فصلنامه پژوهش در علوم، مهندسی و فناوری
دوره ۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶
صفحات ۴۷-۵۷
ISSN: 2476-5082
www.uctjournals.com

تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش آور) ساختمانهای با قاب خمشی فولادی دارای طبقه نرم

مهندس محمد جواد قا سمی راد[۱]، دکتر سید مسعود ریاضی مظلومی [۲]، دکتر میثم صمدی[۳]

۱کارشناس ارشد،عمران-سازه، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد
۲ دانشیار، عمران-سازه، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد
۳دانشیار، عمران-سازه، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد
*نویسنده مسئول، ایمیل: rad_aradbetn@yahoo.com

چکیده

وجود نامنظمی در سازه می‌تواند منجر به تغییر مسیر توزیع نیروی زلزله و ایجاد خرابی در قسمتی از سازه شود. از جمله نامنظمی‌هایی که در آیین‌نامه‌های مختلف به آن اشاره شده است می‌توان به نامنظمی در ارتفاع از نوع طبقه نرم اشاره کرد. امروزه به دلیل نیاز به فضاهای باز معماری برای پارکینگ اتومبیلها و ساختمان‌های تجاری و ارتفاع زیاد آن‌ها، جلوگیری از ایجاد طبقه نرم اجتناب‌ناپذیر است. طبقه نرم می‌تواند به دلایلی همچون ارتفاع زیاد یک طبقه و کاهش سختی آن، مقاومت کم طبقه، حذف اثر میانقاب به وجود بیاید. طبقه نرم همانند فیوز و جداساز لرزه‌ای عمل می‌کند و از یک طرف باعث کاهش جذب انرژی کل سازه و تجمع آن در همان طبقه می‌شود و از طرف دیگر به دلیل مقاومت کم ستون‌های آن طبقه و دریفت زیاد طبقه باعث بروز خرابی در سازه می‌شود. در این مقاله از ۳ مدل ۵ ، ۱۰ و ۱۵ طبقه استفاده می‌شود. در مدل ۵ طبقه، به ترتیب در طبقات ۱ ، ۲ ، ۳ ، ۴ و ۵ افزایش ارتفاع داده می‌شود. در مدل ۱۰ طبقه، به ترتیب در طبقات ۱ ، ۳ ، ۵ ، ۷ و ۹ افزایش ارتفاع داده می‌شود. در مدل ۱۵ طبقه، به ترتیب در طبقات ۱ ، ۴ ، ۷ ، ۱۰ و ۱۳ افزایش ارتفاع داده می‌شود. افزایش ارتفاع به ترتیب ۳ ، ۴ ، ۵ و ۶ متر می‌باشد. در مجموع تعداد مدل‌ها ۶۰ عدد می‌باشد. با انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی بر روی این مدل‌ها به بررسی مواردی همچون اثر شماره طبقه نرم، اثر ارتفاع سازه و اثر نوع توزیع بار جانبی در قالب پارامترهایی همچون میزان جذب انرژی سازه، منحنی پوش‌اور و دریفت طبقات پرداخته می شود. در نهایت طبقات نرم بحرانی مشخص شده و در قالب نمودارهایی بیان می گردد.

واژه‌های کلیدی: نامنظمی ، طبقه نرم ، جذب انرژی ، دریفت ، تحلیل استاتیکی غیرخطی ، پوش‌اور

مقدمه

به طور متوسط هر ساله ۱۰۰۰۰ نفر به سبب زلزله جان خود را از دست می‌دهند [ ]. با توجه به شرایط لرزه خیزی کشور ایران، اهمیت علم مهندسی زلزله بیش از پیش نمایان می‌شود. زیرا هر چند سال یکبار با وقوع یک زلزله شدید، تلفات جانی و مالی زیادی به جا می‌ماند. نخستین انگیزه برای لرزه شناسی، پس از زلزله عظیم نئوپولین[1] در ۱۸۵۷ در جنوب ایتالیا، توسط مهندسی ایرلندی به نام رابرت مالت[2] صورت گرفت. شاید بتوان شروع علم مهندسی زلزله را به ابتدای قرن بیستم نسبت داد. اما در ۶۰ سال اول قرن حاضر، در نتیجه ابداع و نصب دستگاه های شتابنگار پیشرفت های زیادی در علم مهندسی زلزله صورت گرفته است. امروزه شتاب‌نگارهای زیادی در سرتاسر مناطق لرزه‌خیز دنیا قرار گرفته‌اند. در فاصله بین دهه ۶۰ تا ۷۰ میلادی تلاش هایی جهت برقراری ارتباطی منطقی بین یافته‌های قدیم و جدید انجام شد و حاصل این تلاش ها پیدایش ضریب رفتار (R) بود. این ضریب پلی جهت ایجاد ارتباط بین یافته‌های قدیمی بر مبنای قضاوت مهندسی با یافته‌های جدید بر اساس امکان ایجاد رفتار غیر خطی در سازه بود. تا اینکه در اوایل دهه ۸۰ آیین نامه‌های زلزله کشور آمریکا مفهوم جدیدی از نیروی زلزله را بیان کردند.

در دهه هفتاد، انجمن مهندسان سازه کالیفرنیا (SEAOC[3])، کمیته‌ای به نام انجمن تکنولوژی های کاربردی (ATC[4]) را مامور بازنگری در آیین‌نامه قبلی و تهیه پیش‌نویس آیین‌نامه‌ای جدید نمود . در این اثر برای اولین بار ایده‌های جدیدی همانند نیروی ارتجاعی زلزله و ضریب رفتار مطرح شد. ضوابط ATC خیلی زود مورد استقبال کشورهای دیگر قرار گرفت. پس از آن در دهه ۹۰ تلاش های زیادی جهت یافتن یک روش منطقی به جای روش های سنتی انجام شد که حاصل آن ارزیابی و طراحی سازه‌ها بر اساس عملکرد بود. مبنای این روش به جای کنترل نیرو، در نظر گرفتن شکل‌پذیری سازه و کنترل تغییر شکل غیر خطی آن است. مجموعه این روش‌ها از سال ۱۹۹۵ به بعد در قالب دستورالعمل‌های ATC-40 ، FEMA273 ، FEMA356 و FEMA440 مطرح شد .

