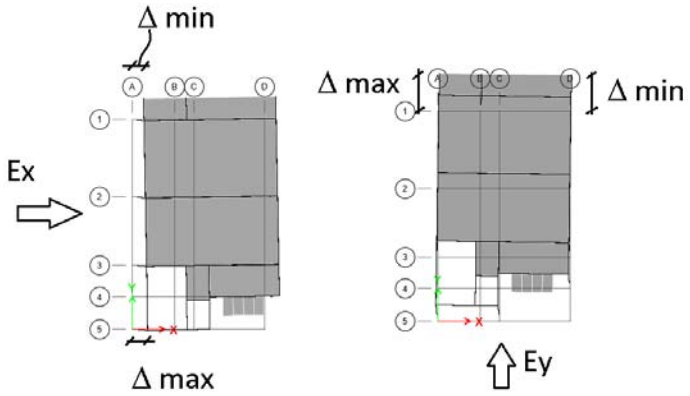
گام ۱: انجام آنالیز خطی

گام ۲: با توجه به اینکه طبقات مشابه می باشد، نیازی به تعیین طبقات بحرانی نمی باشد بدین معنی که اگر در طبقات پایین درجه نامعینی تامین شود، در طبقه بام نیز سازه نامعینی کافی خواهد داشت.

گام ۳: تنها در سازه های کاملا منظم می توان از روش الف برای تعیین درجه نامعینی استفاده نمود. بنابراین ابتدا باید بررسی شود که این سازه منظم هست یا نه؟

بررسی نامنظمی پیچشی:

شکل ۱۱ تغییر مکان جانبی طبقه تحت زلزله های Ex و Ey نمایش داده شده است. تغییر شکلها باید با منظور کردن 5 درصد خروج از مرکزیت اتفاقی بدست آمده باشند. همانطور که در شکلها مشاهده می شود Δ_{max} و Δ_{min} در هر دو راستا تفاوت کمی با هم دارند و مسلما در صورت محاسبه جابجایی نسبی طبقات نسبت $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ave}}$ نسبی طبقه کمتر از ۱/۲ خواهد بود و بنابراین سازه نامنظمی پیچشی نخواهد داشت. در مواردی که نسبت های حاصل از خروجی نرم افزار ETABS به مقدار ۱/۲ نزدیک باشند، باید مقدار دقیق آن محاسبه شود.



شکل ۱۱ تغییرمکان جانبی سازه مثال ۱ تحت اثر زلزله های افقی

بررسی نامنظمی هندسی:

در گوشه داخلی که در شکل نشان داده شده است، در راستای عرضی سازه، پس رفتگی در پلان بیش از ۲۰ درصد می باشد ولی پس رفتگی در طول سازه کمتر از ۲۰ درصد می باشد:

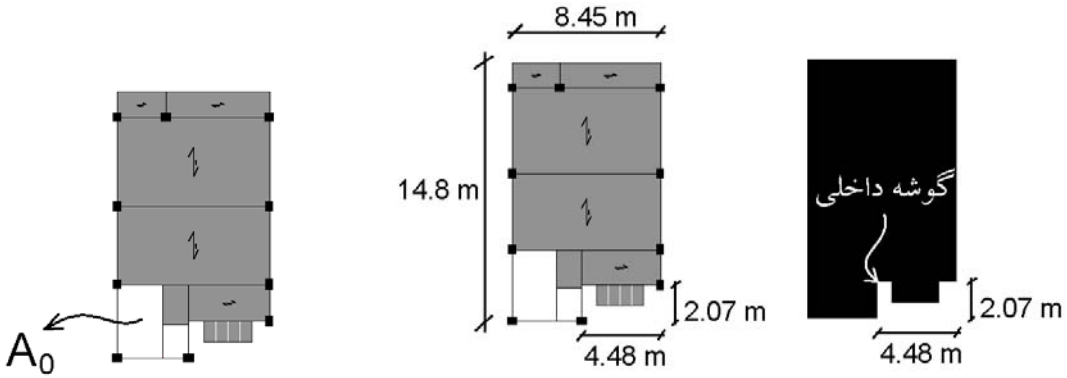
$$\frac{4.48}{8.45} > 0.2$$

$$\frac{2.07}{14.8} < 0.2$$

طبق استاندارد ۲۸۰۰ سازه تنها زمانی نامنظم هندسی محسوب می شود که در هر دو راستا بیش از ۲۰ درصد پس رفتگی داشته باشیم. بنابراین این سازه نامنظم هندسی ندارد.

کنترل نامنظمی در دیافراگم:

مساحت مربوط به راه پله و آسانسور (A_0) کمتر از نصف مساحت کل سازه ($\frac{A}{2}$) می باشد و بنابراین نامنظمی دیافراگم نداریم.

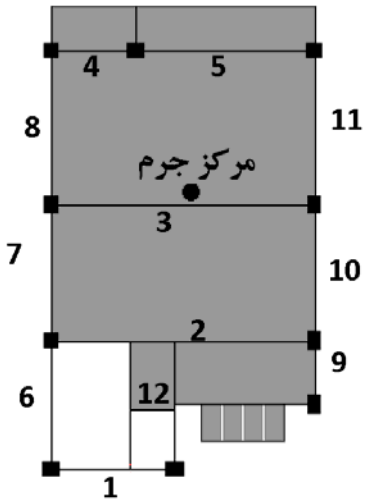


شکل ۱۲ نامنظمی در پلان سازه الف) بررسی نامنظمی هندسی، ب) بررسی نامنظمی در دیافراگم

طبق بند ۳-۳-۲-۲- الف استاندارد ۲۸۰۰ در سازه های منظم در صورتی که در هر طرف مرکز جرم سازه حداقل دو دهانه مقاوم جانبی (در هر دو امتداد عمود بر هم) داشته باشیم، ضریب نامعینی برابر یک خواهد بود. با توجه به شکل ۱۳ در راستای طولی ساز در سمت چپ سازه چهار دهانه باربر خمشی (دهانه های *6,7,8, 12*) و در سمت راست مرکز جرم نیز سه دهانه باربر خمشی (دهانه های *9, 10, 11*) قرار دارند و بنابراین این سازه در راستای طولی از درجه نامعینی کافی برخوردار می باشد. در

راستای عرضی نیز در قسمت فوقانی دو دهانه (*4, 5*) و در قسمت پایین نیز سه دهانه (*1,2, 3*) قرار دارند. بنابراین در راستای عرضی نیز درجه نامعینی بالایی دارد.

بنابراین این سازه در دو راستای متعامد دارای درجه نامعینی کافی بوده و $\rho = 1$ می باشد.



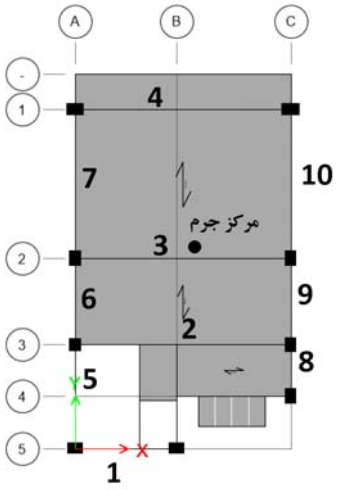
شکل ۱۳ شماره گذاری تیرهای مثال ۱ و محل مرکز جرم طبقه

همانطور که مشاهده می شود، کنترل سازه های "منظم" برای درجه نامعینی طبق بند ۳-۳-۲-۲- الف استاندارد ۲۸۰۰ بدون صرف وقت و هزینه برای طراحان امکان پذیر می باشد و تنها کافی است که تعداد دهانه های باربر در هر طرف مرکز جرم شمارش شود.

۱-۷ مثال ۲

سازه مثال ۲ همان سازه مثال ۱ می باشد، با این تفاوت که یکی از ستونها در انتهای فوقانی سازه حذف شده است و بنابراین تعداد دهانه های قاب خمشی آن کمتر می باشد.

فرض اولیه: فرض نمایید سازه مثال ۲ منظم باشد.



شکل ۱۴ شماره گذاری تیرهای مثال۲ و محل مرکز جرم طبقه

گام ۱: انجام تحلیل خطی.

گام ۲: با توجه به اینکه طبقات مشابه می باشد، نیازی به تعیین طبقات بحرانی نمی باشد بدین معنی که اگر در طبقات پایین درجه نامعینی تامین شود، در طبقه بام نیز سازه نامعینی کافی خواهد داشت.

گام سوم: این سازه منظم می باشد و ابتدا طبق روش الف مورد بررسی قرار می گیرد. سازه در راستای طولی به حد کافی دهانه های قاب خمشی دارد ولی در راستای عرضی در قسمت فوقانی تنها یک دهانه قاب خمشی وجود دارد و بنابراین شرایط روش الف تامین نمی شود.

اگر طراح این سازه بخواهد طبق بند ۳-۳-۲-۲- الف استاندارد ۲۸۰۰ عمل کند، با توجه به اینکه در "یکی" از دو راستای x و y، سازه درجه نامعینی کافی ندارد، زلزله "هر دو جهت" باید با ضریب $\rho = 1.2$ تشدید شود.

در نتیجه با وجود اینکه در راستای طولی (راستای y) به حد کافی دهانه باربر داریم، زلزله Ey نیز باید 1.2 برابر شود (در روش الف خشک و تر باهم می سوزند).

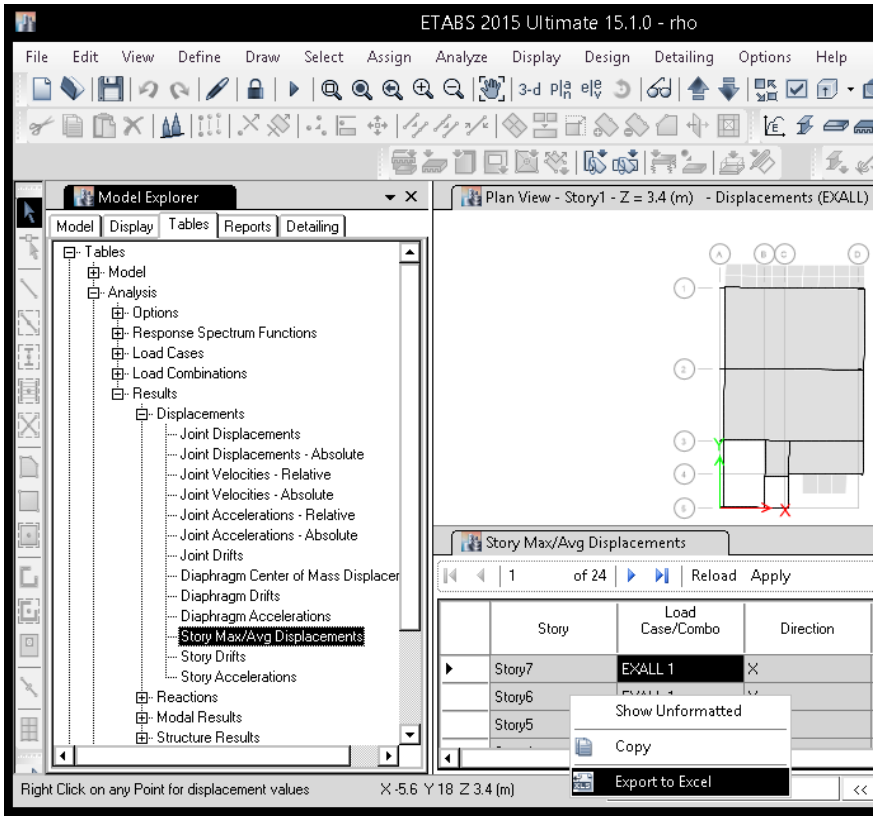
طراح می تواند برای اقتصادی شدن طرح به جای استفاده از روش الف، از روش ب استفاده نماید تا مجبور نشود در هر دو جهت ρ را 1.2 منظور کند. در صورت استفاده از روش ب، مقدار ρ به صورت جداگانه برای هر جهت محاسبه می شود.

۱-۷-۱ محاسبه ضریب ρ در سازه مثال ۲ برای زلزله راستای (x)

بر اساس فلوچارت شکل ۶ و از گام چهارم ادامه می دهیم:

گام ۴

سازه اولیه نامنظمی شدید پیچشی ندارد. مراحل کنترل نامنظمی پیچشی شدید این سازه در شکلهای زیر نمایش داده شده است:



شکل ۱۵ نحوه خروجی گرفتن از نرم افزار ETABS 2015 برای کنترل نامنظمی پیچشی

جدول ۳ خروجی نرم افزار را نشان می دهد. نسبت تغییرشکل حداکثر به تغییرشکل میانگین (ratio در جدول زیر) 1.139 که بسیار کمتر از 1.4 می باشد. بنابراین سازه اولیه نامنظمی پیچشی شدید ندارد.

