

آنالیز دینامیکی طیفی در سازه‌های بتن مسلح میان‌مرتب‌ه دارای طبقه نرم

افروز کتیرا

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، آنالیز دینامیکی طیفی، قاب خمشی بتن مسلح، زلزله، جابجایی و دررفت تحمیلی

چکیده

وجود طبقه نرم گرچه به لحاظ 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 سازه‌ها استفاده از نرم‌افزار ایتبس، دو قاب خمشی بتن مسلح تک دهنه با تعداد طبقات ۷ و ۹ که دارای طبقه نرم (ایجاد شده در اثر افزایش ارتفاع) هستند، مدل‌سازی و اثر طبقه نرم و مکان طبقه نرم بر جابجایی و دررفت سازه مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت این نتیجه حاصل شد که قرارگیری طبقه نرم در ارتفاع میانی سازه و در طبقه دوم باعث می‌شود بیشترین میزان جابجایی و دررفت به این طبقات تحمیل شود و احتمال شکست طبقه نرم را بسیار بالا می‌برد. بنابراین باید از قرار دادن طبقه نرم در این دو طبقه خودداری کرد. همچنین بهترین مکان برای قرارگیری طبقه نرم، دو طبقه آخر سازه می‌باشد.

مقدمه

شناخت و درک رفتار سازه‌های مختلف تحت اثر بارگذاری‌های مختلف به منظور کاهش خطر آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در مقابل نیروی زلزله، اخیراً موردتوجه بسیاری از محققان و پژوهشگران قرار گرفته است. در این میان بررسی رفتار سازه‌های یک‌ه دارای طبقات با سختی‌های متفاوت بوده، کمتر موردتوجه واقع شده است. ملاحظات و نگرش خوش بینانه معماری اغلب منجر به ساختن ساختمان‌هایی می‌شود که در آنها طبقه همکف و یا سایر طبقه‌ها، به لحاظ سختی، تفاوت فراوانی با سایر طبقه‌های سازه داشته و سازه را در زمان وقوع زلزله در برابر پدیده طبقه نرم، آسیب‌پذیر می‌کند. ساختمان‌های دارای طبقه همکف باز از عملکرد ضعیفی در هنگام و بعد از وقوع زلزله‌ها برخوردار هستند و توجه به تأثیر آن بر رفتار سازه، توسط آیین‌نامه‌های مختلف به مهندسين تأکید شده است. این پیکره‌بندی گرچه به لحاظ توزیع و استفاده فضاهای طبقه مناسب می‌باشد، ولی از دیدگاه لرزه‌ای، آسیب‌پذیری ساختمان را در برابر پدیده‌ی طبقه نرم، بسیار بالا می‌برد. طبقه نرم سبب ایجاد خرابی در بیش از دو-سوم از ۴۶۰۰۰ ساختمانی است که در زلزله نورتریج^۱ تخریب شدند و اثرات زیان‌بار آن بارها در زلزله‌های مختلف نظیر ژاپن ۱۹۹۵، ترکیه ۱۹۹۹، تایوان ۱۹۹۹، هندوستان ۲۰۰۱ و الجزایر ۲۰۰۳ دیده شده 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 مواجهه با زلزله، برای حفظ ایمنی جانی ساکنان ساختمان و تجهیزات درون آن (مثل بیمارستان‌ها) امری ضروری است.



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 کلیه این مقاطع در محل کارگاه ساخته می‌شوند احتمال خطا و عدم رعایت اصول فنی در اجرا، افزایش یافته، در نتیجه احتمال شکست این اعضا افزایش می‌یابد. در اکثر مطالعات انجام شده به تاثیر طبقه نرم ایجاد شده در اثر حذف میانقاب‌ها بر رفتار سازه پرداخته شده و به ندرت به اثر ارتفاع توجه گردیده است. در ادامه به تبیین چند مورد از این مطالعات پرداخته می‌شود.

آلتین و همکاران (Altın et al., 1992) با مطالعه رفتار قاب به همراه دیوار پرکننده، افزایش ۶ تا ۸ درصد برای سختی قاب بتنی در اثر وجود میان‌قاب‌های چسبیده به قاب را گزارش کردند.