زلزله‌ها همواره در هنگام وقوع، بدنبال نقاط ضعف ساختمان هستند یعنی اثر آنها برروی این قسمت ها می تواند مشکل ساز شود، این نقاط ضعیف معمولا در اثر تغییرات سریع در سختی، مقاومت و یا شکل پذیری بوجود می آیند. یکی از بارزترین این نوع از نقاط ضعیف می‌تواند مربوط به ساختمان‌های با طبقه نرم باشد.

به عنوان مثال در ۱۷ ژانویه سال ۱۹۹۴ میلادی, یک زلزله با بزرگی ۶/۷ ریشتر منطقه Reseda در کالیفرنیا را لرزاند. این زلزله که به زلزله نرثریدج[5] معروف گردید باعث شد توجه مهندسین به اشکالی که در ساخت و ساز خانه های این منطقه وجود داشت جلب شود. مشکلی که باعث تخریب هزاران خانه در شهرهای زلزله خیز آمریکا شده بود. چیزی که مشاهده شد ریزش طبقات بالایی ساختمان ها بر روی طبقات پایینی آنها بود. طوری که طبقات پایینی کاملا از بین رفته بودند اما طبقات بالایی تقریبا سالم بودند.

بنابراین در این مقاله سعی می‌شود تا حد امکان رفتار اینگونه سازه‌ها بررسی شود. برای این منظور برای طراحی و مدلسازی رفتار غیرخطی سازه‌ها از آیین‌نامه‌های داخلی استفاده می‌شود.

نمونه‌هایی از خرابی ساختمان‌ها بر اثر طبقه نرم

به جهت یادآوری اهمیت بحث طبقه نرم به عنوان نمونه‌ی مهمی از زلزله‌های اتفاق افتاده، به نمونه‌هایی از این پدیده در زلزله های گذشته اشاره می‌شود.

[1] Neopolitan
[2] Robert Mallett
[3] SEAOC (Structural Engineers Association of California)
[4] ATC (Applied Technology Council)
[5] Northridge Earthquake

- برای نمونه می توان به ویرانی ساختمان ایمپریال والی Imperial Valley در جریان زلزله سال ۱۹۷۹ در السنترو Elcentro که‌جزو ساختمانهای نامنظم در ارتفاع (طبقه نرم) بودند، اشاره کرد.
- زلزله نورثریدج Northridge در ۱۷ ژانویه سال ۱۹۹۴ میلادی و ریزش طبقات بالایی ساختمان ها بر روی طبقات پایینی آن ها، طوری که طبقات پایینی کاملا از بین رفته بودند اما طبقات بالایی تقریبا سالم بودند.
- شکست ناشی از طبقه نرم - زلزله بم ۱۳۸۲ - که در بسیاری از موارد علت آن عدم وجود میان قاب در طبقات پایین بود.
- ونمونه‌های پراکنده دیگر نظیر ترکیه ۲۰۰۰ ، تایوان ۲۰۰۰ ، هندوستان ۱۹۹۳ و الجزایر ۱۹۹۱.

راهکارهای مقاوم سازی ساختمان‌های با طبقه نرم

با تحقیقی که توسط موسسه تکنولوژی کالیفرنیا (California Institute of Technology) صورت گرفت، تخمین زده شد بیش از ۲۰۰۰۰ ساختمان باطبقه نرم تنها در لس آنجلس وجود دارد که تنها ۸۰۰ مورد از آنها مقاوم سازی شده اند. سانفرانسیسکو نیز با داشتن چیزی در حدود ۱۰۸۰۰ ساختمان با طبقه نرم وضعیت مشابهی دارد. با توجه به تعداد بالای ساختمان هایی که دچار چنین مشکلی هستند موضوع مقاوم سازی ساختمان های با طبقه نرم بیشتر حائز اهمیت می‌شود.

اولین قدم برای مقاوم سازی ساختمان های با طبقه نرم آنالیز سازه برای مشخص کردن بهترین راه مقاوم سازی است. مهندسین سازه باید فاکتورهای متعددی را برای تشخیص بهترین راه مقاوم سازی در نظر بگیرند. نه تنها باید مطمئن شوند که سازه به میزان لازم مقاوم سازی شده است بلکه باید کمترین تاثیر را در بهره برداری سازه داشته باشد. مثلا مطمئنا با پر کردن تمامی بازشوهای طبقه های پایین توسط بادبند و یا دیوارهای باربر مشکل طبقه نرم حل خواهد شد اما این کار اگرچه عاقلانه است ولی اقتصادی نیست. از روشهای رایج برای این موضوع اضافه کردن یا تقویت ستون، اضافه کردن دیوارهای برشی، بادبندهای فولادی و یا حتی قابهای فولادی در نواحی نرم ساختمان است.

مروری بر ادبیات

طاحونی در سال ۱۳۸۷ به بررسی پدیده طبقه همکف نرم در قاب های ساختمانی میانپر با مصالح بنایی پرداخت. در این تحقیق قاب و میان قاب بنایی در نرم‌افزار ANSYS مدلسازی شده و تحلیل استاتیکی غیرخطی برروی آن انجام شده است. قاب مدل شده از نوع بتنی به صورت یک دهانه و دو طبقه می باشد و برای مدلسازی میان قاب بنایی در طبقه دوم از یک فنر غیرخطی افقی به صورت مدل دستک معادل فشاری استفاده شده است. نتایج بدست آمده از تحلیل نشان می‌دهد که وجود میان قاب ها به شدت سبب افزایش سختی طبقه ای از سازه که میان قاب در آن واقع است شده و باعث ایجاد طبقه نرم در طبقه باز ساختمان می گردد و میزان شکل‌پذیری و استهلاک انرژی در آنها به شدت کاهش می‌یابد .