نکته: در استاندارد ۲۸۰۰ تغییرمکان "نسبی" طبقات معیار محاسبه نامنظمی می باشد. در حالیکه خروجی نرم افزار ETABS تغییرمکانهای مطلق را نمایش می دهد. نتایج ایندو اندکی با هم تفاوت دارند. با توجه به اینکه مقدار 1.139 بسیار کمتر از 1.4 می باشد، نیازی به محاسبه دقیق این نسبت نمی باشد.

جدول ۳ خروجی نرم افزار برای سازه مثال ۲

TABLE: Story Max/Avg Displacements					
Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum	Average	Ratio
			mm	mm	
Story7	EXALL 1	X	91.1	88.3	1.032468
Story6	EXALL 1	X	103.1	94.5	1.090987
Story5	EXALL 1	X	92.4	84.8	1.090126
Story4	EXALL 1	X	75.9	69.7	1.089643
Story3	EXALL 1	X	55	50.6	1.086615
Story2	EXALL 1	X	32	29.7	1.077866
Story1	EXALL 1	X	11.5	10.8	1.066026
Base	EXALL 1	Y	0	0	
Story7	EXALL 2	Y	64.5	63.2	1.020423
Story6	EXALL 2	Y	62.6	60.2	1.040018
Story5	EXALL 2	Y	56.5	54.3	1.040527
Story4	EXALL 2	Y	46.8	44.9	1.040812
Story3	EXALL 2	Y	34.7	33.4	1.039237
Story2	EXALL 2	Y	21.3	20.5	1.04001
Story1	EXALL 2	Y	8.6	8.3	1.034694
Base	EXALL 2	Y	0	0	
Story7	EXALL 3	X	89.1	84.3	1.057145
Story6	EXALL 3	X	109.8	95.9	1.145013
Story5	EXALL 3	X	98.4	86	1.144453
Story4	EXALL 3	X	80.8	70.7	1.144257
Story3	EXALL 3	X	58.6	51.3	1.142007
Story2	EXALL 3	X	34.1	30.1	1.134876
Story1	EXALL 3	X	12.3	10.8	1.139334
Base	EXALL 3	Y	0	0	
Story7	EYALL 1	Y	64.9	63.6	1.020496
Story6	EYALL 1	Y	63	60.6	1.040155
Story5	EYALL 1	Y	56.8	54.6	1.040665
Story4	EYALL 1	Y	47	45.1	1.040953
Story3	EYALL 1	Y	34.8	33.5	1.039372
Story2	EYALL 1	Y	21.4	20.5	1.040152
Story1	EYALL 1	Y	8.6	8.3	1.034836
Base	EYALL 1	Y	0	0	
Story7	EYALL 2	Y	62.3	62.2	1.002396
Story6	EYALL 2	Y	60.5	60.5	1.000246
Story5	EYALL 2	Y	54.5	54.5	1.000795
Story4	EYALL 2	Y	45.1	45	1.001173
Story3	EYALL 2	Y	33.4	33.4	1.000016
Story2	EYALL 2	Y	20.5	20.5	1.001662
Story1	EYALL 2	Y	8.3	8.3	1.001632
Base	EYALL 2	Y	0	0	
Story7	EYALL 3	Y	67.5	65	1.037804
Story6	EYALL 3	Y	65.5	60.7	1.079924
Story5	EYALL 3	Y	59.1	54.7	1.08038
Story4	EYALL 3	Y	48.9	45.2	1.080566
Story3	EYALL 3	Y	36.2	33.5	1.078601
Story2	EYALL 3	Y	22.2	20.6	1.078477
Story1	EYALL 3	Y	8.9	8.3	1.071178
Base	EYALL 3	Y	0	0	

گام ۵ در این سازه سیستم باربر جانبی قاب خمشی می باشد و دیوار برشی نداریم

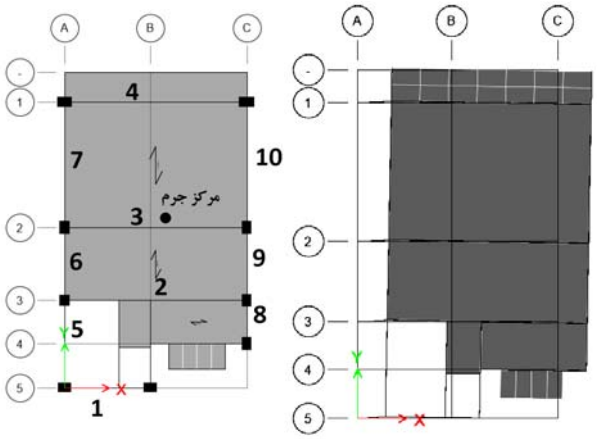
گام ۶

اولویت بندی بر اساس معیار پیچش:

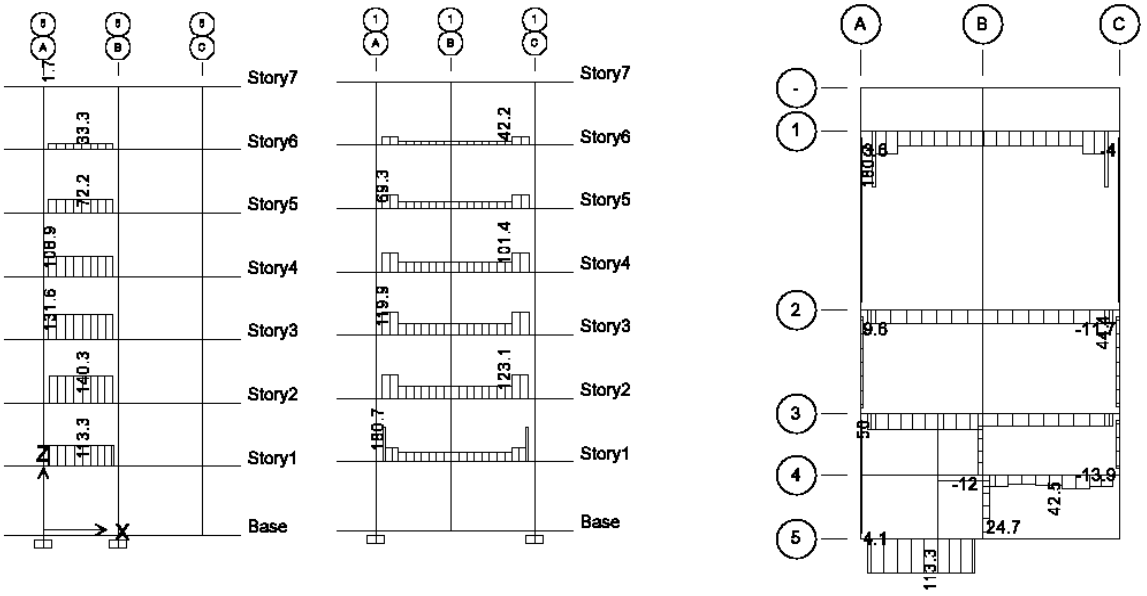
برای زلزله راستای x یکی از دو تیر شماره ۴ یا ۱ باید حذف شود. علت: بهتر است تیرهای کناری انتخاب شود چون در این صورت پس از حذف تیرهای کناری، احتمال اینکه سازه دچار پیچش شدید شود، بیشتر است. با توجه به شکل ۱۶(الف) تغییر شکل سازه اولیه تحت زلزله Ex در قسمت فوقانی سازه بیشتر است و بنابراین برای ایجاد بیشترین پیچش، بهتر است تیر شماره ۴ حذف شود.

اولویت بندی بر اساس کاهش مقاومت طبقه:

شکل ۱۶ (ب، ج و د) دیاگرام برش تیرها را تحت اثر زلزله EX نشان می دهد. با توجه به دیاگرام برش تیرها، تیرهای محورهای ۱ و ۵ دارای برش بیشتری نسبت به دیگر تیرها می باشند. اولویت حذف با تیرهایی می باشند که نسبت $\frac{\text{برش تیر}}{\text{برش طبقه}}$ در آنها بیشتر از بقیه باشد.



الف



د ج ب

شکل ۱۶ الف) تغییرشکل سازه تحت زلزله EX، ب) دیاگرام برش تیرها در طبقه اول، ج) دیاگرام برش تیر ها در آکس۱، د) دیاگرام برش تیرها در آکس ۵

جدول ۴ برش طبقات برای سازه مثال ۲

TABLE: Story Forces				
Story	Load Case/Combo	Location	P	VX
			kN	kN
Story7	EX	Bottom	0	0
Story6	EX	Bottom	0	-288.7
Story5	EX	Bottom	0	-490.2
Story4	EX	Bottom	0	-644.8
Story3	EX	Bottom	0	-753.8
Story2	EX	Bottom	0	-822
Story1	EX	Bottom	0	-853.2

متاسفانه دیاگرام برش در تیر شماره ۴ (آکس ۱) به علت حضور دال از نوع shell و مشبندی آن، به صورت دندانه دار می باشد. به این معنی که این دال در باربری لرزه ای تیر ۴ دخالت می کند و دیاگرام برش این تیر چندان قابل اعتماد نیست به همین دلیل علاوه بر تیر شماره ۴ (که دارای بیشترین برش است)، تیر شماره ۱ نیز باید کنترل شود.

سوال: تیر شماره ۴ و یا شماره ۱ از کدام طبقه انتخاب شود؟

پاسخ: می توان دیاگرام برش تیرهای شماره ۴ و ۱ را (تحت زلزله Ex) در ارتفاع بررسی کرد. شکل ۱۶(ج) نمودار نیروی برشی تیرهای شماره ۴ و شکل ۱۶(د) نمودار نیروی برشی تیرهای شماره ۱ را تحت اثر زلزله EX نشان می دهد. باید نسبت $\frac{\text{برش تیر}}{\text{برش طبقه}}$ را در این تیرها بررسی نمود:

$$\left(\frac{\text{برش تیر}}{\text{برش طبقه}}\right)_{\text{Beam4-Story1}} = \frac{180.7}{853.2} = 0.21$$

$$\left(\frac{\text{برش تیر}}{\text{برش طبقه}}\right)_{\text{Beam4-Story2}} = \frac{123}{822} = 0.15$$

$$\left(\frac{\text{برش تیر}}{\text{برش طبقه}}\right)_{\text{Beam1-Story1}} = \frac{113.3}{853.2} = 0.13$$

$$\left(\frac{\text{برش تیر}}{\text{برش طبقه}}\right)_{\text{Beam1-Story2}} = \frac{140.3}{822} = 0.17$$

تیر شماره ۱: بیشترین نسبت برش مربوط به تیر طبقه دوم می باشد.

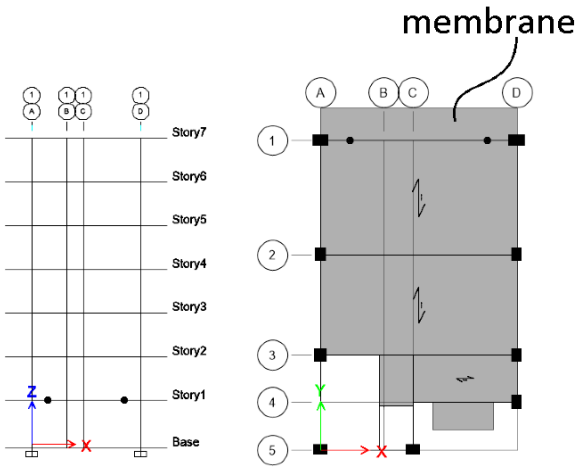
تیر شماره ۴: بیشترین نسبت مربوط به تیر طبقه اول می باشد.

گام ۷

کنترل کارایی سازه در صورت حذف مقاومت خمشی شماره ۴ در طبقه اول:

شکل ۱۷ سازه را پس از دوسرمفصل کردن تیر شماره ۴ طبقه اول را نشان می دهد. پس از تخریب تیر، دال طره که از نوع shell تعریف شده است، دارای مقاومت خمشی بوده به صورت یک تیر جایگزین خمشی عمل می کند. بنابراین

پس از دوسرمفصل کردن، باید سختی خمشی دال طره متصل به آن نیز کاهش یابد. برای این منظور می توان در سازه تضعیف شده دال را از نوع membrane تعریف نمود.