آرلکار و همکاران (Alerkaret et al., 1997) یک قاب خمشی چهار طبقه با سه دهنه بتنی که ارتفاع طبقه اول ۴/۴ متر و ارتفاع سایر طبقات ۳/۲ متر بود را تحت تحلیل استاتیکی خطی معادل و تحلیل دینامیکی خطی با مشارکت چند مود اول، قرار دادند. آنها در این پژوهش ضخامت میان‌قاب‌ها را نیز در چند قاب به عنوان متغیر مورد بررسی قرار دادند. در نهایت این نتایج حاصل شد که جابجایی‌ها و نیروهای حاصل از تحلیل استاتیکی معادل حدوداً ۲۰ درصد بزرگتر از نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی خطی مودی است. از طرفی کاهش ضخامت دیوار میان‌قاب‌ها در طبقات بالایی باعث کاهش نامنظمی در سختی می‌شود. آسترسیس (Asteris et al., 2001) در تحقیقات خود معمول‌ترین طبقه نرم را طبقه پیلوت معرفی کرده است. این امر منجر به تمرکز تنش زیادی در المان‌های باربر طبقه اول می‌شود. این در حالی است که اکثر المان‌های سازه‌ای دیگر بدون تخریب باقی می‌مانند. همچنین وی بیان کرده است هر چند میان‌قاب‌ها سختی و مقاومت را افزایش می‌دهند، ولی سهم مشارکت آنها به دلیل فقدان دانش کافی از رفتار مرکب قاب و میان‌قاب نادیده گرفته می‌شود. به طور مثال بعد از زلزله ۱۹۷۸ یونان تنها ۱۶/۴ درصد از ساختمان‌ها که دارای میان‌قاب در طبقه اول بودند، دچار خرابی شدند.

کراک (Kirac et al., 2010) طبقه ضعیف را در سازه‌های بتن مسلح مورد بررسی قرار داد. محاسبات برای مدل ساختمان با تعداد دهنه و ارتفاع متغیر را انجام داد. بررسی مدل‌های ضعیف عیناً مشابه ساختمان‌های آسیب دیده تحت زلزله بودند. به نظر ایشان برخی از اثرات نامطلوب نامنظمی در ارتفاع با اجرای تمهیدات مناسب قابل پیشگیری است.

در این مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار ایتبس ورژن ۹.۷.۲ دو قاب خمشی بتن مسلح تک دهنه با تعداد طبقات ۷ و ۹ که دارای طبقه نرم (ایجاد شده در اثر افزایش ارتفاع) هستند، مدلسازی و اثر طبقه نرم و مکان طبقه نرم بر جابجایی و دررفت سازه مورد بررسی قرار گرفت. علت مدلسازی قاب‌های بتن مسلح به صورت ۷ و ۹ طبقه، بررسی اثر طبقه نرم بر سازه‌های میان‌مرتب می‌باشد. برای تحلیل رفتار سازه‌ها باید با توجه به ضوابط آیین‌نامه‌ای و شرایط، بهترین شیوه را برای آنالیز انتخاب کرد. در مورد سازه‌های دارای طبقه نرم چون در دسته‌ی سازه‌های نامنظم گنجانده می‌شوند و فرض حاکمیت مود اول مخدوش می‌گردد، بنابراین مطابق ضوابط آیین‌نامه ۲۸۰۰، از تحلیل دینامیکی خطی استفاده شد.

معرفی قاب‌های مورد مطالعه

مطابق ویرایش سوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ این قاب‌ها دارای ضریب رفتار ۷ و درجه اهمیت ۳ یا متوسط (مسکونی، اداری، تجاری، هتل‌ها و ...) 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 در نظر گرفته شده و در مراحل تحلیل سازه اثرات P- Δ و کاهش ممان اینرسی تیر و ستون (ترک خوردگی) 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 تحلیل طیفی ابتدا باید یک طیف طرح بازتاب، با یک بازه زمانی با توجه به ساختگاه و مشخصات سازه تعریف کرد که به همین جهت از طیف بازتاب خاک نوع ۳ استفاده گردید. در این پروژه به علت نامنظم بودن سازه در ارتفاع و اهمیت اثر پیچش، از روش ترکیب مربعی برای آنالیز طیفی استفاده شد. همچنین ضریب تبدیل کننده طیف بازتاب به طیف طرح استاندارد برابر ۰/۴۹۰۵ منظور گردید.

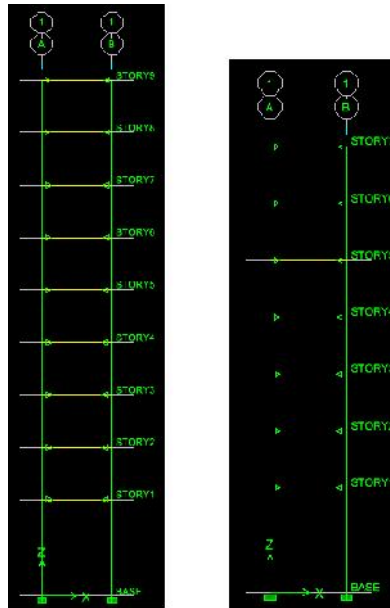
برای بررسی اثر ارتفاع طبقه نرم در عملکرد لرزه‌ای سازه، در قاب ۷ و ۹ طبقه ارتفاع کلیه طبقات غیر از طبقه نرم ۳ متر و ارتفاع طبقه نرم ۴/۵، ۵ و ۵/۵ متر به صورت متغیر در نظر گرفته شد. بنابراین ۲۱ مدل برای قاب ۷ طبقه و ۲۷ مدل برای قاب ۹ طبقه و در مجموع ۴۸ مدل مورد تجزیه و تحلیل دینامیکی طیفی قرار گرفت.