یکی دیگر از کارهای خوب انجام شده در این زمینه تحقیق مربوط به ویبوو و همکاران در سال ۲۰۰۹ می‌باشد که به بررسی رفتار سازه‌های پیش ساخته با طبقه نرم به صورت مدلسازی آزمایشگاهی پرداختند. در این تحقیق ساختمان‌های با طبقه همکف نرم و پیش‌ساخته در ملبورن بررسی شد و ظرفیت و دریفت اینگونه سازه‌ها ارزیابی شد .در سال ۲۰۱۱ امین و حسن در مورد تاثیر طبقه نرم بر ساختمان‌های بتنی ۳ ، ۶ ، ۹ و ۱۲ طبقه تحقیق کردند. آن ها به جز طبقه نرم در بقیه طبقات از میان قاب استفاده کردند. آن‌ها جهت مدلسازی میان قاب از مهاربندهای معادل استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که استفاده از طبقه نرم در طبقات مختلف باعث افزایش دریفت طبقه نرم می‌شود . آمیت در سال ۲۰۱۲ رفتار ساختمان‌های بتنی با طبقه نرم در طبقات را مورد بررسی قرار داد . در این تحقیق برای یک ساختمان ۹ طبقه تمام طبقات به جز یک طبقه میان قاب قرار داده شد. تحقیقات پراکنده‌ای در پنجاه سال اول قرن بیستم درباره رفتار غیرخطی سازه‌ها انجام شده بود. اولین کسی که اصطلاح مفصل مومسان و مکانیزم فروریختگی را مطرح و به آن اشاره کرد کازینسی۱۹۱۴ بود. اما تحلیل مومسان قابها در اواسط دهه ۵۰ میلادی بود که با انتشار کتاب دو جلدی " طرح مومسان قاب‌ها" جان بیکر وارد فصل تازه‌ای شد .

از اواخر قرن بیستم که استفاده از رایانه برای حل مسائل بزرگ مقیاس مهندسی سازه مورد توجه قرار گرفت ، روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی (برنامه ریزی خطی و غیرخطی) برای حل اتوماتیک صورت مسئله قضایای حدود بالا و پایین تحلیل

مومسان به کار گرفته شد . بررسی عملکرد سازه و پیش‌بینی پاسخ لرزه‌ای آن در هنگام زلزله یکی از مسائل مهم و مورد بحث در مهندسی زلزله می‌باشد.

ایده‌های اولیه طراحی بر اساس عملکرد، توسط گلکن (Golkan) و سوزن (Sozen) ارائه شد و بعد از آن به تدریج توسعه یافت . در این فرآیند، عملکرد سازه بر اساس کنترل جابجایی تعیین می‌شود و پارامترهای جابجایی و تغییر مکان نسبی طبقات معیارهای اصلی طراحی قرار می‌گیرند. پس از زلزله ۱۹۸۹ لوماپریتا که منجر به خسارات سنگین شد، اعضاء SEAOC در سال ۱۹۹۲، کمیته Vision ۲۰۰۰ را تشکیل داده و سعی در متمایل کردن طراحی سازه‌ها بر اساس عملکرد بجای طراحی بر اساس نیرو داشتند. پس از زلزله نورثریدج در سال ۱۹۹۴، طراحی سازه‌ها بر اساس عملکرد بیش از پیش اهمیت پیدا کرد و پس از یک سال کمیته Vision 2000 پیشنهادهایی برای مباحث مهندسی زلزله بر اساس عملکرد ارائه داد. گزارش‌های مذکور حاوی نکات مهم در طراحی بر اساس عملکرد بود. برترو (Bertero) در سال ۱۹۹۷ دستورالعمل‌های SEAOC برای ساختمان‌های جدید و NEHRP برای بهسازی ساختمان‌های موجود را بازنگری نمود .

طراحی مدل‌ها

در طراحی مدل‌ها از فرضیات زیر استفاده می‌شود.

- نوع قاب، قاب خمشی متوسط می‌باشد.
- طراحی به روش تنشهای مجاز انجام می‌شود.
- برای طراحی مدل‌ها در از آیین‌نامه AISC-ASD89 که منطبق بر آیین نامه مقررات ملی ساختمان مبحث دهم می باشد استفاده شده است [۸] .
- برای طراحی مقاطع تیرها از پروفیل های IPE و ستون‌هااز پروفیل Box استفاده می‌شود.
- کنترل نسبت تنش اعضا انجام می‌شود.
- کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات انجام می‌شود.
- ضوابط لرزه‌ای در طراحی اعضای فولادی رعایت می‌شود.

در طراحی سازه سعی شده است تا حد امکان سازه بهینه طراحی شود و نسبت تنش تمامی اعضا کوچکتر از یک باشد. مطابق بند ۲-۵-۳ استاندارد ۲۸۰۰ تغییرمکان جانبی نسبی واقعی طرح، یا تغییرمکان جانبی نسبی غیرارتجاعی طرح، در هر طبقه تغییرمکانی است که در صورت منظور داشتن رفتار واقعی سازه با درنظر گرفتن رفتار غیر خطی آن بدست می‌آید. در واقع بجای تحلیل غیرخطی سازه با ضرب تغییر مکان خطی نسبی طبقات در ضریب 0.7R می‌توان با دقت خوبی تغییر مکان غیرخطی واقعی سازه را پیش‌بینی کرد، این تغییرمکان را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد.

$$\Delta_M = 0.7R.\Delta_w$$

در این رابطه:

Δ_M: تغییرمکان جانبی نسبی واقعی طرح در طبقه

Δ_w: تغییرمکان جانبی نسبی طرح در طبقه

R: ضریب رفتار سازه

مطابق رابطه زیر با تقسیم جابجایی نسبی طبقه Δ بر ارتفاع آن طبقه دریفت (Drift) طبقه بدست می‌آید.

$$\text{Drift} = \frac{\Delta}{h} \quad , \quad \text{Drift}_M = \frac{\Delta_M}{h}$$

