تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه‌های بتن مسلح میان‌مرتبه دارای طبقه نرم

افروز کتیراء
کارشناس ارشد مهندسی عمران-زلزله، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
afroozkatira@yahoo.com

نعمت حسنی
دانشیار دانشکده مهندسی آب و محیط زیست پردیس فنی و مهندسی عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
n_hassani@sbu.ac.ir

کلید واژه‌ها: *طبقه نرم ، تحلیل استاتیکی غیرخطی، قاب خمشی بتن مسلح، زلزله، منحنی ظرفیت سازه*

چکیده

وجود طبقه نرم گرچه بلحاظ توزیع و استفاده از فضاهای طبقه مناسب می‌باشد، ولی از دیدگاه لرزه‌ای، آسیب‌پذیری ساختمان و میزان خسارت وارده را بسیار افزایش می‌دهد بگونه‌ای که شکست طبقه نرم را به رایج‌ترین نوع خرابی در زلزله تبدیل می‌کند. الگوهای بدست آمده از خرابی‌های زلزله‌های مخرب جهان سبب شده تا محققان متوجه بروز پدیده طبقه نرم در برخی از سازه‌ها شوند و تلاش کنند با بررسی اثر طبقه نرم بر رفتار سازه، نواقص آیین‌نامه‌ها را در این زمینه رفع و سازه‌ها را در برابر این پدیده مقاوم‌سازی کنند.

در این مطالعه، برای بررسی اثر طبقه نرم بر رفتار سازه با استفاده از نرم‌افزار ایتبس، دو قاب خمشی بتن مسلح تک دهنه با تعداد طبقات ۷ و ۹ که دارای طبقه‌ی نرم (ایجاد شده در اثر افزایش ارتفاع) هستند، مدلسازی و اثر حرکت طبقه نرم به سمت بالا بر منحنی ظرفیت سازه و همچنین تاثیر افزایش ارتفاع طبقه نرم بر منحنی ظرفیت سازه مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت این نتیجه حاصل شد که تحت بار استاتیکی خطی، بدترین مکان برای طبقه نرم، ارتفاع میانی سازه و بهترین مکان، طبقه آخر می باشد. تحت بار یکنواخت، بدترین مکان برای طبقه نرم، ارتفاع میانی سازه و بهترین مکان، طبقه آخر می باشد. تحت بار یکنواخت، بدترین مکان برای طبقه نرم، اطبقه اول سازه و بهترین مکان، طبقه آخر می باشد. همچنین با افزایش ارتفاع طبقه نرم، هم تحت بار یکنواخت و هم تحت بار استاتیکی خطی، منحنی ظرفیت سازه (یا به عبارتی میزان شکل‌پذیری سازه) کاهش می‌یابد. که این نتیجه با خصوصیات طبقه نرم کاملا منطبق است.

مقدمه

یکی از رایج‌ترین مدهای شکست ساختمان‌ها در زلزله‌های گذشته، شکست طبقه نرم بوده است. در حال حاضر در کلان شهرهای ایران، تقریباً تمامی ساختمان‌ها به علت ضوابط شهرداری برای تامین پارکینگ، بگونه‌ای ساخته می‌شوند که طبقه‌ی همکف و یا حتی طبقه‌ی منهای یک، فاقد هر گونه میان‌قاب بوده که این امر احتمال ایجاد طبقه نرم در سازه را بالا می‌برد. همچنین در بعضی موارد با سازه‌هایی روبرو هستیم که طبقه همکف آنها به علت ایجاد فضای تجاری، علاوه بر حذف میان‌قاب‌ها (البته در بعضی موارد)، دارای ارتفاع بیشتر نیز نسبت به سایر طبقات می‌باشد. بنابراین باز هم احتمال ایجاد طبقه نرم در سازه وجود دارد. از طرف دیگر، امروزه، قرار دادن یک طبقه به عنوان سالن اجتماعات در بعضی از ساختمان‌های اداری در طبقات میانی سازه، امری بسیار رایج است. به هر حال اجتناب از ملاحظات معماری غیر ممکن است، بنابراین در اکثر سازه‌ها به احتمال زیاد با پدیده طبقه نرم روبرو خواهیم بود. لذا توجه به رفتار این سازه‌ها در مواجه با زلزله، برای حفظ ایمنی جانی ساکنان ساختمان و تجهیزات درون آن (مثل بیمارستان‌ها) امری ضروری است. طبقه نرم در مقابل زلزله آسیب‌پذیری بسیار بالایی داشته و میزان خسارت وارد به ساختمان را افزایش می‌دهد.