شکل ۱۷ حذف مقاومت خمشی تیر طبقه اول (شماره ۴) و کاهش سختی خمشی دال متصل به آن

گام ۸

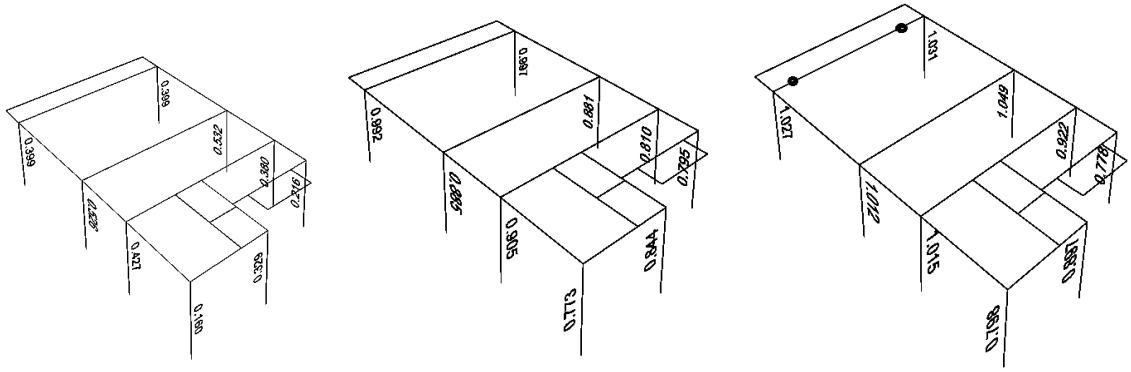
در سازه ای که تیر آن دوسر مفصل شده است، نامنظمی پیچشی کنترل می شود. نتایج حاصل از تحلیل سازه در جدول ۵ نشان داده شده است. پس از حذف تیرها مقادیر ratio کمتر از 1.4 می باشند و بنابراین سازه پس از حذف مقاومت جانبی تیر شماره ۴ دچار پیچش شدید نشده است.

جدول ۵، جابجایی جانبی سازه پس از حذف تیر شماره ۴ در طبقه اول

TABLE: Story Max/Avg Displacements					
Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum	Average	Ratio
			mm	mm	
Story7	EXALL 1	X	94	90.2	1.042384
Story6	EXALL 1	X	110.3	99.1	1.113532
Story5	EXALL 1	X	99.6	89.3	1.115087
Story4	EXALL 1	X	83	74.1	1.11941
Story3	EXALL 1	X	61.8	54.9	1.125555
Story2	EXALL 1	X	37.8	33.3	1.13472
Story1	EXALL 1	X	14.3	12.3	1.159917
Base	EXALL 1	Y	0	0	
Story7	EXALL 2	X	64.5	63.2	1.020908
Story6	EXALL 2	X	62.7	60.2	1.041125
Story5	EXALL 2	X	56.5	54.3	1.041758
Story4	EXALL 2	X	46.8	44.9	1.042306
Story3	EXALL 2	X	34.7	33.4	1.041209
Story2	EXALL 2	X	21.4	20.5	1.04286
Story1	EXALL 2	X	8.6	8.3	1.038186
Base	EXALL 2	Y	0	0	
Story7	EXALL 3	X	92.1	86.3	1.06764
Story6	EXALL 3	X	117.5	100.8	1.166094
Story5	EXALL 3	X	106.1	90.8	1.167787
Story4	EXALL 3	X	88.4	75.4	1.172081
Story3	EXALL 3	X	65.8	55.9	1.17841
Story2	EXALL 3	X	40.3	33.9	1.188135
Story1	EXALL 3	X	15.3	12.4	1.229485
Base	EXALL 3	Y	0	0	

گام ۹

در این قسمت ابتدا نسبت تنشها پس از طراحی اعضا بررسی می شود. شکل ۱۸نسبت تنشها را در "طبقه اول" قبل و پس از دو سرمفصل کردن تیر شماره ۴ نشان می دهد. سازه اولیه در دو حالت بررسی می شود. ابتدا نیروهای زلزله از سازه حذف می شوند و سازه تحت اثر ترکیب بارهای بدون زلزله (1.2D+L+0.2S) کنترل می شود در این حالت نسبت تنشها پایین خواهد بود (شکل ۲۱ ج). سپس سازه اولیه تحت اثر ترکیب بار کامل شامل نیروهای لرزه ای کنترل می شود (1.2D+L+0.2S+E). نسبت تنشها در این حالت در شکل ۲۱ ب نشان داده شده است. سپس سازه تضعیف شده تحت اثر ترکیب بار کامل کنترل می شود که نسبت تنشهای آن در شکل ۲۱ الف نشان داده شده است.



الف) ب) ج)

شکل ۱۸، نسبت تنشها، الف) سازه تضعیف شده تحت اثر بار ثقلی و زلزله ضریب دار ب) سازه اولیه تحت اثر بار ثقلی و زلزله ضریب دار ج) سازه اولیه تحت اثر بار ثقلی

با توجه به اینکه هدف کنترل مقاومت "جانبی" طبقه می باشد، اثر بار ثقلی باید از نسبت تنش ها کاسته شود. برای مثال در سمت سمت چپ بالا در شکل ۲۱ نسبت تنش کل در سازه اولیه برابر Ratio2=0.992 می باشد که Ratio1=0.399 آن مربوط به بار ثقلی می باشد و بنابراین در اثر زلزله نسبت تنش در این سوتن به اندازه Ratio3=Ratio2-Ratio1=0.653 افزایش یافته است.

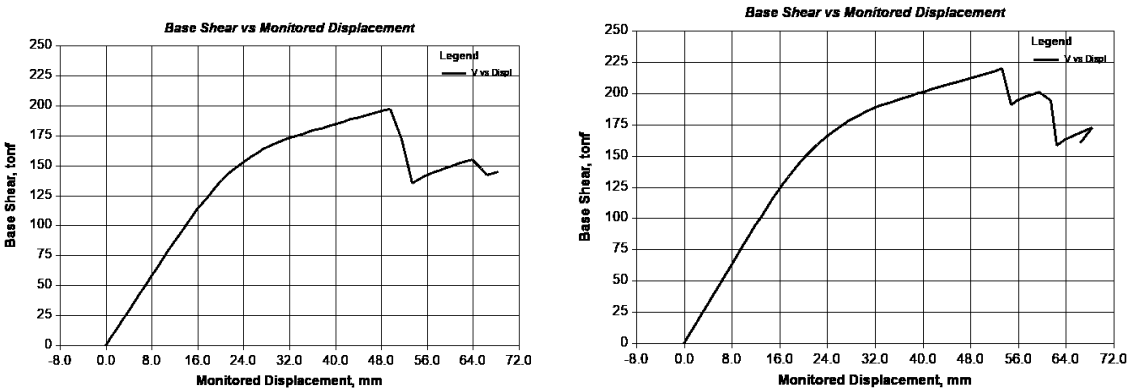
در جدول ۶ نسبت تنش مربوط به زلزله در سازه اولیه و سازه تضعیف شده محاسبه شده است (Ratio3 و Ratio5) و در نهایت در انتهای جدول درصد کاهش مقاومت طبقه برای تمامی ستونهای طبقه محاسبه شده است. تغییرات نسبت تنش در یکی از ستونها به اندازه ۴۸درصد می باشد که کمتر از ۵۰ درصد عنوان شده در گام ۹ می باشد و بنابراین حذف تیر شماره ۴ موجب کاهش شدید مقاومت نمی شود.

جدول ۶ محاسبه درصد کاهش مقاومت جانبی طبقه اول در اثر تضعیف تیر شماره ۴

سازه اولیه (تنها بار ثقلی)	سازه اولیه (بار ثقلی+زلزله)	سازه اولیه (زلزله)	سازه تضعیف شده (بار ثقلی+زلزله)	سازه تضعیف شده (زلزله)	درصد کاهش مقاومت طبقه اول
Ratio1	Ratio2	Ratio3= Ratio2-Ratio1	Ratio4	Ratio5= Ratio4-Ratio1	$100 \times \frac{Ratio5 - Ratio3}{Ratio3}$
0.339	0.992	0.653	1.027	0.688	5.359877
0.526	0.885	0.359	1.012	0.486	35.37604
0.427	0.905	0.478	1.015	0.588	23.01255
0.16	0.773	0.613	0.798	0.638	4.078303
0.329	0.844	0.515	0.887	0.558	8.349515
0.216	0.795	0.579	0.778	0.562	-2.9361
0.38	0.81	0.43	0.922	0.542	26.04651
0.532	0.881	0.349	1.049	0.517	48.13754
0.399	0.997	0.598	1.031	0.632	5.685619

گام ۱۰

افزایش در نسبت تنشها در گام قبلی در تمامی اعضا کمتر از ۵۰% بود و بنابراین نیازی به کنترل گام ۱۰ نمی باشد و می توان از گام ۹ به گام ۱۱ رفت. با این وجود جهت آشنایی بیشتر، در سازه مورد نظر آنالیز غیرخطی push over انجام شده است که نتایج نیرو- تغییرمکان آن در شکل ۱۹ نمایش داده شده است. مقاومت جانبی طبقه اول در سازه اولیه برابر ۲۲۰ تن و در سازه تضعیف شده برابر ۱۹۷ تن می باشد. بنابراین مقاومت طبقه پس از تضعیف سازه به اندازه ۱۱ درصد کاهش یافته است که بسیار کمتر از ۳۳ درصد می باشد. بنابراین بر اساس حذف تیر شماره ۴، ضریب نامعینی سازه برابر یک خواهد بود.



شکل ۱۹، نمودار نیرو تغییرمکان طبقه اول، الف) سازه اولیه، ب) سازه تضعیف شده

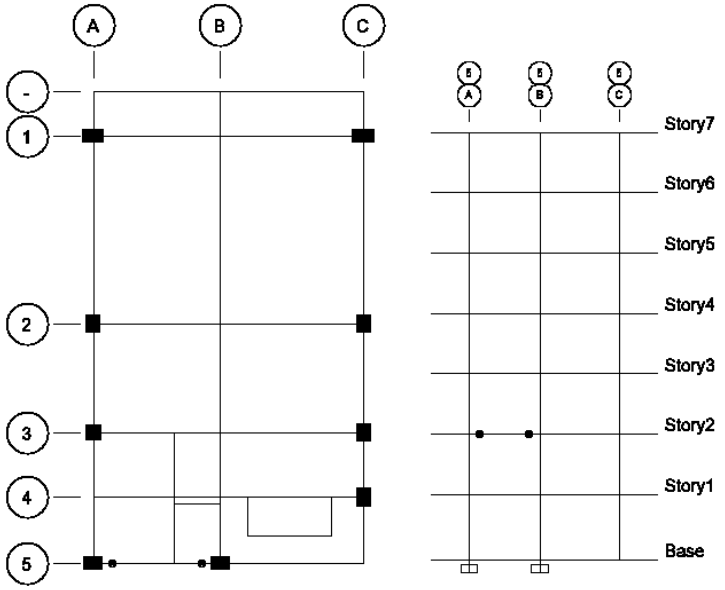
گام ۱۱

تیر شماره ۱ مثال ۲ نیز حذف و کفایت سازه کنترل می گردد:

گام ۷

با توجه نتایج قبلی تیر شماره ۵ در طبقه دوم حذف گردیده و تاثیر آن بررسی می شود.

شکل ۱۷ سازه را پس از دوسرمفصل کردن تیر شماره ۱ (آکس ۵) طبقه دوم را نشان می دهد.



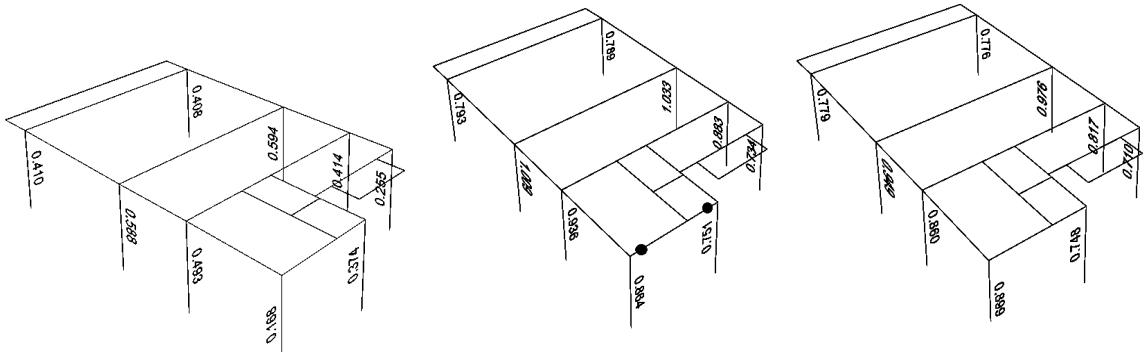
شکل ۲۰ حذف مقاومت خمشی تیر شماره ۱ طبقه دوم (آکس ۵).

گام ۸

با توجه به اینکه تحت زلزله Ex حرکت قسمت فوقانی مقطع بیشتر است (شکل ۱۶ الف)، حذف تیر شماره ۱ نه تنها باعث افزایش پیچش نمی شود، بلکه ممکن است کاهش پیچش نیز بشود. بنابراین گام ۸ که مربوط به کنترل پیچش شدید سازه پس از حذف می باشد، نیاز به کنترل ندارد و تنها کاهش مقاومت طبقه کنترل می شود.