مطابق تبصره بند ۲-۵-۴ استاندارد ۲۸۰۰ می توان در کنترل Drift بجای پریود تجربی، از پریود تحلیلی سازه استفاده نمود. در این پایان‌نامه برای کنترل دریفت از این بند استفاده می‌شود. به همین دلیل مدل‌ها یکبار باید آنالیز شوند تا پریود تحلیلی آن‌ها بدست آید. در اکثر اوقات پریود تحلیلی بیش از تجربی است. استفاده از پریود تحلیلی باعث کاهش مقدار برش پایه می

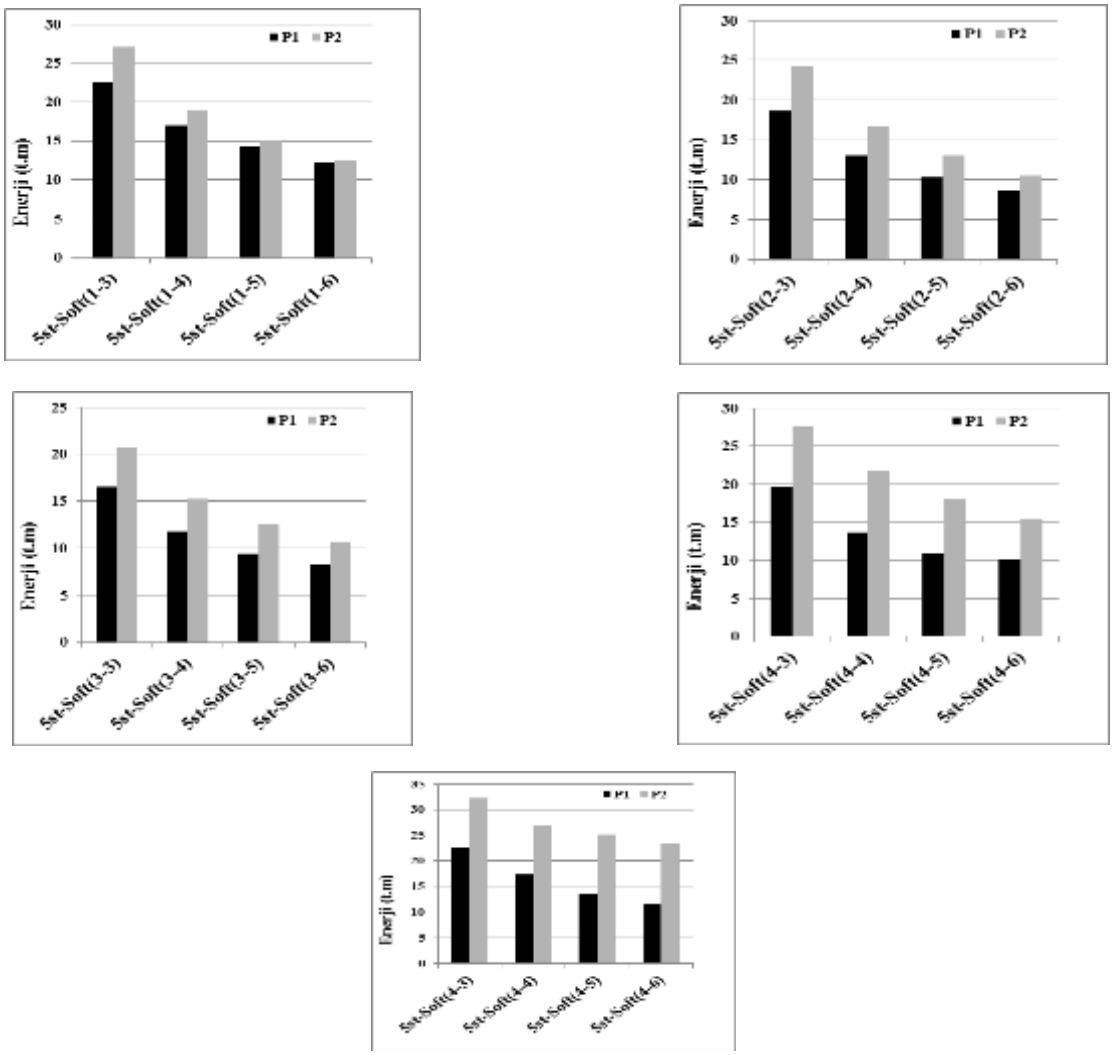
شود. در نتیجه تغییر مکان‌های سازه کمتر شده و سازه اقتصادی‌تر می‌شود. مجموع ۶۰ مدل طراحی می‌شود. مدل‌های ۵ ، ۱۰ و ۱۵ طبقه هر کدام ۲۰ طراحی منحصر به فرد دارند. زیرا با افزایش ارتفاع هر طبقه از ۳ تا ۶ متر، ارتفاع ستون‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین نیاز است مقطع آن‌ها دوباره طراحی شوند تا مقاومت لازم را بدست بیاورند.

تاثیر محل قرارگیری طبقه نرم در انرژی جذب شده توسط کل سازه

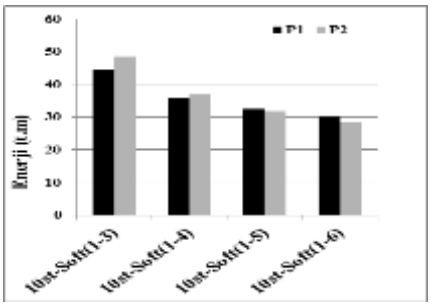
در تحلیل پوش‌اور منظور از جذب انرژی در سازه مساحت زیر منحنی پوش اور می‌باشد. این اتلاف انرژی می‌تواند توسط مقاومت سازه و یا شکل پذیری مستهلک شود. همانطور که از منحنی‌های پوش اور مشخص است، جذب انرژی توسط سازه نسبت مستقیمی با برش پایه ، جابجایی حداکثر بام و سختی اولیه دارد. سطح زیر منحنی‌های پوش‌اور نمایانگر مقدار جذب انرژی توسط سازه می‌باشد. هر چه این مساحت بیشتر باشد سازه قادر به جذب انرژی بیشتری می‌شود.