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

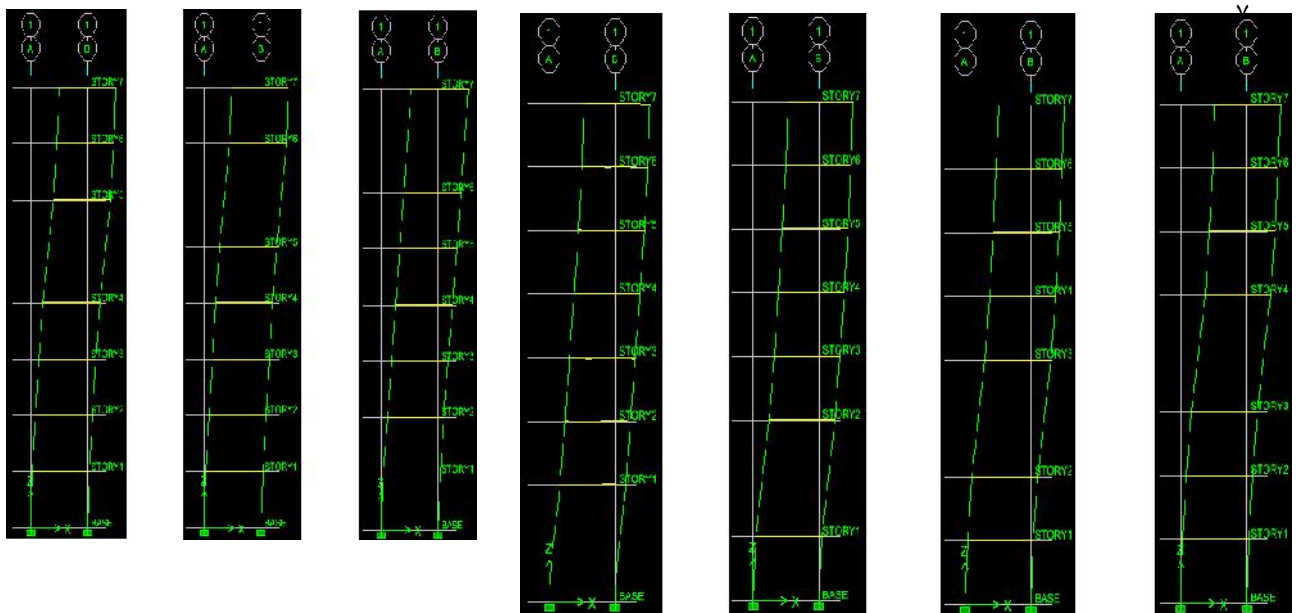
طبقه	ستون		تیر	
	ابعاد (سانتی‌متر)	آرماتور	ابعاد (سانتی‌متر)	آرماتور
۱، ۲ و ۳	۵۰×۵۰	۲۰@ ۲۰d	بالا	۴@ ۲۰d
			پایین	۴@ ۲۰d
۴ و ۵	۴۵×۴۵	۱۶@ ۲۰d	بالا	۳@ ۲۰d
			پایین	۳@ ۲۰d
۶ و ۷	۴۰×۴۰	۱۴@ ۲۰d	بالا	۳@ ۱۸d
			پایین	۳@ ۱۸d