از بین ساختمان‌های بتنی و فولادی دارای طبقه نرم، احتمال تخریب در ساختمان‌های بتنی بیشتر است. زیرا در ساختمان‌های فلزی کلیه اعضای سازه‌ای (تیرها و ستون‌ها) در کارخانه به صورت استاندارد ساخته شده و تنها اتصالات در محل کارگاه انجام می‌گیرد. اما در سازه‌های بتنی به علت آن که کلیه‌ی این مقاطع در محل کارگاه ساخته می‌شوند احتمال خطا و عدم رعایت اصول فنی در اجرا، افزایش یافته، درنتیجه احتمال شکست این اعضا افزایش می‌یابد. (کتیراء، ۱۳۹۳)

عملکرد صحیح لرزه‌ای یک سازه مستلزم آن است که مقاومت قابل دسترسی و ظرفیت‌های تغییرشکل اعضا بیش از نیازهای تحمیل شده به سازه بر اثر زمین لرزه باشد. تغییر نگرش از طراحی بر اساس نیرو به سمت طراحی بر مبنای رفتار و عملکرد سازه، روش جدیدی را در زمینه طراحی به وجود آورده است که اصطلاحاً طراحی بر اساس عملکرد نامیده می‌شود. برای دستیابی به ظرفیت سازه در آن سوی محدوده الاستیک

احتیاج به استفاده از تحلیل‌های غیرخطی می‌باشد. آنالیز پوش‌آور یک تحلیل استاتیکی غیرخطی تحت بارهای جانبی فزاینده است. هدف از تحلیل استاتیکی غیرخطی فزاینده، برآورد رفتار مورد انتظار یک سیستم سازه‌ای به کمک تخمین مقاومت و تغییرشکل مورد نیاز با ظرفیت‌های موجود در سطح رفتاری یا عملکردی مورد نظر است. روش‌های تحلیلی که در طراحی بر اساس عملکرد و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها مطرح می‌شوند، عمدتاً برمبنای آنالیز استاتیکی غیرخطی می‌باشند. دلیل استفاده از این نوع آنالیز، سرعت بالای انجام آن، سادگی تفسیر نتایج و دقت قابل قبول آن می‌باشد. یکی از مهمترین نتایج این تحلیل تعیین نمودار نیرو-تغییرمکان یا منحنی ظرفیت است که با مشخص کردن نیروی برش پایه و تغییرمکان جانبی بالاترین سطح سازه (بام) در هر گام و رسم این دو پارامتر در مقابل هم بدست می‌آید که به منحنی پوش‌آور معروف می‌باشد. در زمینه آنالیز استاتیکی غیرخطی در سال‌های اخیر تحقیقات بی‌شماری صورت گرفته است. رادینکلر[1] و سنوایرنا[2] به توصیف جامعی از آنالیز استاتیکی غیرخطی پرداختند. کالن[3] و کانث[4] به مقایسه روش‌های استاتیکی غیرخطی مختلف پرداختند. بسیاری از مطالعات در این زمینه مربوط به چگونگی توزیع بار جانبی و چگونگی در نظر گرفتن اثرات مودهای بالاتر به خصوص در سازه‌های با پریود بالاتر می‌باشد. در این زمینه به عنوان نمونه می‌توان به مطالعات چوپرا[5] و گویل[6] اشاره کرد که توزیع بار جانبی بر مبنای مشارکت مودهای اساسی سازه بدست می‌دهد. از دیگر مطالعات می‌توان به مطالعات جن و همکاران اشاره کرد که یک توزیع جانبی بار براساس دو مود اول ارتعاش سازه پیشنهاد کردند. (پاک‌نیت ش و همکاران ۱۳۹۰)

در این مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار ایتبس ورژن ۹.۷.۲[7] دو قاب خمشی بتن مسلح تک دهنه با تعداد طبقات ۷ و ۹ که دارای طبقه‌ی نرم (ایجاد شده در اثر افزایش ارتفاع) هستند، مدلسازی و اثر حرکت طبقه نرم به سمت بالا بر منحنی ظرفیت سازه و همچنین تاثیر افزایش ارتفاع طبقه نرم بر منحنی ظرفیت سازه مورد بررسی قرار گرفت. علت مدلسازی قاب‌های بتن مسلح به صورت ۷ و ۹ طبقه، بررسی اثر طبقه نرم بر سازه‌های میان‌مرتبه می‌باشد.

معرفی قاب‌های مورد مطالعه

مطابق ویرایش سوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ این قاب‌ها دارای ضریب رفتار ۷ و درجه اهمیت ۳ بوده و در منطقه‌ای با خاک نوع ۳ و میزان لرزه‌خیزی خیلی زیاد واقع شده‌اند. برای بارگذاری ثقلی قاب‌ها از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (آیین‌نامه ۵۱۲ بارهای وارد بر ساختمان) و بارگذاری لرزه‌ای از ویرایش سوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ استفاده شده است. با احتساب عرض باربر ۳ متر برای هر تیر، بار مرده و بار زنده برای هر تیر در کلیه طبقات به ترتیب ۱۶۰۰ نیوتن بر متر و ۲۵۰۰ نیوتن بر متر در نظر گرفته شد. اتصالات تیر به ستون در این قاب‌ها صلب و در مراحل تحلیل سازه اثرات P-Δ و کاهش ممان اینرسی تیر و ستون (ترک‌خوردگی) در نظر گرفته شده است. ارتفاع کلیه طبقات بغیر از طبقه نرمی که ناشی از افزایش ارتفاع ایجاد شده، ۳ متر فرض گردید. مشخصات مقاطع در قاب‌های ۷ و ۹ طبقه در جدول ۱ و ۲ قابل مشاهده است. برای محاسبه جابجایی هدف برای هر قاب از نشریه ۳۶۰ استفاده شد. (FEMA 356, 2000)