گام ۹

در این قسمت ابتدا نسبت تنشها پس از طراحی اعضا بررسی می شود. شکل ۱۸نسبت تنشها را در "طبقه دوم" قبل و پس از دو سرمفصل کردن تیر شماره ۱ نشان می دهد.



الف) ب) ج)

شکل ۲۱، نسبت تنشها الف) سازه اولیه تحت اثر بار ثقلی و زلزله ضریب دار ب) سازه تضعیف شده تحت اثر بار ثقلی و زلزله ضریب دار ج) سازه اولیه تحت اثر بار ثقلی

با توجه به جدول زیر حداکثر میزان افزایش در نسبت تنش ها برابر ۲۰ درصد می باشدکه بسیار کمتر از ۵۰% می باشد و بنابراین در طبقه کاهش مقاومت شدید نداریم. دقت نمایید که این نسبت تنشها تنها مربوط به ستونها بوده و در عمل باید تغییرات نسبت تنش در تیرها نیز بررسی شود که با توجه به پایین بودن تغییرات نسبت تنش در ستونها انتظار می رود در تیرها نیز تغییرات شدید در نسبت تنشها نداشته باشیم.

سازه اولیه (تنها بار ثقلی)	سازه اولیه (بار ثقلی+زلزله)	سازه اولیه (زلزله)	سازه تضعیف شده (بار ثقلی+زلزله)	سازه تضعیف شده (زلزله)	درصد کاهش مقاومت طبقه اول
Ratio1	Ratio2	Ratio3= Ratio2-Ratio1	Ratio4	Ratio5= Ratio4-Ratio1	$100 \times \frac{Ratio5 - Ratio3}{Ratio3}$
0.41	*0.779*	0.369	*0.793*	0.383	3.794038
0.588	*0.949*	0.361	*1.009*	0.421	16.6205
0.493	*0.86*	0.367	*0.936*	0.443	20.70845
0.168	*0.899*	0.731	*0.864*	0.696	-4.78796
0.374	*0.748*	0.374	*0.751*	0.377	0.802139
0.255	*0.71*	0.455	*0.734*	0.479	5.274725
0.414	*0.817*	0.403	*0.883*	0.469	16.37717
0.594	*0.976*	0.382	*1.033*	0.439	14.92147
0.408	*0.776*	0.368	*0.789*	0.381	3.532609

گام ۱۰

افزایش در نسبت تنشها (در گام قبلی) بسیار کمتر از ۵۰% می باشد و بنابراین نیازی به کنترل گام ۱۰ نمی باشد و می توان از گام ۹ به گام ۱۱ رفت. با این وجود جهت آشنایی بیشتر، در سازه مورد نظر آنالیز غیرخطی push over انجام شد. نتایج نشان داد که مقاومت جانبی طبقه دوم در سازه اولیه برابر ۳۳۲ تن و در سازه تضعیف شده برابر ۳۰۱ تن می

باشد. بنابراین مقاومت طبقه پس از تضعیف سازه به اندازه ۱۰ درصد کاهش یافته است که بسیار کمتر از ۳۳ درصد می باشد. بنابراین بر اساس حذف تیر شماره ۱، ضریب نامعینی سازه برابر یک خواهد بود.

- با توجه به اینکه میزان کاهش در مقاومت طبقه بسیار پایین بود، نیازی به کنترل طبقات دوم و سوم نمی باشد.

۱-۷-۲ تعیین ضریب نامعینی مثال ۲ برای زلزله جهت طولی (y)

اینکه درجه نامعینی سازه در راستای x برابر $\rho = 1$ بدست آمد. و از طرفی تعداد دهانه های قاب خمشی در راستای y بیشتر از راستای x می باشد، مسلما در صورت کنترل سازه برای راستای y مقدار درجه نامعینی برابر یک بدست خواهد آمد.

۱- درجه نامعینی در راستای x با حاشیه اطمینان بالایی برابر یک بدست آمد

۲- تعداد دهانه ها در راستای y بیشتر از راستای x می باشد و از این جهت راستای y بر راستای x برتری دارد.

۳- سازه تحت اثر زلزله EY نامنظمی پیچشی ندارد و نسبت $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ave}}$ طبقات در سازه اولیه اندک می باشد.

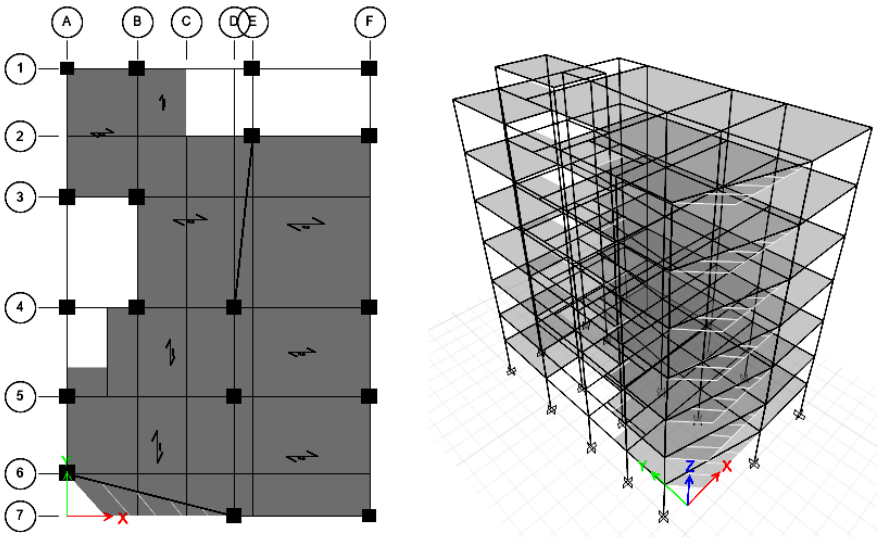
بنابراین نیازی به کنترل راستای y نمی باشد. و مقدار درجه نامعینی در این راستا یک می باشد.

۱-۷-۳ نتیجه گیری

- در مثال ۲ در صورت استفاده از روش الف طراح باید مقدار درجه نامعینی را در هر دو جهت برابر ۱/۲ منظور می کرد. در حالیکه با استفاده از روش ب نشان داده شد که می توان مقدار درجه نامعینی را در هر دو جهت برابر یک منظور نمود.
- آنچه در روش ب مهم می باشد، این است که سازه اولیه تا حد ممکن تحت زلزله های EX و EY پیچش کمتری داشته باشد تا با حذف اعضا پیچش سازه از مرز نامنظمی پیچشی شدید عبور نکند.

۱-۸ مثال ۳

مثال سوم مربوط به یک قاب خمشی بتنی ۷ طبقه می باشد



شکل ۲۲ سازه مثال سوم، قاب خمشی بتنی در هر دو راستا.

گام ۱

انجام تحلیل خطی در سازه.

گام ۲

با توجه به اینکه سازه ۷ طبقه می باشد، احتمالا تنها در طبقه آخر مقدار برش پایه کمتر از ۳۵ درصد برش پایه خواهد بود و بنابراین ضریب نامعینی باید در ۶ طبقه اول کنترل گردد. نحوه تعیین دقیق تعداد طبقات قبلا توضیح داده شده است.

گام ۳

این سازه در پلان نامنظم می باشد. علت: دو تیر مورب داریم و بنابراین در این سازه اجزای قائم باربر جانبی غیر موازی داریم و بنابراین "نامنظمی سیستم های غیرموازی" داریم و باید برای تعیین ضریب نامعینی از روش ب استاندارد ۲۸۰۰ استفاده شود. از طرفی در گام ۴ خواهیم دید که سازه دارای نامنظمی پیچشی نیز می باشد.

گام ۴

سازه اولیه نامنظمی شدید پیچشی ندارد. جدول ۷ خروجی نرم افزار را نشان می دهد. نسبت تغییرشکل حداکثر به تغییرشکل میانگین (ratio در جدول زیر) ۱/۲۷ که کمتر از ۱/۴ می باشد. بنابراین سازه اولیه نامنظمی پیچشی شدید ندارد. البته مقدار این نسبت از ۱/۲ بیشتر بوده و سازه نامنظمی پیچشی دارد.

نکته: در استاندارد ۲۸۰۰ تغییرمکان "نسبی" طبقات معیار محاسبه نامنظمی می باشد. در حالیکه خروجی نرم افزار ETABS تغییرمکانهای مطلق را نمایش می دهد. نتایج ایندو اندکی با هم تفاوت دارند. با توجه به اینکه مقدار ۱/۲۷ بسیار کمتر از ۱/۴ می باشد، نیازی به محاسبه دقیق این نسبت نمی باشد.

جدول ۷ خروجی نرم افزار برای سازه مثال ۳

TABLE: Story Max/Avg Displacements					
Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum	Average	Ratio
			cm	cm	
Story8	EXALL 1	X	10.928	10.571	1.033711
Story7	EXALL 1	X	11.717	10.301	1.137527
Story6	EXALL 1	X	9.964	8.837	1.127528
Story5	EXALL 1	X	7.962	7.118	1.118602
Story4	EXALL 1	X	5.937	5.286	1.123112
Story3	EXALL 1	X	3.876	3.423	1.13219
Story2	EXALL 1	X	1.946	1.71	1.137679
Story1	EXALL 1	X	0.674	0.591	1.140537
Base	EXALL 1	Y	0	0	
Story8	EXALL 2	X	10.702	10.666	1.003435
Story7	EXALL 2	X	10.331	10.17	1.015873
Story6	EXALL 2	X	8.765	8.734	1.003472
Story5	EXALL 2	X	7.102	7.041	1.008698
Story4	EXALL 2	X	5.263	5.228	1.006808
Story3	EXALL 2	X	3.392	3.383	1.002823
Story2	EXALL 2	X	1.701	1.689	1.007357
Story1	EXALL 2	X	0.588	0.583	1.007719
Base	EXALL 2	Y	0	0	
Story8	EXALL 3	X	11.153	10.477	1.064533
Story7	EXALL 3	X	13.103	10.431	1.256131
Story6	EXALL 3	X	11.164	8.94	1.248723
Story5	EXALL 3	X	8.944	7.195	1.24319
Story4	EXALL 3	X	6.682	5.345	1.250188
Story3	EXALL 3	X	4.36	3.464	1.258504
Story2	EXALL 3	X	2.19	1.731	1.264801
Story1	EXALL 3	X	0.76	0.598	1.270028
Base	EXALL 3	Y	0	0	
Story8	EYALL 1	Y	11.049	11.016	1.003045
Story7	EYALL 1	Y	10.767	10.652	1.010725
Story6	EYALL 1	Y	9.548	9.464	1.008894
Story5	EYALL 1	Y	8	7.931	1.008717
Story4	EYALL 1	Y	6.051	5.999	1.008755
Story3	EYALL 1	Y	3.882	3.842	1.010497
Story2	EYALL 1	Y	1.915	1.894	1.011143
Story1	EYALL 1	Y	0.657	0.649	1.011742
Base	EYALL 1	Y	0	0	
Story8	EYALL 2	Y	10.709	10.606	1.009718
Story7	EYALL 2	Y	11.152	10.693	1.042862
Story6	EYALL 2	Y	9.915	9.499	1.043803
Story5	EYALL 2	Y	8.303	7.959	1.043211
Story4	EYALL 2	Y	6.28	6.019	1.043291
Story3	EYALL 2	Y	4.016	3.854	1.041971
Story2	EYALL 2	Y	1.98	1.9	1.04244
Story1	EYALL 2	Y	0.68	0.651	1.043296
Base	EYALL 2	Y	0	0	
Story8	EYALL 3	Y	11.596	11.425	1.014893
Story7	EYALL 3	Y	11.298	10.611	1.064724
Story6	EYALL 3	Y	10.013	9.429	1.061985
Story5	EYALL 3	Y	8.385	7.903	1.061012
Story4	EYALL 3	Y	6.344	5.979	1.061157
Story3	EYALL 3	Y	4.072	3.829	1.063303
Story2	EYALL 3	Y	2.011	1.888	1.065067
Story1	EYALL 3	Y	0.691	0.647	1.067132
Base	EYALL 3	Y	0	0	

گام ۵

سازه فاقد دیوار برشی می باشد.