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

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

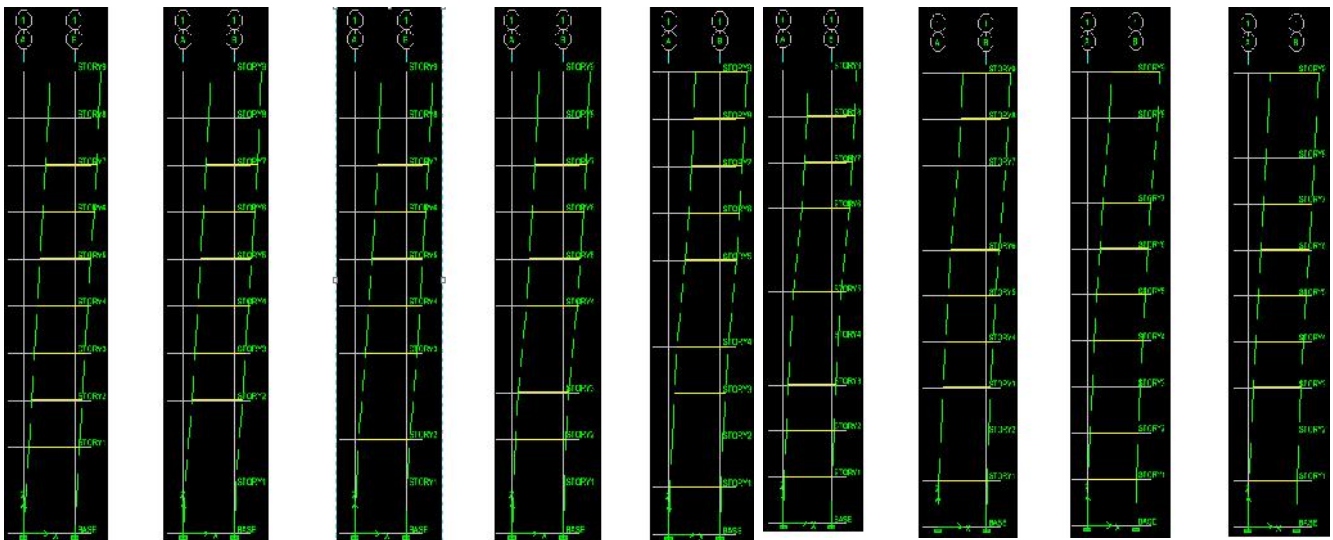


شکل ۱: تصویر مدلسازی شده قاب ۷ و ۹ طبقه‌ی دارای طبقه نرم، در حالی که طبقه نرم در طبقه اول قرار دارد. (کتیراء، ۱۳۹۳)



شکل ۲: تغییر شکل قاب ۷ طبقه در اثر نیروی زلزله، در حالی که طبقه نرم در طبقات سازه جایجا می‌شود. (کتیراء، ۱۳۹۳)

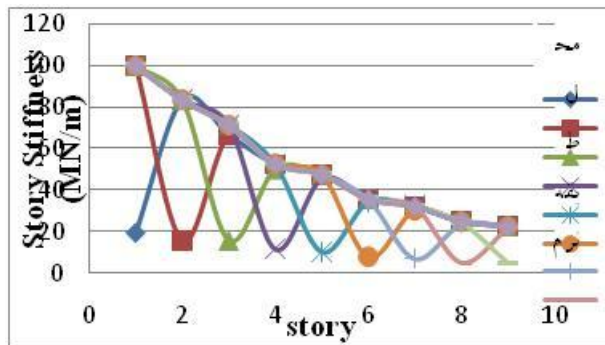




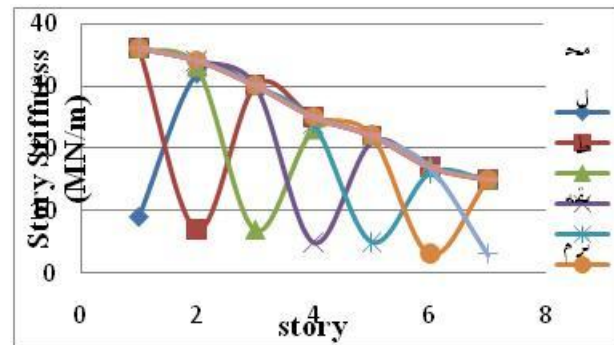
شکل ۳: تغییر شکل قاب ۹ طبقه در اثر نیروی زلزله، در حالی که طبقه نرم در طبقات سازه جابجا می‌شود. (کتیراء، ۱۳۹۳)

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^۳، سختی هر یک از طبقات در قاب-های مدلسازی شده، محاسبه گردیده است. همانطور که در شکل ۴ و ۵ 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 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 ۵: سختی قاب ۹ طبقه دارای طبقه نرم (کتیراء، ۱۳۹۳)



شکل ۴: سختی قاب ۷ طبقه دارای طبقه نرم (کتیراء، ۱۳۹۳)

اثر طبقه نرم بر جابجایی سازه

- ۱- به طور کلی با قرارگیری یک طبقه نرم در سازه نسبت به حالت معمولی (سازه بدون طبقه نرم)، مقدار جابجایی تحمیل شده به کلیه طبقات، مخصوصاً طبقه نرم به شدت افزایش می‌یابد.
- ۲- با افزایش ارتفاع طبقه نرم، مقدار جابجایی تحمیل شده به طبقه نرم در کلیه طبقات افزایش می‌یابد. مقدار این افزایش در قاب ۷ طبقه، وقتی طبقه نرم در طبقات ۱، ۲، ۳ و ۴ رو به افزایش و در طبقات ۵، ۶ و ۷ رو به کاهش است. بگونه‌ای که در طبقه چهارم بیشترین افزایش در

۳- 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)

مقدار جابجایی به ازای افزایش ارتفاع طبقه نرم اتفاق می‌افتد. هم‌چنین در قاب ۹ طبقه، مقدار این افزایش، وقتی طبقه نرم در طبقات ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ قرار دارد، رو به افزایش و در طبقات ۷، ۸ و ۹ رو به کاهش است. بگونه‌ای که در طبقه ششم بیشترین افزایش در مقدار جابجایی به ازای افزایش ارتفاع طبقه نرم اتفاق می‌افتد.