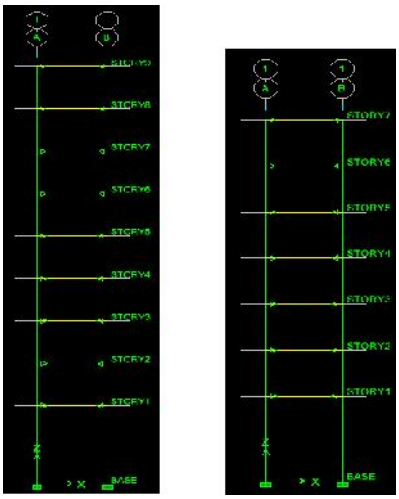
جدول ۱: جزئیات مقاطع قاب ۷ طبقه (کتیراء، ۱۳۹۳)

طبقه	ستون		تیر		
	ابعاد (سانتی‌متر)	آرماتور	ابعاد (سانتی‌متر)	آرماتور	
				بالا	پایین
۱، ۲ و ۳	۵۰×۵۰	۲۰@ ۲۰d	۴۵×۴۵	۴@ ۲۰d	۴@ ۲۰d
۴ و ۵	۴۵×۴۵	۱۶@ ۲۰d	۴۰×۴۵	۳@ ۲۰d	۳@ ۲۰d
۶ و ۷	۴۰×۴۰	۱۴@ ۲۰d	۴۰×۴۰	۳@ ۱۸d	۳@ ۱۸d

جدول ۲: جزئیات مقاطع قاب ۹ طبقه (کتیراء، ۱۳۹۳)

طبقه	ستون		تیر		
	ابعاد (سانتی‌متر)	آرماتور	ابعاد (سانتی‌متر)	آرماتور	
				بالا	پایین
۱، ۲ و ۳	۵۵×۵۵	۲۴@ ۲۰d	۵۰×۵۰	۴@ ۲۰d	۴@ ۲۰d
۴ و ۵	۵۰×۵۰	۲۰@ ۲۰d	۴۵×۴۵	۴@ ۲۰d	۴@ ۲۰d
۶ و ۷	۴۵×۴۵	۱۶@ ۲۰d	۴۰×۴۵	۳@ ۱۸d	۳@ ۱۸d
۸ و ۹	۴۰×۴۰	۱۴@ ۲۰d	۴۰×۴۰	۳@ ۱۸d	۳@ ۱۸d

[1] Krawinkler
[2] Senevirantna
[3] Kalkan
[4] Kunnath
[5] Chopra
[6] Goel
[7] ETABS 9.7.2



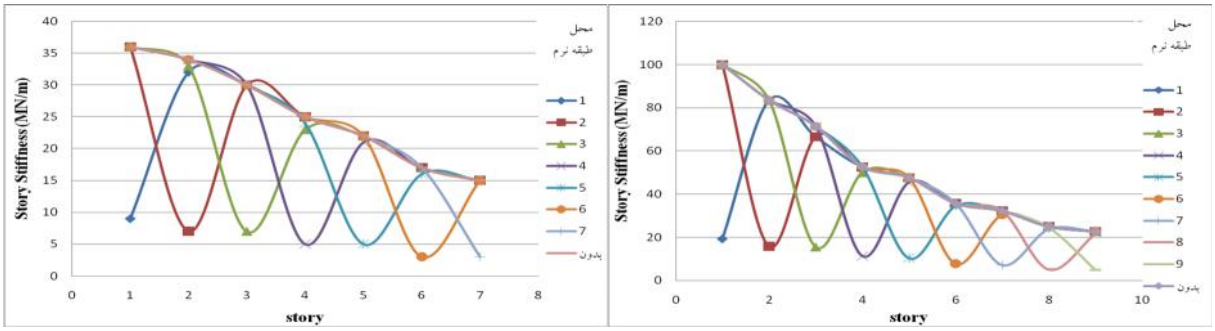
(ب) (الف)

شکل ۱: تصویر مدلسازی شده قاب ۷ و ۹ طبقه‌ی دارای طبقه نرم، در حالی که طبقه نرم در طبقه اول قرار دارد. (کتیراء، ۱۳۹۳)

محاسبه میزان سختی طبقه در قاب‌های مدلسازی شده

در این بخش برای اطمینان از نحوه مدلسازی صحیح طبقه نرم در نرم‌افزار، طبق تعریف سختی طبقه[۸]، سختی هر یک از طبقات در قاب‌های مدلسازی شده، محاسبه گردیده است. همانطور که در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است، به ازای افزایش ارتفاع در یک طبقه، افت شدید سختی در آن طبقه مشاهده می‌شود که این امر سبب بروز طبقه نرم در آن طبقه می‌گردد.

به طور طبیعی با حرکت در ارتفاع سازه (از طبقه اول به طبقه آخر) مشاهده می‌شود که به دلیل کاهش مقاطع تیرها و ستون‌ها، سختی طبقات کاهش می‌یابد. بنابراین طبقات پایینی سازه سختی بیشتری نسبت به طبقات بالایی داشته و قرارگیری طبقه نرم در طبقات پایینی باعث کاهش شدید مقدار سختی می‌گردد و چون در اثر زمین لرزه نیروی جانبی بیشتری به طبقات پایینی وارد می‌شود، قرارگیری طبقه نرم در طبقات پایینی حالت بحرانی‌تری را ایجاد می‌کند. هم‌چنین بررسی نرمی آخرین طبقه از سازه طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ میسر نیست زیرا بالای آن طبقه‌ای وجود ندارد. در ادامه، اثر طبقه نرم بر جابجایی و دریفت سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۲: سختی قاب ۷ طبقه دارای طبقه نرم (کتیراء، ۱۳۹۳) **شکل ۳: سختی قاب ۹ طبقه دارای طبقه نرم (کتیراء، ۱۳۹۳)**