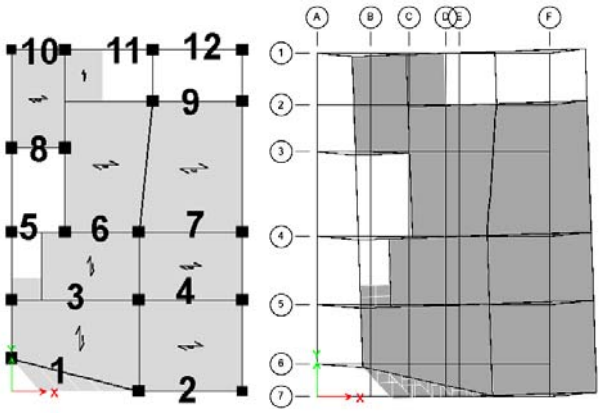
گام ۶

انتخاب تیر بحرانی بر اساس معیار پیچش حداکثر:

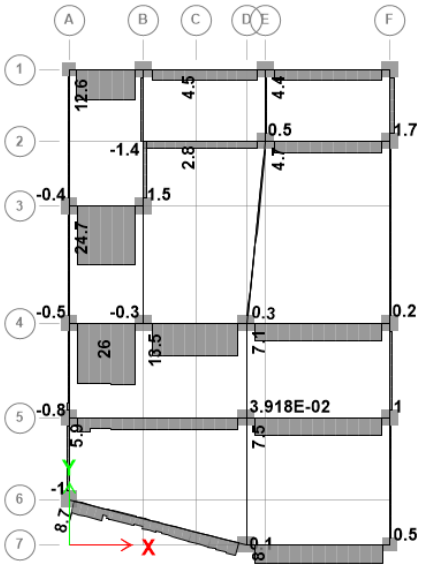
برای ایجاد حداکثر پیچش در سازه یکی از دو تیر ۱ یا ۲ در شکل زیر باید حذف شوند. با توجه به اینکه ابعاد مقطع این دو تیر یکسان می باشد، تیر کوتاهتر انتخاب می شود. تیر شماره ۲ کوتاهتر بوده و بنابراین بر اساس معیار پیچش تیر بحرانی می باشد.

انتخاب تیر بر اساس معیار مقاومت طبقه:

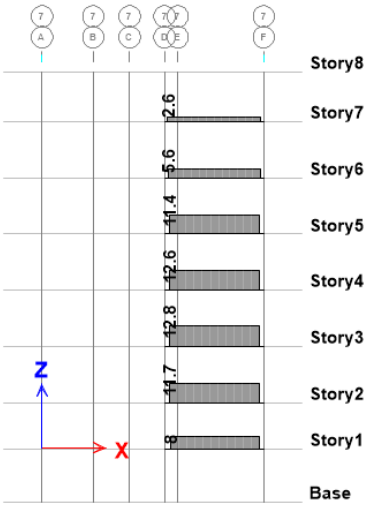
در این گام باید تیرهایی که بیشترین تاثیر را در تحمل بار جانبی دارند انتخاب شوند. شکل ۲۳ دیاگرام برش تیرها را تحت اثر زلزله EX نشان می دهد. با توجه به دیاگرام برش تیرها، تیرهای کوتاه محورهای ۴ و ۳ (تیرهای شماره ۵ و ۸) دارای برش بیشتری نسبت به دیگر تیرها می باشند. در صورتی که بخواهیم بیشترین کاهش در "مقاومت طبقه" را داشته باشیم اولویت با تیرهایی می باشد که نسبت $\frac{\text{برش تیر}}{\text{برش طبقه}}$ در آنها بیشتر از بقیه باشد. مقادیر برش طبقه تحت زلزله EX در شکل ۲۳ نشان داده شده است.



الف



د



ج ب

شکل ۲۳ الف) تغییرشکل طبقه اول تحت زلزله EX، ب) دیاگرام برش تیرها در طبقه اول، ج) دیاگرام برش تیر ها در آکس۷

بنابراین بر اساس دو معیار "کاهش مقاومت طبقه" و "افزایش پیچش طبقه" تیر منتخب فرق خواهد کرد:

معیار کاهش مقاومت طبقه: اولویت با تیرهای ۵ و ۶

معیار نامنظمی پیچشی طبقه: اولویت با تیر ۲

با توجه به اینکه تعداد قابهای خمشی زیاد است مسلما حذف تیرهای ۵ یا ۶ موجب کاهش مقاومت به اندازه ۳۳ درصد نخواهد شد و بنابراین تنها تیر شماره ۲ حذف می شود و تنها معیار پیچش کنترل خواهد شد.

سوال: تیر شماره ۲ از کدام طبقه انتخاب شود؟

با توجه به اینکه تیر شماره ۲ بر اساس معیار پیچش انتخاب شده است، باید از طبقه ای آن را انتخاب کرد که آن طبقه بیشترین پیچش را دارد. از آنجا که در جدول ۷ حداکثر پیچش مربوط به طبقه اول می باشد، باید تیر شماره ۲ از طبقه اول انتخاب شود.

گام ۷

تیر شماره ۲ از طبقات اول، دوم حذف خواهد شد و تاثیر حذف آنها بر نامنظمی پیچشی بررسی خواهد شد. (انتظار می رود که تیر طبقه اول بیشتر تاثیرگذار باشد).

گام ۸

در سازه ای که تیر آن دوسر مفصل شده است، نامنظمی پیچشی کنترل می شود. نتایج حاصل از تحلیل سازه در جدول ۸ و جدول ۹ نشان داده شده است. پس از حذف تیرها مقادیر ratio کمتر از 1.4 می باشند (حداکثر آنها ۱/۳۱ می باشد) و بنابراین سازه پس از حذف مقاومت جانبی تیر شماره ۴ دچار پیچش شدید نشده است. همانطور که انتظار می رفت حذف تیر طبقه اول تاثیر بیشتری داشته است.

جدول ۸، جابجایی جانبی سازه پس از حذف تیر شماره ۴ در طبقه اول

TABLE: Story Max/Avg Displacements					
Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum	Average	Ratio
			mm	mm	
Story8	EXALL 1	X	110	106.2	1.035464
Story7	EXALL 1	X	118.6	103.6	1.144602
Story6	EXALL 1	X	101.1	89	1.135834
Story5	EXALL 1	X	81.1	71.8	1.128958
Story4	EXALL 1	X	60.8	53.5	1.136848
Story3	EXALL 1	X	40.1	34.8	1.15218
Story2	EXALL 1	X	20.6	17.6	1.170353
Story1	EXALL 1	X	7.3	6.1	1.185253
Base	EXALL 1	Y	0	0	
Story8	EXALL 2	X	107.6	107.1	1.005077
Story7	EXALL 2	X	104.6	102.3	1.022801
Story6	EXALL 2	X	88.9	87.9	1.011606
Story5	EXALL 2	X	71.1	71	1.001452
Story4	EXALL 2	X	53.2	52.8	1.006694
Story3	EXALL 2	X	35.1	34.3	1.022505
Story2	EXALL 2	X	18	17.3	1.039602
Story1	EXALL 2	X	6.4	6	1.051964
Base	EXALL 2	Y	0	0	
Story8	EXALL 3	X	112.3	105.3	1.066361
Story7	EXALL 3	X	132.7	105	1.263183
Story6	EXALL 3	X	113.3	90.1	1.256998
Story5	EXALL 3	X	91.1	72.7	1.253492
Story4	EXALL 3	X	68.4	54.2	1.263808
Story3	EXALL 3	X	45.1	35.3	1.278298
Story2	EXALL 3	X	23.2	17.9	1.297079
Story1	EXALL 3	X	8.2	6.2	1.314078
Base	EXALL 3	Y	0	0	

جدول ۹، جابجایی جانبی سازه پس از حذف تیر شماره ۴ در طبقه دوم

TABLE: Story Max/Avg Displacements					
Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum	Average	Ratio
			mm	mm	
Story8	EXALL 1	X	110.9	106.9	1.037703
Story7	EXALL 1	X	120.6	104.5	1.153596
Story6	EXALL 1	X	103	89.9	1.146353
Story5	EXALL 1	X	83	72.7	1.141939
Story4	EXALL 1	X	62.6	54.3	1.153554
Story3	EXALL 1	X	41.7	35.5	1.173318
Story2	EXALL 1	X	21	17.8	1.180415
Story1	EXALL 1	X	7	6	1.164854
Base	EXALL 1	Y	0	0	
Story8	EXALL 2	X	108.5	107.7	1.007199
Story7	EXALL 2	X	106.3	103	1.031712
Story6	EXALL 2	X	90.6	88.7	1.022029
Story5	EXALL 2	X	72.7	71.7	1.014327
Story4	EXALL 2	X	54.8	53.5	1.023319
Story3	EXALL 2	X	36.5	35	1.043616
Story2	EXALL 2	X	18.3	17.5	1.049807
Story1	EXALL 2	X	6.1	5.9	1.031849
Base	EXALL 2	Y	0	0	
Story8	EXALL 3	X	113.4	106.1	1.068666
Story7	EXALL 3	X	134.8	106	1.272045
Story6	EXALL 3	X	115.4	91.1	1.267358
Story5	EXALL 3	X	93.2	73.6	1.266257
Story4	EXALL 3	X	70.5	55.1	1.280176
Story3	EXALL 3	X	46.9	36.1	1.298939
Story2	EXALL 3	X	23.6	18.1	1.306754
Story1	EXALL 3	X	7.9	6.1	1.293921
Base	EXALL 3	Y	0	0	

گام ۹

با توجه به بالا بودن تعداد دهانه های باربر جانبی و با توجه تجربه مثال دوم، مسلما حذف تیرهای شماره ۵ و ۸ تاثیر قابل توجهی بر مقاومت برشی طبقه نخواهد داشت و بنابراین می توان مقدار درجه نامعینی را برابر یک در نظرگرفت.

۱-۸-۱ نتیجه گیری

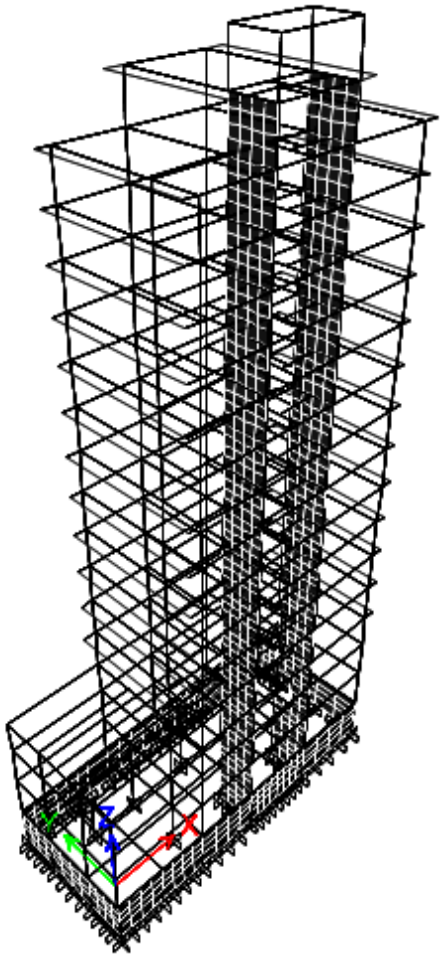
سازه اولیه تحت زلزله EX دارای نامنظمی پیچشی بود و بنابراین با انتخاب و حذف عضو مناسب کفایت سازه بررسی شد که نشان داده شد که در این راستا سازه نامعینی کافی دارد.

در این مثال زلزله EY بررسی نشد. علت: تحت زلزله EY پیچش سازه اولیه پایین بوده و مسلما پس از حذف یک تیر، سازه دچار پیچش شدید نشده و از طرفی به علت تعداد قابل توجه دهانه های قاب خمشی، افت مقاومت طبقه نیز کمتر از ۳۳ درسد خواهد بود.

بنابراین برای هر دو راستا مقدار درجه نامعینی برابر یک خواهد بود.