۳- با تغییر مکان طبقه نرم در طبقات سازه، یک جهش یا افزایش مقدار، در میزان جابجایی طبقه‌ای که طبقه نرم در آن قرار می‌گیرد، مشاهده می‌شود که میزان این جهش با افزایش ارتفاع طبقه نرم، افزایش می‌یابد. در قاب ۷ طبقه زمانی که ارتفاع طبقه نرم ۴/۵، ۵ و ۵/۵ متر است، مقدار جهش با تغییر مکان طبقه نرم از طبقه اول تا طبقه چهارم، افزایش و از طبقه چهارم تا هفتم کاهش می‌یابد. بگونه‌ای که مقدار جهش در طبقه چهارم دارای بیشترین میزان و در طبقه هفتم دارای کمترین میزان می‌باشد. هم‌چنین در قاب ۹ طبقه، زمانی که ارتفاع طبقه نرم ۴/۵ و ۵/۵ متر است، مقدار جهش با تغییر مکان طبقه نرم از طبقه اول تا طبقه هفتم، افزایش و از طبقه هفتم تا نهم کاهش می‌یابد. بگونه‌ای که مقدار جهش در طبقه هفتم دارای بیشترین میزان و در طبقه نهم دارای کمترین میزان می‌باشد. اما زمانی که ارتفاع طبقه نرم ۵ متر است، مقدار جهش با تغییر مکان طبقه نرم از طبقه اول تا طبقه ششم، افزایش و از طبقه ششم تا نهم کاهش می‌یابد. بگونه‌ای که مقدار جهش در طبقه ششم دارای بیشترین میزان جهش است.

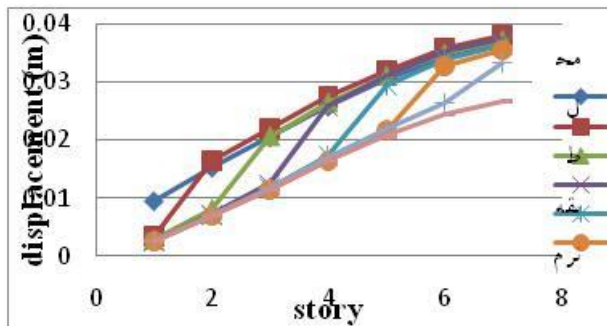
۴- وقتی طبقه نرم در طبقه آخر قاب قرار می‌گیرد، کمترین میزان جابجایی (نسبت به قرارگیری این طبقه در سایر طبقات) به کل سازه وارد می‌شود.

۵- وقتی طبقه نرم در طبقه دوم (هم در قاب ۷ طبقه و هم در قاب ۹ طبقه) قرار می‌گیرد، با افزایش ارتفاع طبقه نرم، مقدار جهش در نمودار جابجایی طبقه نرم نسبت به قرارگیری این طبقه در سایر طبقات قابل توجه است.

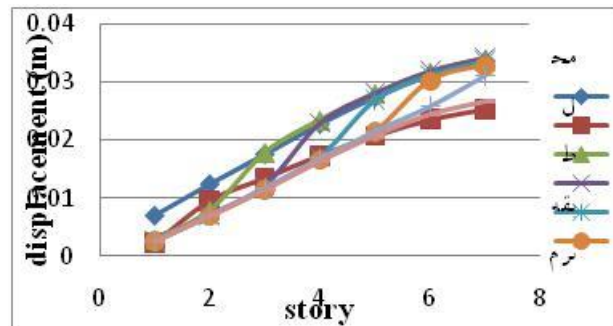
۶- اگر طبقه نرم در طبقاتی غیر از طبقه اول و دوم قرار داشته باشد (هم در قاب ۷ طبقه و هم در قاب ۹ طبقه)، با افزایش ارتفاع طبقه نرم، مقدار جابجایی طبقات پایینی طبقه نرم تقریباً یکسان بوده اما مقدار جابجایی طبقات بالایی افزایش قابل توجهی می‌یابد.

۷- قرارگیری طبقه نرم در ارتفاع میانی سازه (یعنی در قاب ۷ طبقه در طبقه چهارم و در قاب ۹ طبقه در طبقه ۶)، نسبت به قرارگیری این طبقه در سایر طبقات، بیشترین جابجایی را به سازه تحمیل می‌کند.