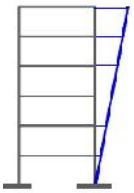
نحوه مدلسازی برای تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش‌آور)

برای تحلیل پوش‌آور، در مرحله اول باید برای اعضایی که در تحمل بار زلزله نقش عمده‌ای ایجاد می‌کنند، مفاصل پلاستیک تعریف گردد. در این پایان‌نامه مفاصل برای تیرها از نوع خمشی (M) و برای ستون‌ها از نوع محوری- دو لنگری (PMM) می‌باشند. در مرحله بعد مفاصل تعریف شده به اعضا اختصاص داده شد. ترکیب بارهای ثقلی و الگوی بار جانبی نیز مطابق دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ایران (نشریه ۳۶۰) به صورت زیر انجام گرفته است.

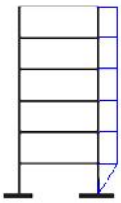
- توزیع متناسب با تحلیل استاتیکی خطی (مثلثی درج شده در استاندارد ۲۸۰۰) به عنوان توزیع اول: در این روش مطابق شکل ۴ توزیع نیروی جانبی ساختمان متناسب با روابط آیین‌نامه‌ای توزیع برش پایه در ارتفاع می‌باشد.

[۸] سختی طبقه که عبارتست از: نیروی لازم برای ایجاد جابجایی واحد در مرکز جرم طبقه مورد نظر در صورتی که طبقات زیرین در برابر حرکت جانبی مقید شده باشند. (مرکز تحقیقات مسکن و ساختمان، ۱۳۹۱)

- توزیع یکنواخت به عنوان توزیع دوم: مطابق شکل ۵ توزیع بار جانبی در ارتفاع سازه ثابت و از رابطه ۴-۷ پیروی می‌کند. قالب کلی این رابطه همان رابطه توزیع نیروی زلزله در ارتفاع سازه می‌باشد. با این تفاوت که ضریب K برابر با صفر است.



شکل ۴: نمایش توزیع بار متناسب با تحلیل استاتیکی خط



شکل ۵: نمایش توزیع بار یکنواخت (پاک‌نیت ش و همکاران ۱۳۹۰)

برای بررسی اثر ارتفاع طبقه نرم در عملکرد لرزه‌ای سازه، در قاب ۷ و ۹ طبقه ارتفاع کلیه طبقات غیر از طبقه نرم ۳ متر و ارتفاع طبقه نرم ۴/۵، ۵ و ۵/۵ متر به صورت متغیر در نظر گرفته شد. بنابراین ۲۱ مدل برای قاب ۷ طبقه و ۲۷ مدل برای قاب ۹ طبقه و در مجموع ۴۸ مدل مورد تجزیه و تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفت.

تاثیر حرکت طبقه نرم به سمت بالا بر منحنی ظرفیت سازه

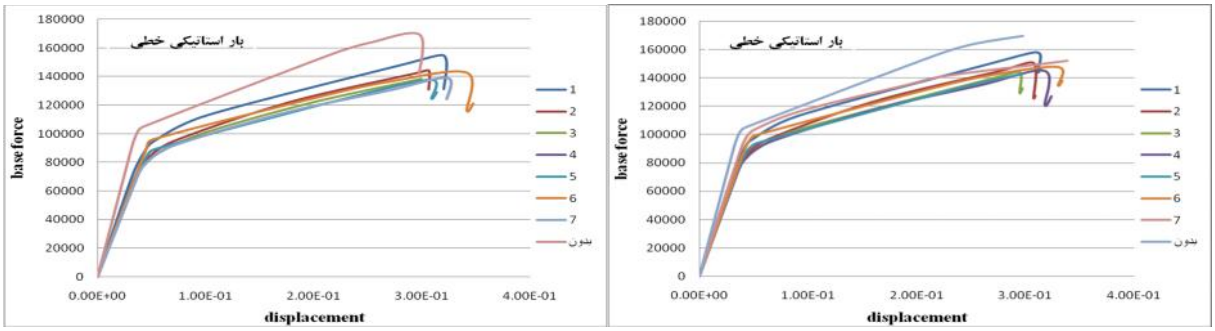
۱- تحت بار استاتیکی خطی، در سازه‌ی ۷ طبقه مشاهده می‌شود که منحنی ظرفیت سازه با جابجا شدن طبقه نرم از طبقه اول تا طبقه چهارم به تدریج در حال کاهش است بگونه‌ای که منحنی ظرفیت سازه‌ای که طبقه نرم آن در طبقه چهارم قرار دارد، در پایین‌ترین محل قرار می‌گیرد. اما با حرکت طبقه نرم از طبقه چهارم به طبقه هفتم منحنی ظرفیت سازه به تدریج دچار افزایش می‌شود بطوری که وقتی طبقه نرم در طبقه هفتم قرار دارد، منحنی ظرفیت سازه در بالاترین محل و زیر منحنی ظرفیت سازه‌ی بدون طبقه نرم قرار می‌گیرد. بنابراین در سازه‌ی ۷ طبقه شبیه‌ترین حالت به منحنی ظرفیت سازه‌ی بدون طبقه نرم، قرارگیری طبقه نرم در طبقه هفتم است.