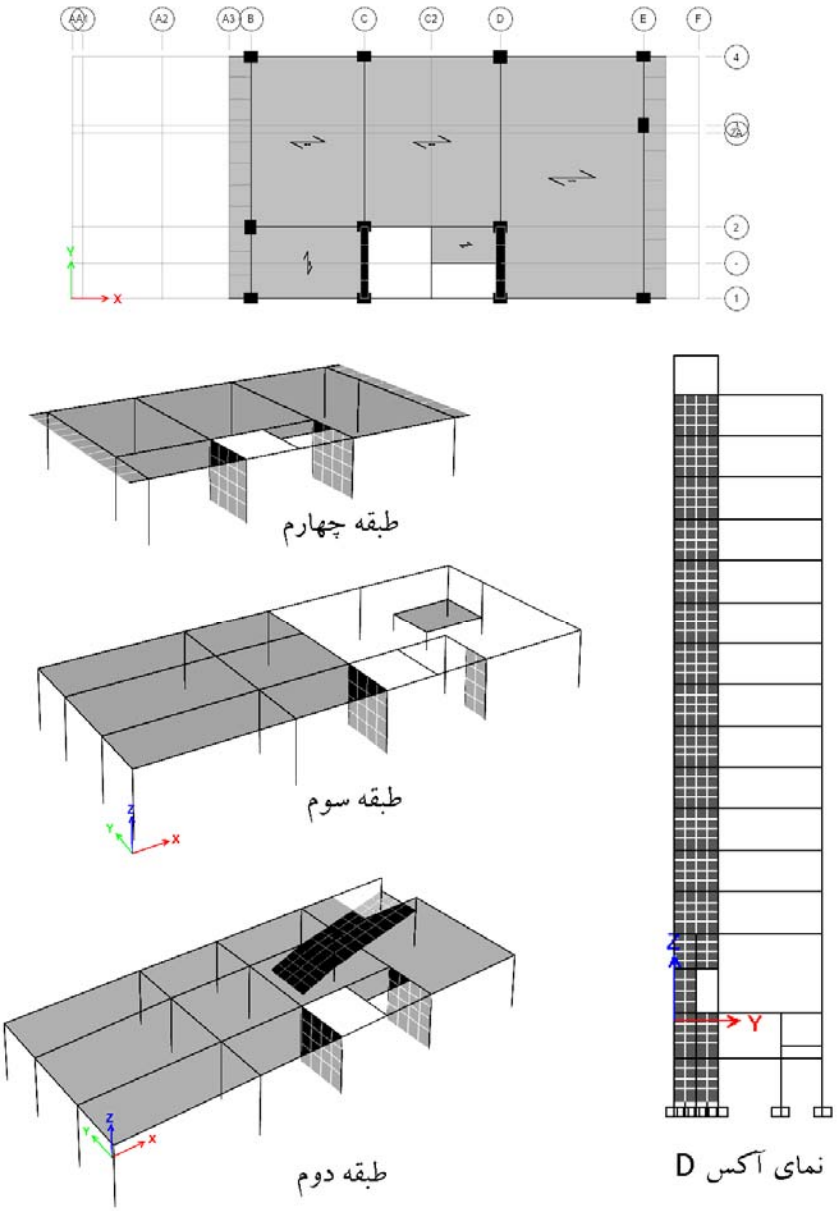
۱-۹ مثال ۴

مثال ۴ مربوط به یک سازه ۱۷ طبقه می باشد که در یک جهت دارای سیستم دوگانه قاب خمشی بتنی+دیوار برشی می باشد و در راستای دیگر قاب خمشی بتنی می باشد. نمای سه بعدی سازه را نشان می دهد.



شکل ۲۴ نمای سه بعدی سازه مثال ۴

این سازه در راستای عرضی (راستای y) دو دیوار برشی دارد. یک از دیوارها که نمای آن در شکل نشان داده شده است، در طبقه سوم کاهش مقطع دارد.



شکل ۲۵ سازه مربوط به مثال ۴

گام ۱

تحلیل سازه

گام۲

برای تعیین طبقاتی که درجه نامعینی آن باید بررسی شود از خروجی نرم افزار استفاده می شود. برش پایه کل سازه برابر ۲۷۷ تن می باشد. ۳۵ درصد برش پایه برابر ۹۷ تن می باشد. بنابراین برش طبقه ۱۴ تا طبقه آخر کمتر از ۳۵ درصد برش پایه بوده و نیازی به بررسی درجه نامعینی ندارند.

جدول ۱۰، برش طبقات تحت زلزله EY در سازه مثال ۴

TABLE: Story Forces					
Story	Load Case/Combo	Location	P	VX	VY
			tonf	tonf	tonf
END	EY	Bottom	0	0	0
PENT	EY	Bottom	0	0	-12.6785
STORY16	EY	Bottom	0	0	-40.4214
STORY15	EY	Bottom	0	0	-67.6296
STORY14	EY	Bottom	0	0	-93.016
STORY13	EY	Bottom	0	0	-116.908
STORY12	EY	Bottom	0	0	-139.7058
STORY11	EY	Bottom	0	0	-160.976
STORY10	EY	Bottom	0	0	-180.6364
STORY9	EY	Bottom	0	0	-198.7808
STORY8	EY	Bottom	0	0	-214.9999
STORY7	EY	Bottom	0	0	-229.2119
STORY6	EY	Bottom	0	0	-241.5084
STORY5	EY	Bottom	0	0	-251.81
STORY4	EY	Bottom	0	0	-261.7179
STORY3	EY	Bottom	0	0	-267.6561
STORY2	EY	Bottom	0	0	-273.5485
STORY1	EY	Bottom	0	0	-277.8379

گام ۳

سازه نامنظم پیچشی دارد و بنابراین نمی توان از روش الف استاندارد ۲۸۰۰ استفاده کرد.

گام ۴

سازه اولیه نامنظمی شدید پیچشی ندارد. جدول ۷ خروجی نرم افزار را نشان می دهد. نسبت تغییرشکل حداکثر به تغییرشکل میانگین (ratio در جدول زیر) ۱/۲۵۷ که کمتر از ۱/۴ می باشد. بنابراین سازه اولیه نامنظمی پیچشی شدید ندارد. البته مقدار این نسبت از ۱/۲ بیشتر بوده و سازه نامنظمی پیچشی دارد.

نکته: در استاندارد ۲۸۰۰ تغییرمکان "نسبی" طبقات معیار محاسبه نامنظمی می باشد. در حالیکه خروجی نرم افزار ETABS تغییرمکانهای مطلق را نمایش می دهد. نتایج ایندو اندکی با هم تفاوت دارند. با توجه به اینکه مقدار ۱/۲۵۷ بسیار کمتر از ۱/۴ می باشد، نیازی به محاسبه دقیق این نسبت نمی باشد.

گام ۵

در گام ۵ سوال می شود که آیا سیستم باربر جانبی سازه "تنها" شامل دیوار برشی می باشد؟ با توجه به اینکه سیستم سازه دوگانه می باشد بنابراین علاوه بر دیوار قاب خمشی نیز داریم و پاسخ منفی خواهد بود.

نکته: در سازه هایی که دارای دیوار برشی هستند، اگر طول دیوار در طبقه بیش از ارتفاع باشد لازم به حذف دیوار نخواهد بود. علت: احتمال خرابی دیوارهای طویل در زلزله پایین بوده و در تشکیل سازه تضعیف شده تنها دیوارهای با نسبت ارتفاع به طول بزرگتر از یک از مدل حذف خواهند شد. در این سازه در تمامی طبقات طول دیوارهای برشی بیش از ارتفاع می باشد و تنها در طبقه سوم به علت ایجاد بازشو، طول دیوار کاهش یافته و می توان در مدل تضعیف شده، اثر حذف این دیوار را بررسی نمود.

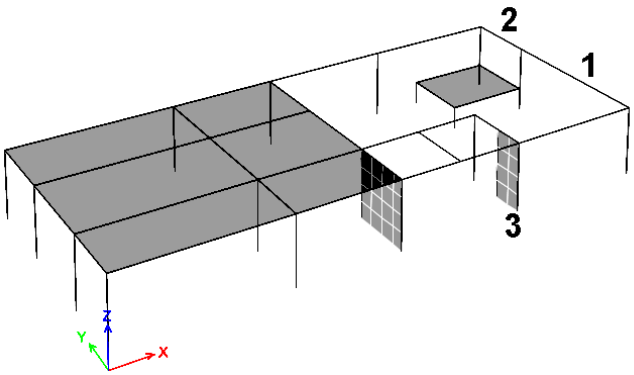
جدول ۱۱ کنترل نامنظمی پیچشی در سازه مثال ۴

TABLE: Story Max/Avg Displacements					
Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum	Average	Ratio
			mm	mm	
END	EYALL 1	Y	196.3	196	1.001404
PENT	EYALL 1	Y	193.4	192.5	1.004562
STORY16	EYALL 1	Y	185.8	185.1	1.003836
STORY15	EYALL 1	Y	177.7	177.2	1.002971
STORY14	EYALL 1	Y	169.3	169.1	1.001689
STORY13	EYALL 1	Y	160	160	1.000071
STORY12	EYALL 1	Y	149.7	149.4	1.001796
STORY11	EYALL 1	Y	138.2	137.7	1.003967
STORY10	EYALL 1	Y	125.5	124.7	1.006513
STORY9	EYALL 1	Y	112	110.9	1.009159
STORY8	EYALL 1	Y	97.7	96.6	1.011846
STORY7	EYALL 1	Y	82.9	81.6	1.015157
STORY6	EYALL 1	Y	67.9	66.6	1.01948
STORY5	EYALL 1	Y	53	51.7	1.025569
STORY4	EYALL 1	Y	37.2	35.9	1.034912
STORY3	EYALL 1	Y	21.5	20.4	1.052123
STORY2	EYALL 1	Y	7.1	6.5	1.098469
STORY1	EYALL 1	Y	0.1	0.1	1.09944
BASE	EYALL 1	Y	0	0	
END	EYALL 2	Y	193.8	191.4	1.012365
PENT	EYALL 2	Y	201.3	193.2	1.04193
STORY16	EYALL 2	Y	193.3	185.7	1.040934
STORY15	EYALL 2	Y	184.9	177.8	1.039928
STORY14	EYALL 2	Y	176.1	169.6	1.038369
STORY13	EYALL 2	Y	166.3	160.5	1.036422
STORY12	EYALL 2	Y	154.9	149.8	1.034243
STORY11	EYALL 2	Y	142.4	138	1.03174
STORY10	EYALL 2	Y	128.5	124.9	1.028873
STORY9	EYALL 2	Y	114	111.1	1.025853
STORY8	EYALL 2	Y	98.9	96.7	1.022732
STORY7	EYALL 2	Y	83.3	81.7	1.018927
STORY6	EYALL 2	Y	67.6	66.6	1.013864
STORY5	EYALL 2	Y	52	51.7	1.006701
STORY4	EYALL 2	Y	36	35.9	1.003249
STORY3	EYALL 2	Y	20.7	20.3	1.019233
STORY2	EYALL 2	Y	6.8	6.4	1.062385
STORY1	EYALL 2	Y	0.1	0.1	1.065846
BASE	EYALL 2	Y	0	0	
END	EYALL 3	Y	202.4	200.6	1.009056
PENT	EYALL 3	Y	198.1	191.8	1.033077
STORY16	EYALL 3	Y	190.6	184.4	1.03352
STORY15	EYALL 3	Y	182.7	176.6	1.034233
STORY14	EYALL 3	Y	174.5	168.5	1.03522
STORY13	EYALL 3	Y	165.4	159.5	1.036489
STORY12	EYALL 3	Y	154.7	149	1.038022
STORY11	EYALL 3	Y	142.9	137.4	1.039837
STORY10	EYALL 3	Y	129.7	124.4	1.042035
STORY9	EYALL 3	Y	115.7	110.8	1.044283
STORY8	EYALL 3	Y	100.9	96.4	1.046513
STORY7	EYALL 3	Y	85.6	81.6	1.049301
STORY6	EYALL 3	Y	70.1	66.6	1.052846
STORY5	EYALL 3	Y	54.7	51.7	1.057809
STORY4	EYALL 3	Y	38.4	36	1.06647
STORY3	EYALL 3	Y	22.2	20.5	1.084769
STORY2	EYALL 3	Y	7.4	6.5	1.133924
STORY1	EYALL 3	Y	0.1	0.1	1.132422
BASE	EYALL 3	Y	0	0	
END	EXALL 1	X	244.5	242.5	1.008024
PENT	EXALL 1	X	231	229	1.008428
STORY16	EXALL 1	X	221	215.3	1.026506
STORY15	EXALL 1	X	206.9	201	1.029681
STORY14	EXALL 1	X	192.1	186.1	1.031797

STORY13	EXALL 1	X	176.5	170.8	1.033574
STORY12	EXALL 1	X	160.3	154.9	1.034832
STORY11	EXALL 1	X	143.6	138.6	1.035556
STORY10	EXALL 1	X	126.4	122.1	1.035787
STORY9	EXALL 1	X	109.2	105.4	1.035598
STORY8	EXALL 1	X	91.9	88.8	1.034994
STORY7	EXALL 1	X	74.9	72.4	1.033603
STORY6	EXALL 1	X	58.3	56.5	1.031451
STORY5	EXALL 1	X	42.4	41.2	1.028748
STORY4	EXALL 1	X	28.1	26.9	1.047022
STORY3	EXALL 1	X	16.1	15.3	1.052366
STORY2	EXALL 1	X	5.7	5.7	1.000454
STORY1	EXALL 1	X	0.6	0.5	1.185858
BASE	EXALL 1	Y	0	0	
END	EXALL 2	X	251.7	241.9	1.04064
PENT	EXALL 2	X	238	228.4	1.04204
STORY16	EXALL 2	X	243.2	216.3	1.124369
STORY15	EXALL 2	X	228.2	202	1.12974
STORY14	EXALL 2	X	212.2	187.1	1.134032
STORY13	EXALL 2	X	195.4	171.7	1.137928
STORY12	EXALL 2	X	177.8	155.8	1.141111
STORY11	EXALL 2	X	159.5	139.4	1.143698
STORY10	EXALL 2	X	140.7	122.8	1.14564
STORY9	EXALL 2	X	121.7	106	1.147225
STORY8	EXALL 2	X	102.6	89.3	1.148504
STORY7	EXALL 2	X	83.8	72.9	1.14915
STORY6	EXALL 2	X	65.3	56.8	1.149279
STORY5	EXALL 2	X	47.7	41.5	1.149633
STORY4	EXALL 2	X	31.7	25.5	1.24406
STORY3	EXALL 2	X	18.2	14.5	1.257316
STORY2	EXALL 2	X	6.4	5.4	1.190216
STORY1	EXALL 2	X	0.7	0.5	1.220103
BASE	EXALL 2	Y	0	0	
END	EXALL 3	X	249.1	243.2	1.024415
PENT	EXALL 3	X	235.4	229.7	1.025003
STORY16	EXALL 3	X	229.7	214.2	1.072318
STORY15	EXALL 3	X	214.2	199.9	1.071403
STORY14	EXALL 3	X	198.4	185.2	1.071526
STORY13	EXALL 3	X	182.1	169.9	1.071929
STORY12	EXALL 3	X	165.2	154.1	1.072651
STORY11	EXALL 3	X	148	137.8	1.073843
STORY10	EXALL 3	X	130.5	121.4	1.075369
STORY9	EXALL 3	X	112.9	104.8	1.077381
STORY8	EXALL 3	X	95.3	88.3	1.079918
STORY7	EXALL 3	X	78	72	1.083403
STORY6	EXALL 3	X	61.1	56.1	1.087902
STORY5	EXALL 3	X	44.8	40.9	1.093763
STORY4	EXALL 3	X	31.9	28.2	1.131158
STORY3	EXALL 3	X	18.2	16.1	1.132578
STORY2	EXALL 3	X	7	6	1.172787
STORY1	EXALL 3	X	0.6	0.5	1.151728
BASE	EXALL 3	Y	0	0	