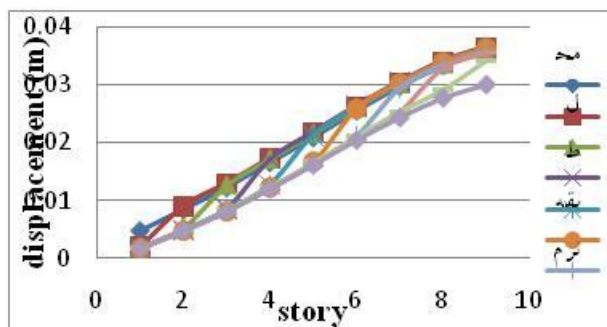
۸- بطور کلی با قرارگیری طبقه نرم در طبقات پایینی سازه (اول، دوم و سوم) افزایش مقدار جابجایی تحمیل شده به طبقه نرم بسیار زیاد است. این افزایش مقدار، در قاب ۷ طبقه در طبقه چهارم در قاب ۹ طبقه در طبقه ششم و هفتم به اوج خود می‌رسد، اما در طبقات بالایی مقدار این افزایش کاهش محسوسی می‌یابد.



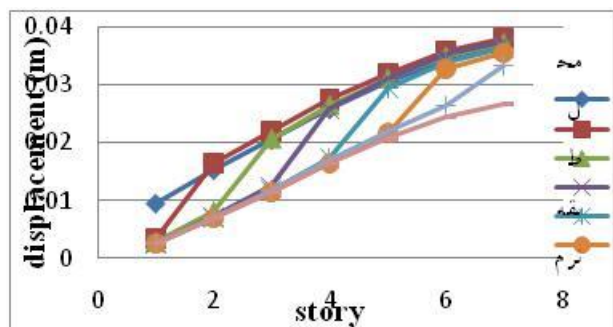
شکل ۷: جابجایی قاب ۷ طبقه دارای طبقه نرم با ارتفاع ۵ متر



شکل ۸: جابجایی قاب ۷ طبقه دارای طبقه نرم با ارتفاع ۴/۵ متر

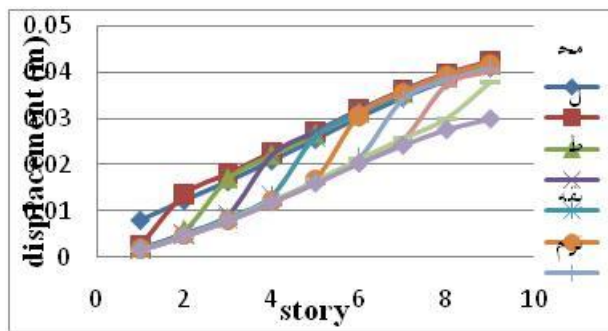


شکل ۹: جابجایی قاب ۹ طبقه دارای طبقه نرم با ارتفاع ۴/۵ متر

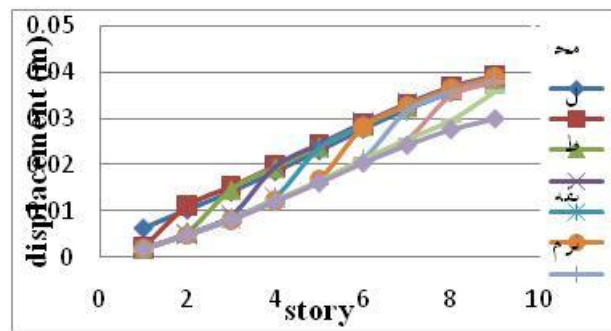


شکل ۱۰: جابجایی قاب ۹ طبقه دارای طبقه نرم با ارتفاع ۵/۵ متر





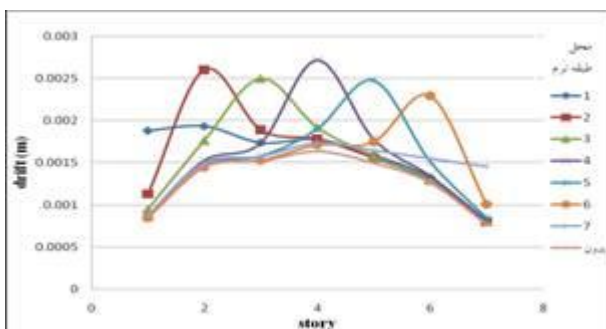
شکل ۱۱: جابجایی قاب ۹ طبقه دارای طبقه نرم با ارتفاع ۵/۵ متر



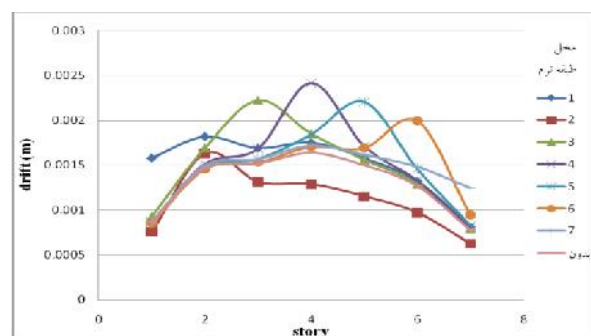
شکل ۱۰: جابجایی قاب ۹ طبقه دارای طبقه نرم با ارتفاع ۵ متر