در سازه‌ی ۹ طبقه نیز مشاهده می‌شود که منحنی ظرفیت سازه با جابجا شدن طبقه نرم از طبقه اول تا طبقه ششم به تدریج در حال کاهش است بگونه‌ای که منحنی ظرفیت سازه‌ای که طبقه نرم آن در طبقه ششم قرار دارد، در پایین‌ترین محل قرار می‌گیرد. اما با حرکت طبقه نرم از طبقه ششم به طبقه نهم منحنی ظرفیت سازه به تدریج دچار افزایش می‌شود بطوری که وقتی طبقه نرم در طبقه نهم قرار دارد، منحنی ظرفیت سازه در بالاترین محل و زیر منحنی ظرفیت سازه‌ی بدون طبقه نرم قرار می‌گیرد. بنابراین در سازه‌ی ۹ طبقه شبیه‌ترین حالت به منحنی ظرفیت سازه‌ی بدون طبقه نرم، قرارگیری طبقه نرم در طبقه نهم است.

بطور کلی، منحنی ظرفیت سازه تحت بار استاتیکی خطی، با جابجا شدن طبقه نرم از طبقه اول تا طبقه میانی (در سازه ۷ طبقه تا طبقه چهارم و در سازه ۹ طبقه تا طبقه ششم) در حال کاهش و از طبقه میانی تا طبقه آخر در حال افزایش است. شبیه‌ترین حالت به منحنی ظرفیت سازه‌ی بدون طبقه نرم، قرارگیری طبقه نرم در طبقه آخر می‌باشد.

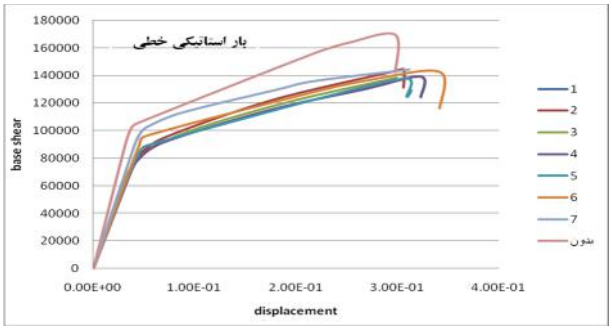
۲- تحت بار یکنواخت، در سازه‌های ۷ و ۹ طبقه روند منظمی در منحنی ظرفیت سازه با جابجا شدن طبقه نرم مشاهده می‌شود. به این ترتیب که با حرکت طبقه نرم به سمت طبقات بالا، منحنی ظرفیت سازه به تدریج دچار افزایش می‌شود. بدین صورت که هنگامی که طبقه نرم در طبقه اول قرار دارد، منحنی ظرفیت در پایین‌ترین محل و زمانی که طبقه نرم در طبقه آخر قرار دارد، منحنی ظرفیت در بالاترین محل و زیر منحنی ظرفیت سازه‌ی بدون طبقه نرم قرار می‌گیرد. بنابراین شبیه‌ترین حالت به منحنی ظرفیت سازه‌ی بدون طبقه نرم، قرارگیری طبقه نرم در طبقه آخر است.

منحنی‌های ظرفیت سازه ۷ و ۹ طبقه با طبقه نرم ۴/۵، ۵ و ۵/۵ متر تحت بار استاتیکی خطی (کتیراء، ۱۳۹۳)

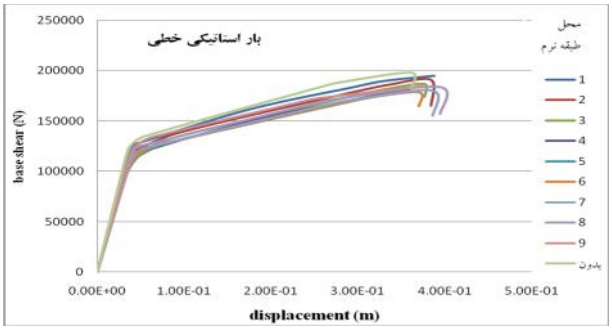


شکل ۶: منحنی‌های ظرفیت سازه ۷ طبقه با طبقه نرم ۴/۵ متر

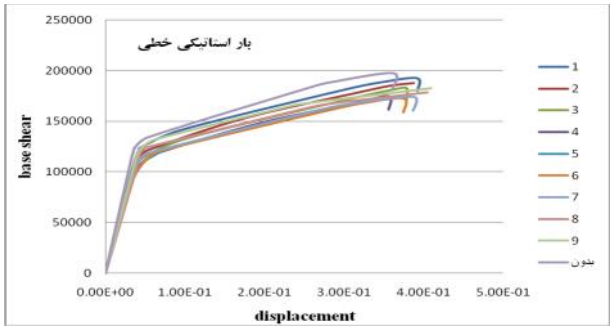
شکل ۷: منحنی‌های ظرفیت سازه ۷ طبقه با طبقه نرم ۵ متر