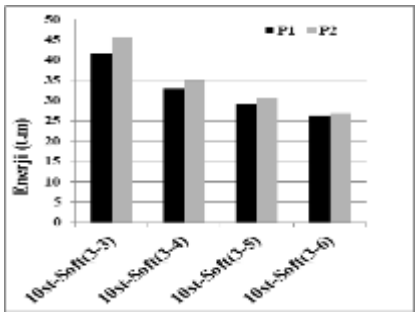
از شکل ۱ تا شکل انرژی کل سازه تحت بارهای P1 و P2 برای مدل‌های مختلف نشان داده شده است. با دقت در این شکل‌ها می‌توان گفت:

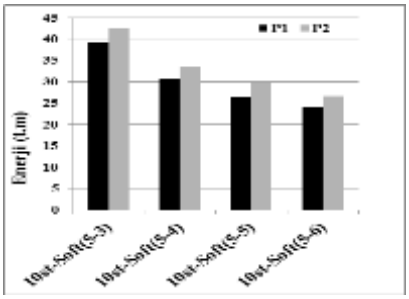
- همواره ایجاد طبقه نرم باعث افت مقدار انرژی کل سازه می‌شود. زیرا وجود طبقه نرم باعث می‌شود به دلیل تمرکز مفاصل مومسان در آن طبقه و طبقات نزدیک آن، انرژی زلزله در تعداد مفاصل کمتری اتلاف شود.

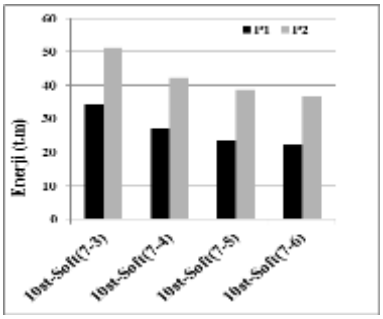


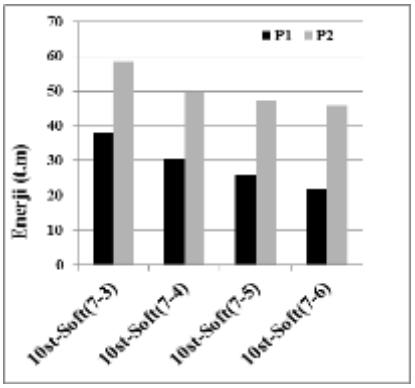
شکل ۱: جذب انرژی کل سازه مدل 5st با طبقه نرم موجود در طبقات ۱ ، ۳ ، ۵ ، ۷ ، ۹ و هر طبقه افزایش ارتفاع تا ۳ ، ۴ ، ۵ و ۶ متر.



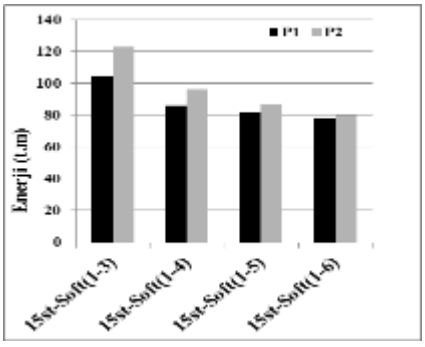


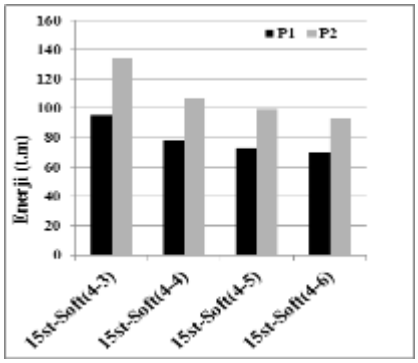


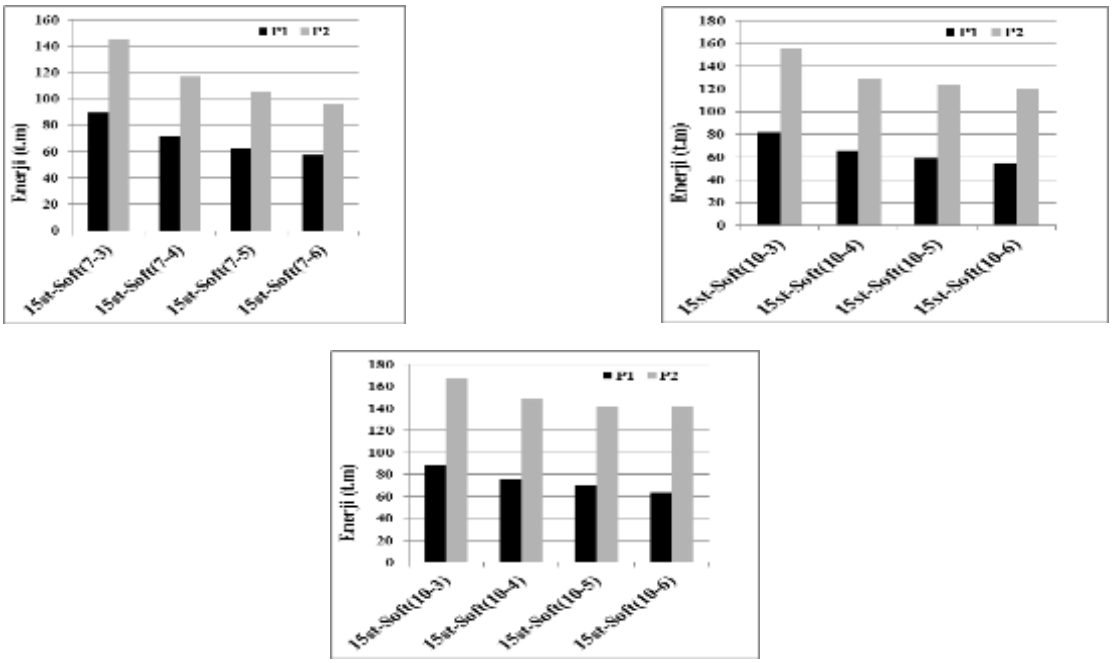




شکل .Error! No text of specified style in document: **جذب انرژی کل سازه مدل 10st با طبقه نرم موجود در طبقات ۱ ، ۳ ، ۵ ، ۷ ، ۹ و هر طبقه افزایش ارتفاع تا ۳ ، ۴ ، ۵ و ۶ متر.**