گام ۶

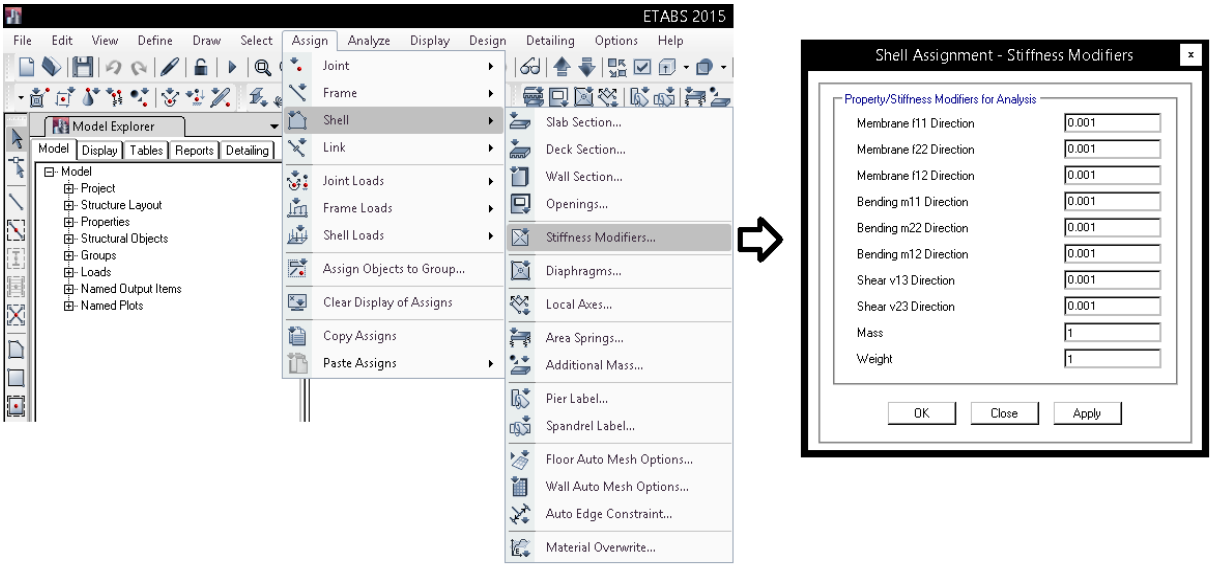
در طبقه سوم سازه که یکی از دیوارهای برشی کاهش مقطع دارد، پیچش طبقه (برای زلزله راستای Y) به حداکثر مقدار خود رسیده است. بنابراین احتمال می رود اگر یکی از اعضای این طبقه حذف شود، در سازه نامنظمی شدید پیچشی داشته باشیم. در شکل ۲۶ نمای سه بعدی طبقه سوم نشان داده شده است. در این سازه با افزایش ابعاد تیرهای ۱ و ۲ سعی شده است تا حد امکان از پیچش سازه اولیه کاسته شود. با این وجود نسب تغییرمکان حداکثر به تغییرمکان میانگین در این طبقه به ۱/۲۵۷ رسیده است. طول دیوار برشی ۳ که در شکل نشان داده شده است، کمتر از ارتفاع آن است و با توجه به سختی بالای دیوارهای برشی، اولویت با حذف این دیوار می باشد.



شکل ۲۶ نمای سه بعدی طبقه سوم

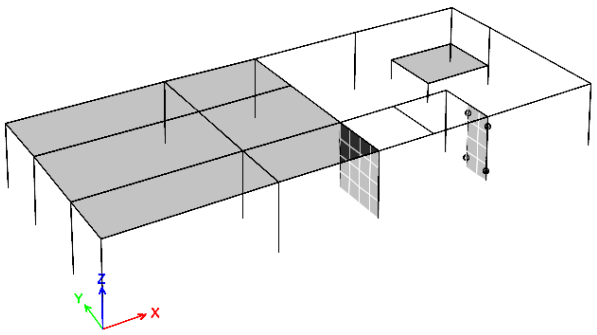
گام ۷

برای حذف دیوار برشی شماره ۳ از مدل باید سختی المانهای shell آن کاهش یابد. برای این منظور باید این المانها انتخاب گردیده و مطابق شکل زیر تمامی ضرایب سختی آن یک مقدار کوچک وارد می شود.



شکل ۲۷ کاهش سختی المانهای shell دیوار شماره ۳

همچنین ستونهای اطراف دیوار برشی مطابق شکل ۲۸ باید دوسرمفصل شوند. دقت نمایید که دو ستون نشان داده شده در شکل، اجزای مرزی دیوار محسوب شده و همراه با آن باید باربری جانبی ستونها نیز حذف شود.



شکل ۲۸ دوسرمفصل کردن ستونهای اطراف دیوار

گام ۸

پس از حذف دیوار و اجزای مرزی دو طرف آن، باید نامنظمی پیچشی سازه بررسی شود. پس از حذف نسبت تغییر شکل حداکثر به تغییر شکل میانگین در طبقه سوم تحت اثر EYALL2 به ۱/۲۹۶ می رسد که کمتر از مرز ۱/۴ می باشد (جدول ۱۲). همانطور که قبلا هم عنوان شد، مقادیر ratio حاصل از ETABS مقادیر جابجایی نسبی را نشان نمی دهد. مقدار دقیق بر اساس جابجایی نسبی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$ratio = \frac{19.2 - 6.3}{14.8 - 5.4} = 1.37 < 1.4 \quad OK.$$

بنابراین پس از حذف دیوار برشی، سازه دچار نامنظمی پیچشی شدید نمی شود.

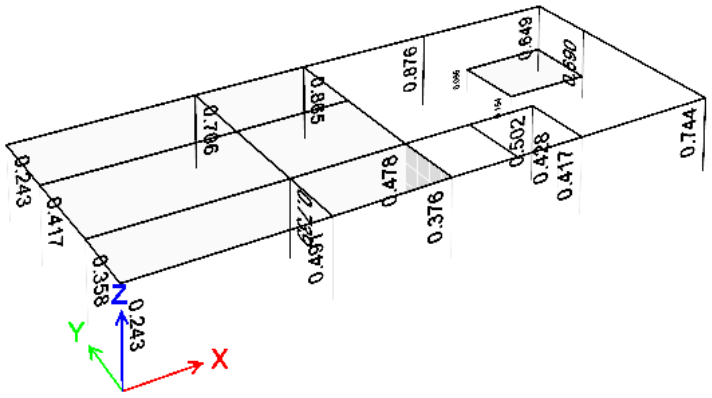
جدول ۱۲، مقادیر جابجایی طبقات پس از تضیف سازه

TABLE: Story Max/Avg Displacements					
Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum	Average	Ratio
			mm	mm	
END	EYALL 1	Y	246.9	244.7	1.008901
PENT	EYALL 1	Y	233.4	231.2	1.009354
STORY16	EYALL 1	Y	223.8	217.4	1.029339
STORY15	EYALL 1	Y	209.6	203	1.032695
STORY14	EYALL 1	Y	194.7	188.1	1.03504
STORY13	EYALL 1	Y	179.1	172.7	1.037104
STORY12	EYALL 1	Y	162.8	156.7	1.038726
STORY11	EYALL 1	Y	145.9	140.3	1.039916
STORY10	EYALL 1	Y	128.7	123.6	1.040749
STORY9	EYALL 1	Y	111.3	106.8	1.041347
STORY8	EYALL 1	Y	93.9	90.1	1.041799
STORY7	EYALL 1	Y	76.7	73.6	1.041873
STORY6	EYALL 1	Y	59.9	57.5	1.041849
STORY5	EYALL 1	Y	43.9	42.1	1.042409
STORY4	EYALL 1	Y	29.4	27.3	1.075292
STORY3	EYALL 1	Y	16.9	15.5	1.088244
STORY2	EYALL 1	Y	5.8	5.6	1.021868
STORY1	EYALL 1	Y	0.6	0.5	1.182285
BASE	EYALL 1	Y	0	0	
END	EYALL 2	Y	254.3	244.2	1.041303
PENT	EYALL 2	Y	240.5	230.7	1.042742
STORY16	EYALL 2	Y	246.2	218.5	1.126501
STORY15	EYALL 2	Y	231	204.1	1.132019
STORY14	EYALL 2	Y	215	189.1	1.136504
STORY13	EYALL 2	Y	198.1	173.7	1.140646
STORY12	EYALL 2	Y	180.4	157.6	1.144149
STORY11	EYALL 2	Y	162	141.2	1.147154
STORY10	EYALL 2	Y	143	124.4	1.149644
STORY9	EYALL 2	Y	123.9	107.5	1.151958
STORY8	EYALL 2	Y	104.7	90.7	1.154227
STORY7	EYALL 2	Y	85.7	74.1	1.156267
STORY6	EYALL 2	Y	67.1	57.9	1.158453
STORY5	EYALL 2	Y	49.3	42.4	1.162009
STORY4	EYALL 2	Y	33.1	26	1.273827
STORY3	EYALL 2	Y	19.2	14.8	1.296815
STORY2	EYALL 2	Y	6.3	5.4	1.168323
STORY1	EYALL 2	Y	0.7	0.5	1.216612
BASE	EYALL 2	Y	0	0	
END	EYALL 3	Y	251	245.3	1.023349
PENT	EYALL 3	Y	237.3	231.7	1.02388
STORY16	EYALL 3	Y	231.1	216.2	1.068843
STORY15	EYALL 3	Y	215.6	201.9	1.067718
STORY14	EYALL 3	Y	199.7	187	1.067578
STORY13	EYALL 3	Y	183.3	171.6	1.067658
STORY12	EYALL 3	Y	166.3	155.7	1.067979
STORY11	EYALL 3	Y	149	139.4	1.068664
STORY10	EYALL 3	Y	131.4	122.8	1.069547
STORY9	EYALL 3	Y	113.7	106.1	1.070726

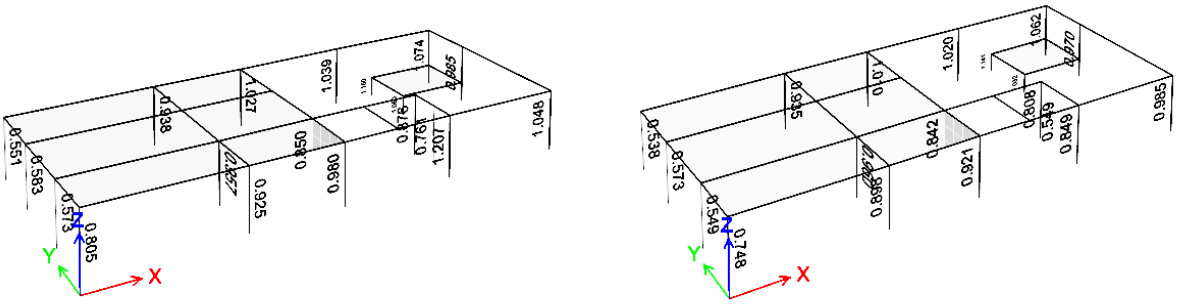
STORY8	EYALL 3	Y	96	89.5	1.07216
STORY7	EYALL 3	Y	78.5	73.1	1.074135
STORY6	EYALL 3	Y	61.5	57.1	1.076475
STORY5	EYALL 3	Y	45	41.7	1.079077
STORY4	EYALL 3	Y	31.6	28.6	1.104809
STORY3	EYALL 3	Y	18	16.3	1.100726
STORY2	EYALL 3	Y	7.1	5.9	1.193602
STORY1	EYALL 3	Y	0.6	0.5	1.148095
BASE	EYALL 3	Y	0	0	

گام ۹

در این قسمت ابتدا نسبت تنشها پس از طراحی اعضا بررسی می شود. شکل ۲۹ نسبت تنشها را در طبقه سوم قبل و پس از حذف دیوار نشان می دهد.