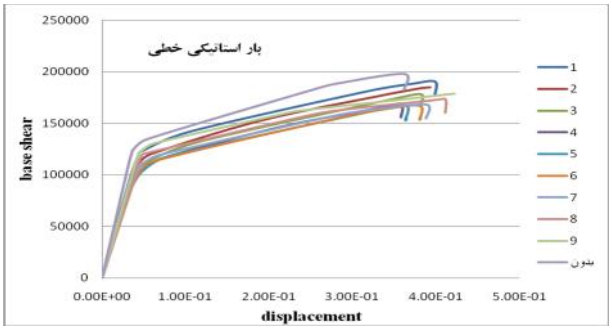
شکل ۸: منحنی‌های ظرفیت سازه ۷ طبقه با طبقه نرم ۵/۵ متر



شکل ۹: منحنی‌های ظرفیت سازه ۹ طبقه با طبقه نرم ۴/۵ متر

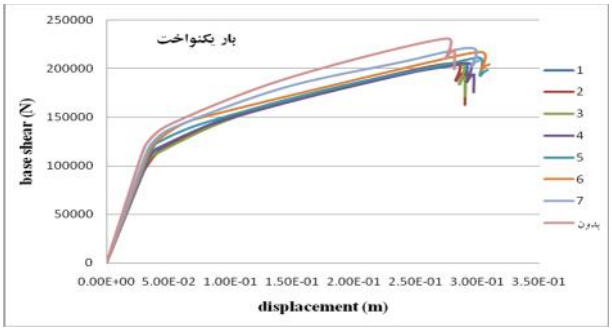


شکل ۱۰: منحنی‌های ظرفیت سازه ۹ طبقه با طبقه نرم ۵ متر

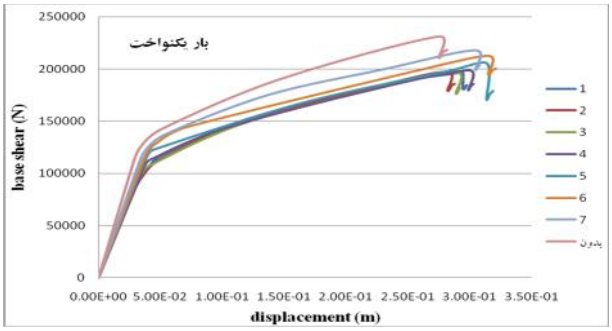


شکل ۱۱: منحنی‌های ظرفیت سازه ۹ طبقه با طبقه نرم ۵/۵ متر

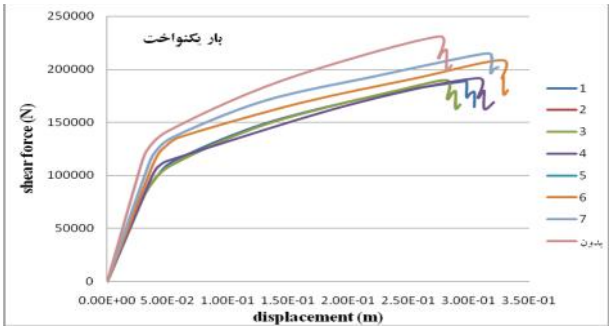
منحنی‌های ظرفیت سازه ۷ و ۹ طبقه با طبقه نرم ۴/۵، ۵ و ۵/۵ متر تحت بار یکنواخت (کتیراء، ۱۳۹۳)



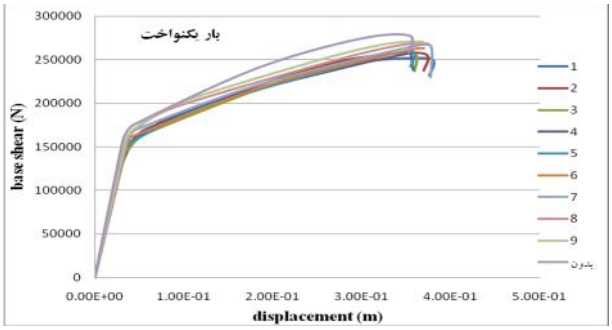
شکل ۱۲: منحنی‌های ظرفیت سازه ۷ طبقه با طبقه نرم ۴/۵ متر



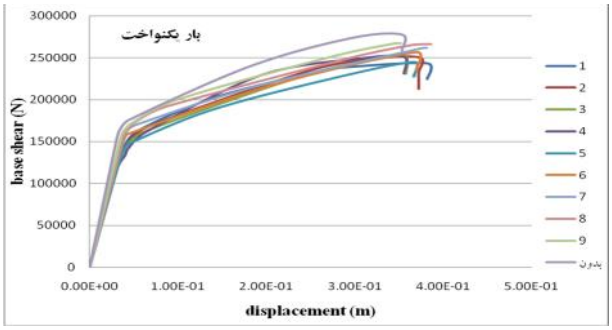
شکل ۱۳: منحنی‌های ظرفیت سازه ۷ طبقه با طبقه نرم ۵ متر



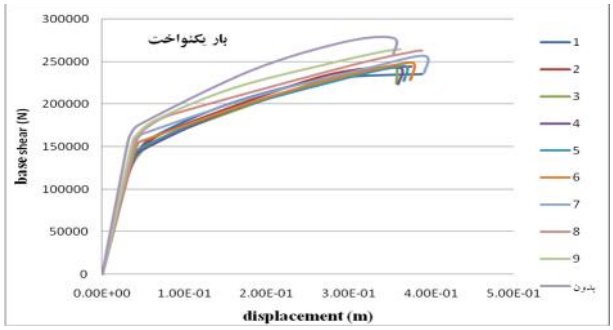
شکل ۱۴: منحنی‌های ظرفیت سازه ۷ طبقه با طبقه نرم ۵/۵ متر