اثر طبقه نرم بر دررفت سازه

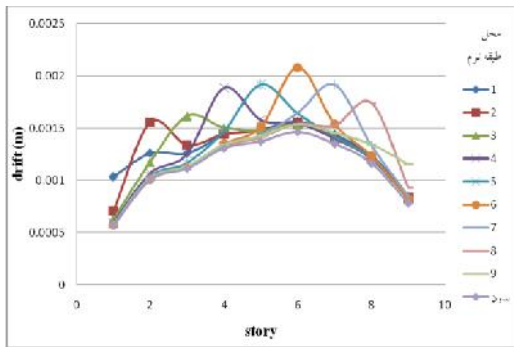
- ۱- به طور کلی با قرارگیری یک طبقه نرم در سازه نسبت به حالت معمولی (سازه بدون طبقه نرم)، مقدار دررفت تحمیل شده به طبقه‌ای که طبقه نرم در آن قرار دارد، به شدت افزایش می‌یابد.
- ۲- با افزایش ارتفاع طبقه نرم، مقدار دررفت تحمیل شده به طبقه نرم در کلیه طبقات افزایش می‌یابد. مقدار این افزایش در قاب ۷ طبقه، وقتی طبقه نرم در طبقات ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵، ۶ و ۷ رو به کاهش است. بگونه‌ای که در طبقه چهارم بیشترین افزایش در مقدار دررفت به ازای افزایش ارتفاع طبقه نرم اتفاق می‌افتد. هم‌چنین در قاب ۹ طبقه، مقدار این افزایش، وقتی طبقه نرم در طبقات ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ قرار دارد، رو به افزایش و در طبقات ۷، ۸ و ۹ رو به کاهش است. بگونه‌ای که در طبقه ششم بیشترین افزایش در مقدار دررفت به ازای افزایش ارتفاع طبقه نرم اتفاق می‌افتد.
- ۳- با تغییر مکان طبقه نرم در طبقات سازه بغیر از طبقه آخر، یک جهش یا افزایش مقدار، در میزان دررفت طبقه‌ای که طبقه نرم در آن قرار می‌گیرد، مشاهده می‌شود که میزان این جهش با افزایش ارتفاع طبقه نرم افزایش می‌یابد. در قاب ۷ طبقه، زمانی که ارتفاع طبقه نرم ۴/۵ و ۵ متر است، مقدار جهش با تغییر مکان طبقه نرم از طبقه اول تا طبقه چهارم، افزایش و از طبقه چهارم تا ششم کاهش می‌یابد. بگونه‌ای که مقدار جهش در طبقه چهارم دارای بیشترین میزان و در طبقه ششم دارای کمترین میزان می‌باشد. اما زمانی که ارتفاع طبقه نرم ۵/۵ متر است، مقدار جهش با تغییر مکان طبقه نرم از طبقه اول تا طبقه پنجم، افزایش و از طبقه پنجم تا ششم کاهش می‌یابد. بگونه‌ای که مقدار جهش در طبقه پنجم دارای بیشترین میزان و در طبقه ششم دارای کمترین میزان می‌باشد. هم‌چنین در قاب ۹ طبقه، زمانی که ارتفاع طبقه نرم ۴/۵ و ۵/۵ متر است، مقدار جهش با تغییر مکان طبقه نرم از طبقه اول تا طبقه چهارم، افزایش و از طبقه چهارم تا هشتم کاهش می‌یابد. بگونه‌ای که مقدار جهش در طبقه چهارم دارای بیشترین میزان و در طبقه هشتم دارای کمترین میزان می‌باشد.
- ۴- وقتی طبقه نرم در طبقه آخر قاب قرار می‌گیرد، کمترین میزان دررفت (نسبت به قرارگیری این طبقه در سایر طبقات) به کل سازه وارد می‌شود.
- ۵- وقتی طبقه نرم در طبقه دوم قرار می‌گیرد (هم در قاب ۷ طبقه و هم در قاب ۹ طبقه)، با افزایش ارتفاع طبقه نرم، مقدار جهش در نمودار دررفت طبقه نرم نسبت به قرارگیری این طبقه در سایر طبقات قابل توجه است.
- ۶- قرارگیری طبقه نرم در ارتفاع میانی سازه (یعنی در قاب ۷ طبقه در طبقه چهارم و در قاب ۹ طبقه در طبقه پنجم)، نسبت به قرارگیری این طبقه در سایر طبقات، بیشترین دررفت را به سازه تحمیل می‌کند.
- ۷- بطور کلی با قرارگیری طبقه نرم در طبقات پایینی سازه (اول، دوم و سوم) افزایش مقدار دررفت تحمیل شده به طبقه نرم بسیار زیاد است. این افزایش مقدار، در قاب ۷ و ۹ طبقه در طبقه چهارم به اوج خود می‌رسد، اما در طبقات بالایی مقدار این افزایش محسوسی می‌یابد.