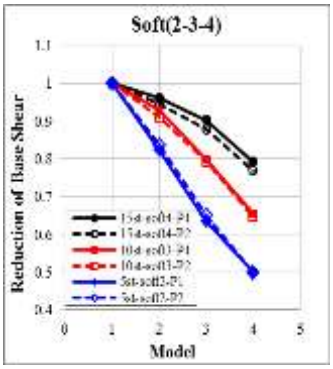


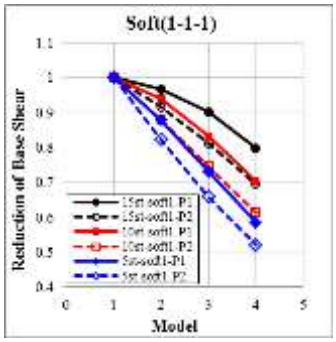


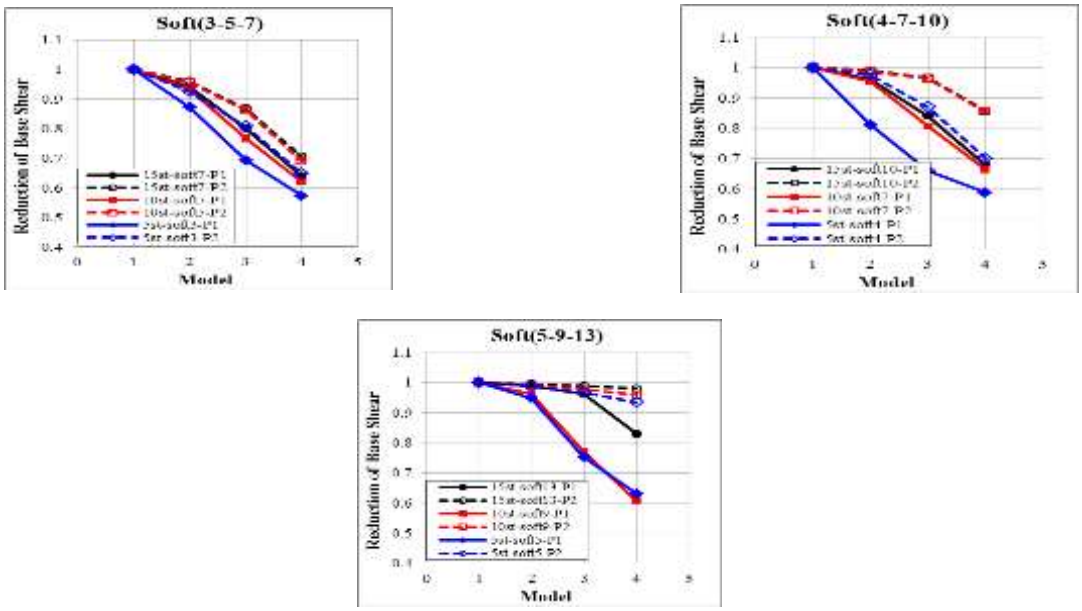
شکل۳: جذب انرژی کل سازه مدل 15st با طبقه نرم موجود در طبقات ۱ ، ۴ ، ۷ ، ۱۰ ، ۱۳ و هر طبقه افزایش ارتفاع تا ۳ ، ۴ ، ۵ و ۶ متر.

مقایسه اثر تعداد طبقه (ارتفاع سازه) در ایجاد طبقه نرم

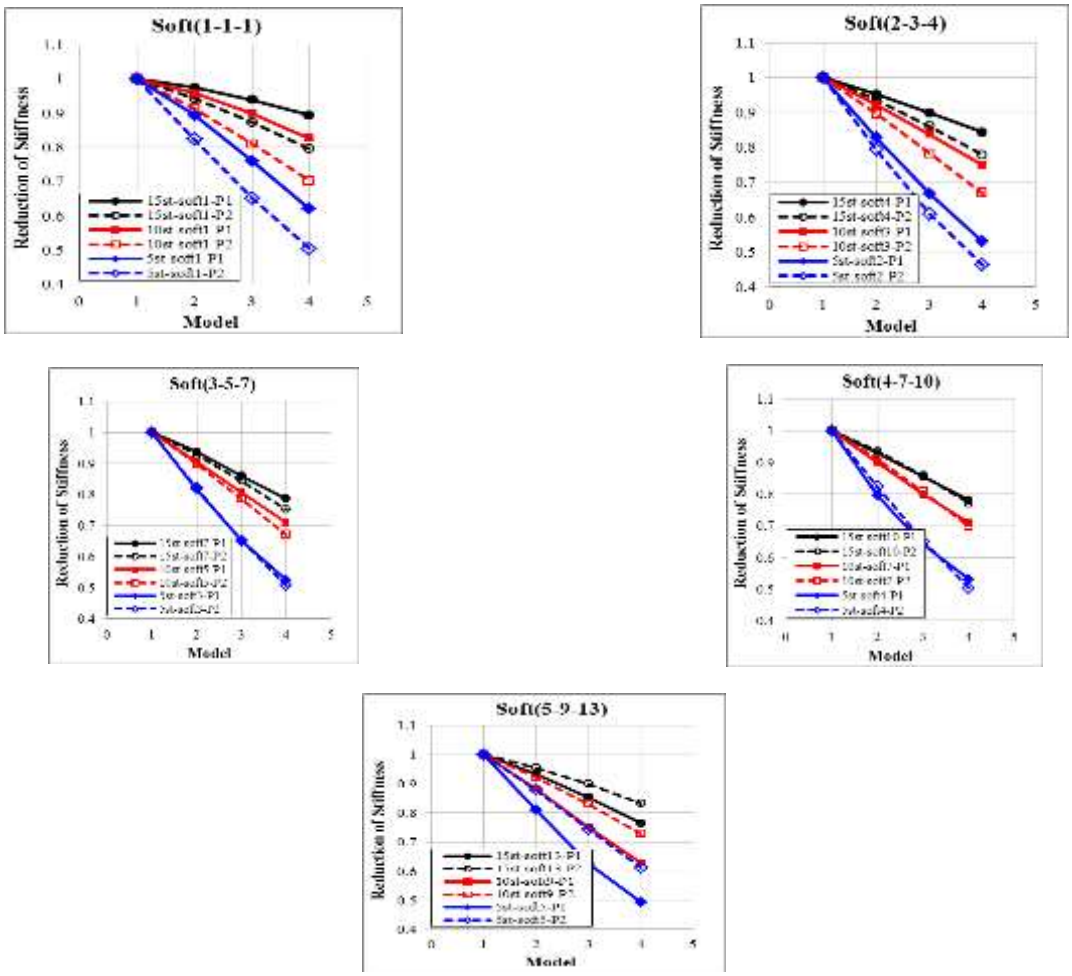
جهت مقایسه اثر تعداد طبقه (ارتفاع سازه) در رفتار سازه دارای طبقه نرم، از شکل ۱ تا شکل استفاده می‌شود. همانطور که قبلا اشاره شد، در این پایان‌نامه از از ۳ مدل ۵ ، ۱۰ و ۱۵ طبقه استفاده می‌شود. در مدل ۵ طبقه، به ترتیب در طبقات ۱ ، ۲ ، ۳ ، ۴ و ۵ افزایش ارتفاع داده می‌شود. در مدل ۱۰ طبقه، به ترتیب در طبقات ۱ ، ۳ ، ۵ ، ۷ و ۹ افزایش ارتفاع داده می‌شود. در مدل ۱۵ طبقه، به ترتیب در طبقات ۱ ، ۴ ، ۷ ، ۱۰ و ۱۳ افزایش ارتفاع داده می‌شود. افزایش ارتفاع به ترتیب ۳ ، ۴ ، ۵ و ۶ متر می‌باشد. بنابراین در مدل های ۵ ، ۱۰ و ۱۵طبقه، هر ۵ طبقه نرم به صورت جداگانه در قالب ۶ نمودار، ۳ تا مربوط به توزیع بار جانبی P1 و ۳ تا مربوط به توزیع بار جانبی P2 بررسی می‌شود.