شکل ۱۵: منحنی‌های ظرفیت سازه ۹ طبقه با طبقه نرم ۴/۵ متر



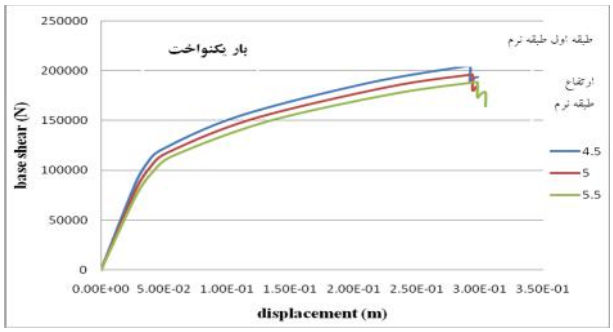
شکل ۱۶: منحنی‌های ظرفیت سازه ۹ طبقه با طبقه نرم ۵ متر

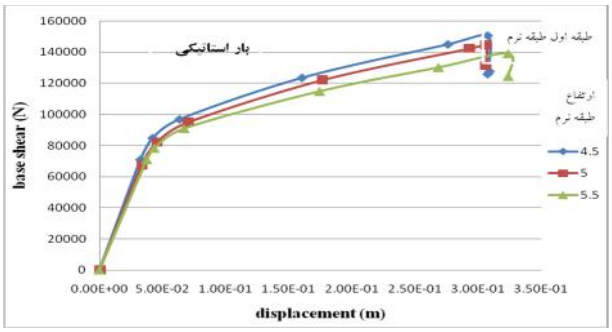


شکل ۱۷: منحنی‌های ظرفیت سازه ۹ طبقه با طبقه نرم ۵/۵ متر

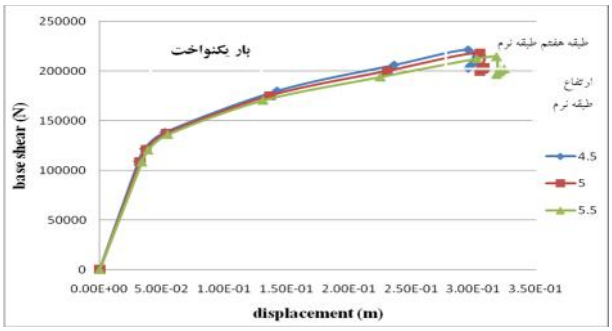
تاثیر افزایش ارتفاع طبقه نرم بر منحنی ظرفیت سازه

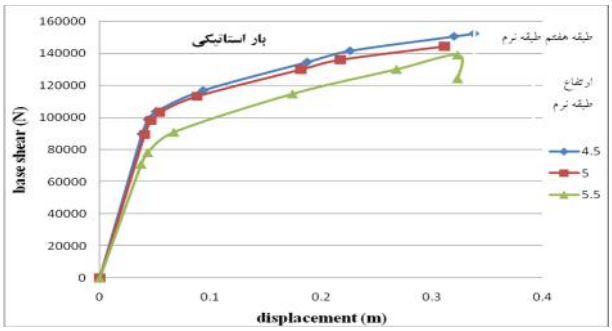
هم تحت بار یکنواخت و هم تحت بار استاتیکی خطی، با افزایش ارتفاع طبقه نرم، منحنی ظرفیت سازه (در هر دو سازه ۷ و ۹ طبقه) کاهش می‌یابد، که این روند تحت بار یکنواخت وضوح بیشتری دارد. در واقع با افزایش ارتفاع طبقه نرم میزان نرمی طبقه افزایش یافته که این امر میزان شکل‌پذیری کل سازه را کاهش می‌دهد.



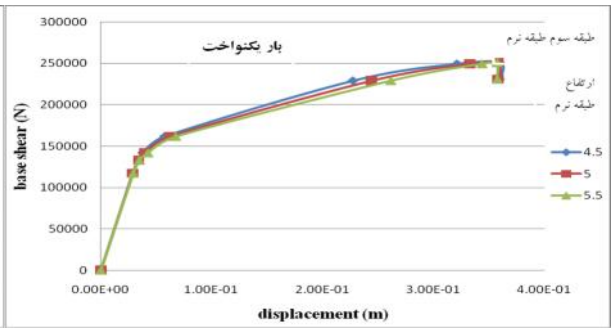


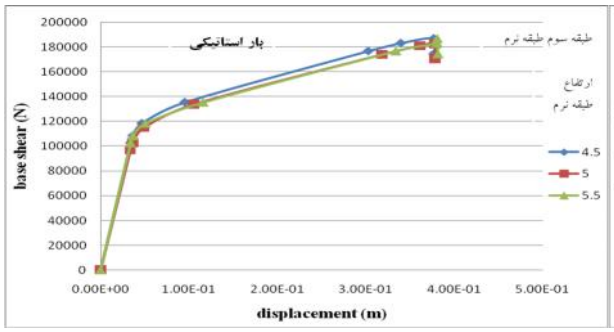
شکل ۱۸: مقایسه منحنی‌های ظرفیت سازه ۷ طبقه دارای طبقه اول نرم تحت بار یکنواخت و تحت بار استاتیکی (کتیراء، ۱۳۹۳)