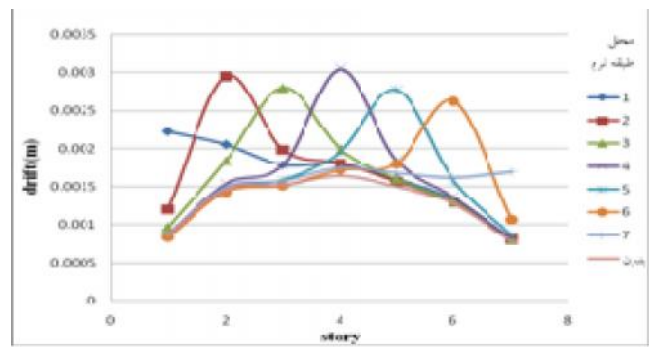
شکل ۱۳: دررفت قاب ۷ طبقه دارای طبقه نرم با ارتفاع ۵ متر



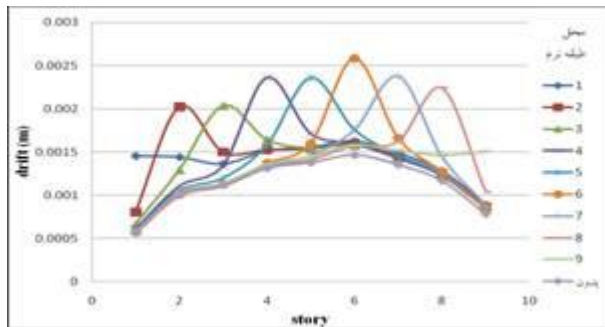
شکل ۱۲: دررفت قاب ۷ طبقه دارای طبقه نرم با ارتفاع ۴/۵ متر



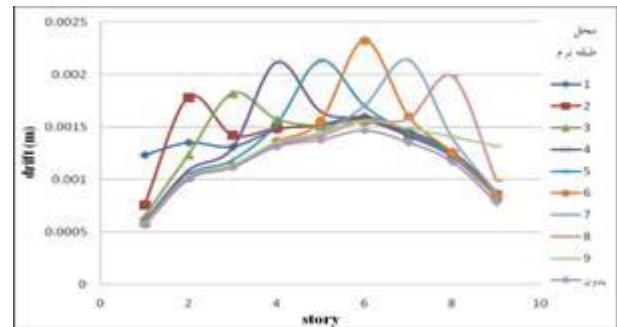
شکل ۱۵: دررفت قاب ۹ طبقه دارای طبقه نرم با ارتفاع ۴/۵ متر



شکل ۱۴: دررفت قاب ۷ طبقه دارای طبقه نرم با ارتفاع ۵/۵ متر



شکل ۱۷: دررفت قاب ۹ طبقه دارای طبقه نرم با ارتفاع ۵/۵ متر



شکل ۱۶: دررفت قاب ۹ طبقه دارای طبقه نرم با ارتفاع ۵ متر

نتیجه گیری

بطور کلی محققان علم مهندسی زلزله در حدود ۳۰-۲۰ سال 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 میان مرتبه نتایج ذیل حاصل شد:

- ۱- هرچه سازه دارای ارتفاع کمتری باشد تاثیر طبقه نرم بر رفتار سازه بیشتر است.
- ۲- قرارگیری طبقه نرم در طبقات میانی سازه منجر به ایجاد شکستگی در سازه می شود. بنابراین باید از قرار دادن طبقه نرم در ارتفاع میانی خودداری کرد.
- ۳- بهترین محل برای قرارگیری طبقه نرم، طبقات بالایی سازه مخصوصاً دو طبقه آخر است.
- ۴- قرارگیری طبقه نرم در طبقه دوم سازه نیز به دلیل ایجاد جهش‌های بزرگ در نمودار دررفت و جابجایی (ایجاد نامنظمی در روند نمودار) بسیار خطرناک است.
- ۵- در بعضی موارد به علت ملاحظات معماری مشاهده می شود که طبقه نرم در طبقات میانی و یا اول و دوم قرار می گیرد، در این موارد باید مقاوم سازی طبقه نرم در اولویت قرار گیرد تا از شدت خسارت وارده به سازه جلوگیری کرد.

مراجع

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

Asteris PG and ASCE M (2001) Lateral Stiffness of Brick Masonry Infill Plane Frame

Alerkar JN et al. (1997) Seismic Response of RC Frame Building with Soft First Stories, *Conference on Natural in Urban Habitat*, New Delhi, India



Altın S et al. (1992) Hysteretic response of reinforced concrete infilled frames, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 118, No.8, pp.2133-2150

Kirac Net al. (2010) Failure of weak-storey during earthquakes, *Engineering Failure Analysis*