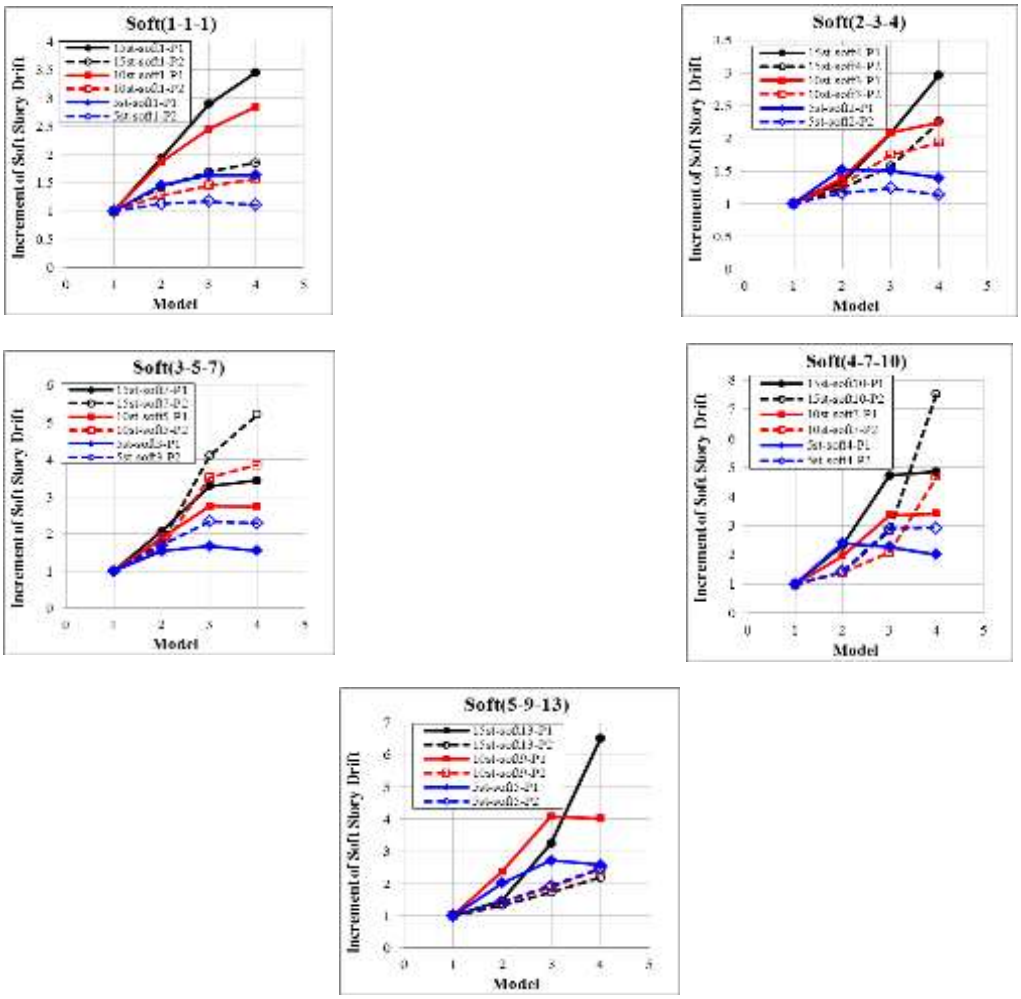




شکل ۱: مقایسه تاثیر تعداد طبقه (ارتفاع سازه) بر میزان کاهش برش پایه در کلیه مدل‌ها.



شکل .Error! No text of specified style in document۵: مقایسه تاثیر تعداد طبقه (ارتفاع سازه) بر میزان کاهش سختی در کلیه مدل‌ها.



شکل ۶: مقایسه تاثیر تعداد طبقه (ارتفاع سازه) بر میزان افزایش دریفت طبقه نرم در کلیه مدل‌ها.