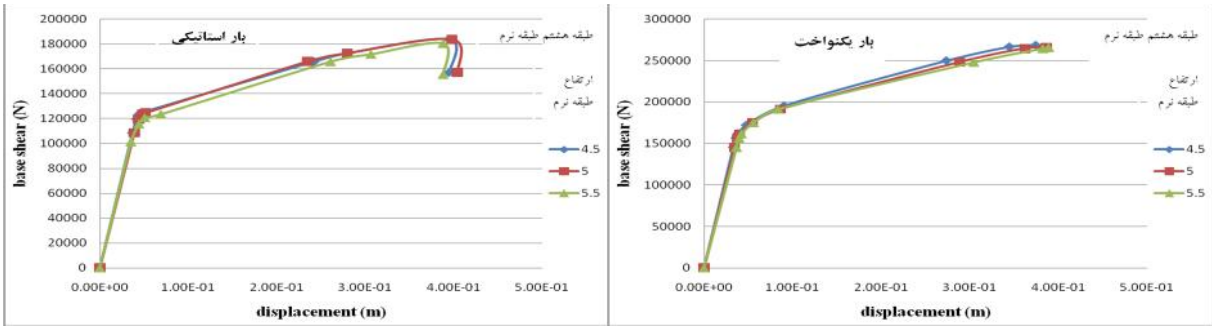


شکل ۱۹: مقایسه منحنی‌های ظرفیت سازه ۷ طبقه دارای طبقه هفتم نرم تحت بار یکنواخت و تحت بار استاتیکی (کتیراء، ۱۳۹۳)





شکل ۲۰: مقایسه منحنی‌های ظرفیت سازه ۹ طبقه دارای طبقه سوم نرم تحت بار یکنواخت و تحت بار استاتیکی (کتیراء، ۱۳۹۳)



شکل ۲۱: مقایسه منحنی‌های ظرفیت سازه ۹ طبقه دارای طبقه هشتم نرم تحت بار یکنواخت و بار استاتیکی (کتیراء، ۱۳۹۳)

نتیجه‌گیری

بطور کلی محققان علم مهندسی زلزله در حدود ۳۰- ۲۰سال است که به وجود پدیده طبقه نرم پی بردند و بر اثر تجارب به دست آمده در زلزله‌های مختلف مثل نورتریج ۱۹۹۴، کوبه ۱۹۹۵، هند ۲۰۰۱ و ترکیه ۲۰۰۳، توانستند ضوابط آیین‌نامه‌ای مربوط به آن را تکمیل کنند. در این مقاله، پس از مدلسازی طبقه نرم در سازه‌های بتن مسلح میان‌مرتبه نتایج ذیل حاصل شد:

۱- تحت بار استاتیکی خطی، منحنی ظرفیت سازه‌ی بدون طبقه نرم در بالاترین محل قرار می‌گیرد. منحنی ظرفیت سازه تحت این بار، با جابجا شدن طبقه نرم از طبقه اول تا طبقه میانی در حال کاهش و از طبقه میانی تا طبقه آخر در حال افزایش است. شبیه‌ترین حالت به منحنی ظرفیت سازه‌ی بدون طبقه نرم، قرارگیری طبقه نرم در طبقه آخر می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تحت بار استاتیکی خطی، بدترین مکان برای طبقه نرم، ارتفاع میانی سازه و بهترین مکان، طبقه آخر می باشد.

۲- تحت بار یکنواخت، با حرکت طبقه نرم به سمت طبقات بالا، منحنی ظرفیت سازه به تدریج دچار افزایش می‌شود. بدین صورت که هنگامی که طبقه نرم در طبقه اول قرار دارد، منحنی ظرفیت در پایین‌ترین محل و زمانی که طبقه نرم در طبقه آخر قرار دارد، منحنی ظرفیت در بالاترین محل و زیر منحنی ظرفیت سازه‌ی بدون طبقه نرم قرار می‌گیرد. پس شبیه‌ترین حالت به منحنی ظرفیت سازه‌ی بدون طبقه نرم، قرارگیری طبقه نرم در طبقه آخر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تحت بار یکنواخت، بدترین مکان برای طبقه نرم، اطبقه اول سازه و بهترین مکان، طبقه آخر می باشد.

۳- هم تحت بار یکنواخت و هم تحت بار استاتیکی خطی، با افزایش ارتفاع طبقه نرم، منحنی ظرفیت سازه کاهش می‌یابد، که این روند تحت بار یکنواخت وضوح بیشتری دارد. در واقع با افزایش ارتفاع طبقه نرم میزان نرمی طبقه افزایش یافته که این امر میزان شکل‌پذیری کل سازه را کاهش می‌دهد.

مراجع

پاک‌نیت ش، پاک‌نیت ا (۱۳۹۰) تحلیل‌های مورد نیاز در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها، انتشارات متفکران، تهران، ایران

کتیراء ا (۱۳۹۳) مطالعه پیرامون عملکرد لرزه‌ای قاب‌های خمشی بتن مسلح دارای طبقه نرم و تاثیر آن در شکست‌های میان طبقه‌ای سازه‌های میان مرتبه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی- پردیس فنی و مهندسی عباسپور، تهران، ایران

مرکز تحقیقات مسکن و ساختمان (۱۳۹۱) آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در مقابل زلزله استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم، تهران، ایران

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