الف)



ب) ج)

شکل ۲۹، نسبت تنشها الف) سازه اولیه تحت اثر بار ثقلی ب) سازه اولیه تحت اثر بار ثقلی و زلزله ضریب دار ج) سازه تضعیف شده تحت اثر بار ثقلی و زلزله ضریب دار

با توجه به جدول زیر حداکثر میزان افزایش در نسبت تنش ها برابر ۲۶ درصد می باشدکه کمتر از ۵۰% می باشد و بنابراین در طبقه کاهش مقاومت شدید نداریم. دقت نمایید که این نسبت تنشها تنها مربوط به ستونها بوده و در عمل باید تغییرات نسبت تنش در تیرها نیز بررسی شود که با توجه به پایین بودن تغییرات نسبت تنش در ستونها انتظار می رود در تیرها نیز تغییرات شدید در نسبت تنشها نداشته باشیم.

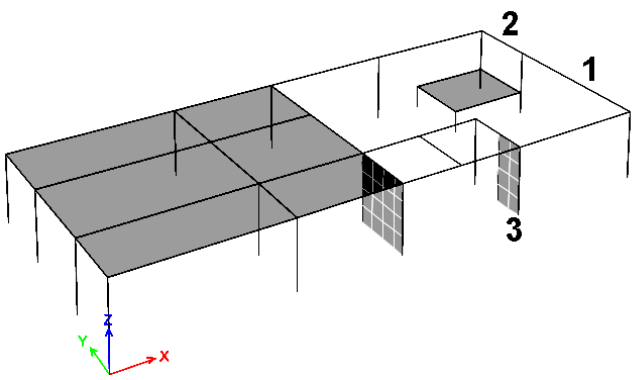
سازه اولیه (تنها بار ثقلی)	سازه اولیه (بار ثقلی+زلزله)	سازه اولیه (زلزله)	سازه تضعیف شده (بار ثقلی+زلزله)	سازه تضعیف شده (زلزله)	درصد کاهش مقاومت طبقه اول
Ratio1	Ratio2	Ratio3= Ratio2-Ratio1	Ratio4	Ratio5= Ratio4-Ratio1	$100 \times \frac{Ratio5 - Ratio3}{Ratio3}$
0.706	0.935	0.229	0.938	0.232	1.310044
0.865	1.01	0.145	1.027	0.162	11.72414
0.876	1.02	0.144	1.039	0.163	13.19444
0.649	1.062	0.413	1.074	0.425	2.905569
0.491	0.898	0.407	0.925	0.434	6.633907
0.744	0.985	0.241	1.048	0.304	26.14108
0.739	0.96	0.221	0.957	0.218	-1.35747
0.243	0.538	0.295	0.551	0.308	4.40678
0.243	0.748	0.505	0.805	0.562	11.28713
0.417	0.573	0.156	0.583	0.166	6.410256
0.358	0.549	0.191	0.573	0.215	12.56545
0.69	0.97	0.28	0.985	0.295	5.357143

علاوه بر تغییرات تنش در ستونها ، باید تغییرات تنش در دیوار برشی نیز بررسی شود. بررسی نسبت تنشها در دیوار برشی (دهانه مجاور) قبل و بعد از حذف دیوار برشی، به ترتیب برابر ۰/۷۲۴ و ۰/۷۳۵ می باشد و بنابراین تغییر شدید در نسبت تنش این دیوار نداریم. البته باید توجه داشت که نسبت تنشهای فوق در دیوار برشی تنها مربوط به نیرویهای خمشی و محوری می باشد و تغییرات برش را نشان نمی دهد. برای بررسی تغییرات نیروی برشی می توان تغییرات نسبت $\frac{A_v}{s}$ را در دیوار بررسی نمود.

گام ۱۰: افزایش در نسبت تنشها (در گام قبلی) بسیار کمتر از ۵۰% می باشد و بنابراین نیازی به کنترل گام ۱۰ نمی باشد و می توان از گام ۹ به گام ۱۱ رفت. با این وجود جهت آشنایی بیشتر با نتایج آنالیز غیرخطی، در سازه مورد نظر آنالیز غیرخطی push over انجام شد. نتایج نشان داد که مقاومت جانبی طبقه دوم در سازه اولیه برابر ۲۰۳ تن و در سازه تضعیف شده برابر ۱۹۶ تن می باشد. بنابراین مقاومت طبقه پس از تضعیف سازه به اندازه ۳ درصد کاهش یافته است که بسیار کمتر از ۳۳ درصد می باشد. بنابراین بر اساس حذف تیر شماره ۱، ضریب نامعینی سازه برابر یک خواهد بود.

گام ۱۱

جهت اطمینان از کفایت سازه و بالا بودن درجه نامعینی آن، علاوه بر حذف دیوار در طبقه سوم، بهتر است تیر شماره ۲ که درشکل زیر نشان داده شده، نیز حذف شود و مراحل ۷ تا ۱۱ تکرار شوند. با توجه به اینکه ابعاد مقاطع تیرهای ۱ و ۲ یکسان هستند، از بین دو تیر ۱ و ۲، تیر کوتاهتر بحرانی تر خواهد بود و نیازی به کنترل حذف تیر شماره ۱ نمی باشد. مراحل کنترل حذف تیر مشابه مراحل کنترل حذف دیوار می باشد و در این نوشتار برای جلوگیری از اطاله مطلب، کنترل حذف تیر ۲ انجام نشده است.



شکل ۳۰ نمای سه بعدی طبقه سوم

کنترل سازه برای زلزله جهت X:

در راستای x، سازه دارای سیستم قاب خمشی می باشد، سازه اولیه در این راستا نامنظم پیچشی نمی باشد و با توجه به تعداد بالای قابهای خمشی دراین راستا، مسلما حذف یک تیر از سازه، موجب کاهش مقاومت شدید و یا پیچش شدید نخواهد شد و بنابراین نیازی به کنترل راستای x نمی باشد.

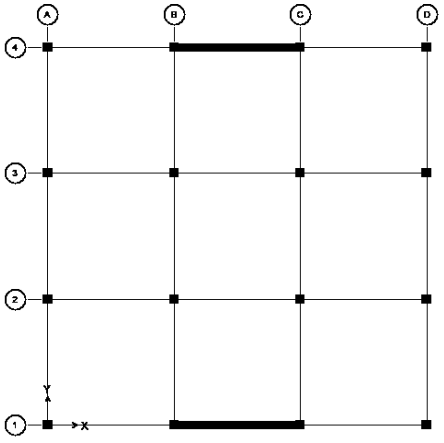
۱-۹-۱ نتیجه گیری

در این سازه در هر دو راستا تعداد قابهای خمشی و دیوار برشی به صورت قابل توجهی بالا بود. سازه هایی که در آنها تعداد اجزای باربر جانبی بالا می باشد، اصولا سازه هایی با در جه نامعینی بالا می باشند. طول دیوارهای برشی در تمامی طبقات بیش از ارتفاع طبقه بود و بنابراین این دیوارها در لیست حذفیات گنجانده نشدند.

تنها در طبقه سوم یک دیوار با طول کم وجود داشت که ممکن بود با حذف آن سازه دچار پیچش شدید و یا افت مقاومت شود. پس از حذف این دیوار نیز مشاهده شد که سازه کفایت کافی را دارد و بنابراین مقدار ضریب نامعینی در هر دو راستا برابر یک می باشد.

۱-۱۰ مثال ۵

مثال ۵ مربوط به یک سازه ۵ طبقه با پلان منظم می باشد که در راستای غربی شرقی دارای سیستم دوگانه قاب خمشی بتنی +دیوار برشی بتنی می باشد و در راستای دیگر قاب خمشی بتنی می باشد. طول تمامی دهانه ها برابر ۵ متر و ارتفاع طبقات برابر ۳ متر می باشد.



شکل ۳۱ پلان سازه مثال ۵

گام ۱

تحلیل سازه

گام ۲

با توجه به اینکه سازه ۵ طبقه می باشد، با توجه به تجربیات مثالهای قبلی، تمامی طبقات، به جز پشت بام باید منظور شوند.

گام ۳

سازه منظم می باشد و می توان از روش الف استفاده نمود. تعداد دهانه ها برای راستای Y کافی می باشد (۶ دهانه قاب خمشی در هر سمت مرکز جرم وجود دارد). در راستای X نیز در هر سمت مرکز جرم، ۵ دهانه قاب خمشی همراه با یک دیوار برشی به طول ۵ وجود دارد. دیوار برشی $\frac{5}{3} = 1.67$ دهانه محسوب می شود و در نتیجه در کل در هر سمت مرکز جرم ۶/۶۷ دهانه باربر خواهیم داشت و سازه در این راستا نیز دهانه باربر به حد کافی دارد. و ضریب نامعینی برابر $\rho = 1$ خواهد بود.

نکته: متن استاندارد ۲۸۰۰ برای شمارش تعداد دهانه ها به شرح زیر می باشد:

"الف- در ساختمانهای منظم در پلان، در طبقاتی که برش در آنها از ۳۵ درصد برش پایه تجاوز می کند، حداقل دو دهانه سیستم مقاوم جانبی در هر سمت مرکز جرم، در دو امتداد عمود بر هم، موجود باشد. در سیستم های دارای دیوار برشی تعداد دهانه ها از تقسیم طول دیوار بر ارتفاع آن در طبقه بدست می آید."

از متن فوق ممکن است چنین برآید که در سازه مثال ۵ در شمارش تعداد دهانه ها تنها باید دیوار برشی منظور شود. در این صورت در هر سمت مرکز جرم تنها ۱/۷ دهانه خواهیم داشت و ضریب نامعینی برابر ۱/۲ خواهد شد.

متن زیر نیز مربوط به ASCE7-10 می باشد که ضریب نامعینی در استاندارد ۲۸۰۰ برگرفته از آن می باشد. با دقت به متن اصلی استنباط می شود که باید تعداد دهانه های دیوار برشی با دهانه های مربوط به قاب خمشی تجمیع شود.

b. Structures that are regular in plan at all levels provided that the seismic force-resisting systems consist of at least two bays of seismic force-resisting perimeter framing on each side of the structure in each orthogonal direction at each story resisting more than 35 percent of the base shear. The number of bays for a shear wall shall be calculated as the length of shear wall divided by the story height or two times the length of shear wall divided by the story height, h_{sx}, for light-frame construction.

متن استاندارد ۲۸۰۰:

در سیستم های دارای دیوار برشی تعداد دهانه ها از تقسیم طول دیوار بر ارتفاع آن در طبقه بدست می آید

متن ASCE7-10:

در دیوار برشی تعداد تعداد دهانه ها از تقسیم طول دیوار بر ارتفاع آن در طبقه بدست می آید

دقت شود که اصولا سازه های دارای سیستم دوگانه، سازه هایی با درجه نامعینی بالا می باشند. در صورت عدم منظور کردن قاب های خمشی در شمارش تعداد دهانه ها، بسیاری از سیستم های دوگانه فاقد درجه نامعینی کافی خواهند شد که با مفاهیم و اصول تعیین درجه نامعینی مطابقت ندارد. شاید چنین به نظر آید که با توجه به اینکه سهم بارگیری دیوار برشی بالا می باشد و عمده زلزله را دیوار برشی تحمل می کند، بنابراین بهتر است در شمارش تعداد دهانه ها، از قاب خمشی صرف نظر شود. در پاسخ باید گفت که یکی از شرایط دوگانه محسوب شدن سازه این است که تحمل قابهای خمشی حدقل ۲۵ درصد برش پایه باشد. در غیر این صورت سیستم دوگانه محسوب نشده و تنها در این حالت است که باید از شمارش قابهای خمشی صرف نظر شود.

بنابراین از نظر نگارنده در سیستم های دوگانه در شمارش تعداد دهانه باید قابهای خمشی نیز همراه با دیوار برشی شمارش شوند.

۱-۱۱ مراجع

۱- آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شماره نشر: ض-۲۵۳

2- Minimum Design Loads for Buildings and other Structures, ASCE/SEI 7-10, 2010.

3- Seismic Loads, Guide to the Seismic Load Provisions of ASCE 7-05, Finley A. Charney, Ph.D., P.E., ASCE, 2010.

4- NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures, FEMA P-750 / 2009 Edition, 2009.