نتیجه‌گیری

- در ساختمان منظم مفاصل مومسان در بیشتر اعضا ایجاد شده و جذب انرژی در کل سازه صورت می‌گیرد. با افزایش ارتفاع طبقه نرم، جذب انرژی سازه به سمت طبقه نرم منحرف می‌شود و در تیر و ستون‌های طبقه نرم متمرکز می‌شود. طبقه نرم همچون فیوز برای کل سازه عمل می‌کند و با فدا کردن خود مانع از رسیدن انرژی به بخش‌های بالایی سازه می‌شود که این پدیده با توجه به عدم وجود مقاومت کافی در طبقه نرم و همچنین دریفت زیاد طبقه اتفاق مناسبی نیست.
- محل اعمال بار متمرکز معادل P1 بالاتر از P2 است. در نتیجه بار P1 بیشتر به بالای سازه و بارP2 به پایین سازه اثر می کند. در کلیه مدل‌ها مقاومت (حداکثر برش پایه) و سختی و دریفت طبقات ناشی از بارP2 در طبقات پایین و بار P1 در طبقات بالا بیشتر است.
- حداکثر کاهش برش پایه به ترتیب در ساختمان ۵ ، ۱۰ و ۱۵ طبقه به ترتیب ۰/۵ ، ۰/۶ و ۰/۶۵ می‌باشد. زیرا در مدل‌های کوتاهتر با توجه به نسبت طبقه نرم به طبقات دیگر (۵ طبقه یک پنجم ، ۱۵ طبقه یک پانزدهم) اثر طبقه نرم بر رفتار کل سازه مشهودتر خواهد بود.
- حداکثر کاهش سختی به ترتیب در ساختمان ۵ ، ۱۰ و ۱۵ طبقه به ترتیب ۰/۴۷ ، ۰/۶۳ و ۰/۷۵ می‌باشد.
- حداکثر افزایش دریفت طبقه نرم در ساختمان ۵ ، ۱۰ و ۱۵ طبقه به ترتیب ۲/۹ ، ۴/۷ و ۷/۵ می‌باشد.

- در روند بدست آوردن دریفت طبقه نرم با پدیده‌ای روبرو شدیم و آن حالت‌هایی بود که با افزایش ارتفاع طبقه نرم مقدار دریفت آن طبقه کاهش می‌یافت. بر اثر ایجاد طبقه نرم و جذب انرژی کامل در آن طبقه، با توجه به اینکه سازه بیش از این در آن طبقه نمی‌تواند جذب انرژی کند، با افزایش ارتفاع آن طبقه جابجایی نسبی آن تغییر زیادی نخواهد کرد. اما از طرفی مخرج فرمول دریفت (ارتفاع طبقه) افزایش می‌یابد که خود این باعث ایجاد کاهش در مقدار دریفت طبقه نرم می‌شود.
- برش پایه همواره در حال کاهش است. ولی در خیلی حالات دریفت طبقه نرم ابتدا افزایش و در انتها کاهش می‌یابد. بحرانی ترین طبقه نرمی که تحت اثر همزمان این دو پارامتر بحرانی می‌شود، مربوط به طبقات میانی است.
- در کلیه مدل‌ها همواره کاهش برش پایه و سختی در توزیع بار P1 و P2 به ترتیب در سازه ۵ ، ۱۰ و ۱۵ طبقه بیشتر است. در طبقات پایینی تاثیر توزیع بار P2 در کاهش برش پایه مدل‌ها بیشتر و در طبقات بالایی تاثیر توزیع بار P1 در کاهش برش پایه مدل‌ها بیشتر است.
- در کلیه مدل‌ها همواره افزایش دریفت طبقه نرم در توزیع بار P1 و P2 به ترتیب در سازه ۵ ، ۱۰ و ۱۵ زیاد می‌شود.

مراجع

[1] SEAOC 1980, "Seismology Committee, Recommended Lateral Force Requirements and Commentary" Structural Engineers Association of California, Sacramento, CA.

[2]Applied Technology Council ATC, (1996). "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings." Rep. No ATC-40 California

[3] Federal Emergency Management Agency, FEMA, (1997). "NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings." Rep. No. FEMA-273, Washington, D.C.

[4] Federal Emergency Management Agency, FEMA, (2000). "Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings." Rep. No. FEMA-356, Washington, D.C.

[5] Federal Emergency Management Agency, FEMA, (2000). "Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures." Rep. No. FEMA-440, Washington, D.C.

[6]آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ ایران، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴.

[7]مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم، طرح و اجرای ساختمان های فولادی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، تهران، معاونت نظام مهندسی.و اجرای ساختمان وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۷

[8]سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، دفتر امور فنی و تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، "دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان ها ی موجود نشریه شماره ۳۶۰" ۱۳۸۵

[9]طاحونی، ش. شبانکاره، م. "بررسی پدیده طبقه همکف نرم در قاب های ساختمانی میانپر با مصالح بنایی" چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷

[10]قلعه نویی و همکاران. "بررسی اثرطبقه نرم بر عملکرد سازه ها به روش طیف ظرفیت" ششمین کنگره ملی مهندسی عمران ، سمنان اردیبهشت ۱۳۹۰.

[11] Wibowo A. et al "Collapse Modelling Analysis of a Precast Soft-Storey Building in Melbourne" AUSTRALIAN EARTHQUAKE ENGINEERING SOCIETY 2009 CONFERENCE Newcastle, New South Wales, 11-13 December 2009

[12] M.R. Amin P. Hasan “Effect of soft storey on multistoried reinforced concrete building frame” 4th Annual Paper Meet and 1st Civil Engineering Congress, December 22-24, 2011, Dhaka, Bangladesh

[13] Amit V. Khandve “Seismic Response of RC Frame Buildings with Soft Storeys” International Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 2, Issue 3, May-Jun 2012,

[14]مقدم، ح.، مهندسی زلزله: تئوری و کاربرد، انتشارات فرهنگ، ایران، ۱۳۸۴..