

DOI: 10.48303/bese.2022.544869.1050

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

جمع‌آوری اطلاعات آماری از ساختمان‌های موجود به‌ویژه شهر تهران و طبقه‌بندی آنها کمک شایانی در مدیریت بحران جهت کاهش خسارات لرزه‌ای می‌نماید. حذف میان‌قاب در طبقه همکف به دلیل مزایای کاربردی، به‌طور گسترده دیده می‌شود. مطالعات صورت گرفته روی این ساختمان‌ها، عملکرد ضعیف آنها به علت تشکیل طبقه نرم را نشان می‌دهد. در این پژوهش ابتدا اطلاعات آماری از ساختمان‌های نوساز در مناطق ۹ و ۱۱ شهر تهران که بر اساس ضوابط لرزه‌ای طراحی شده جمع‌آوری و بر اساس علل تشکیل طبقه نرم طبقه‌بندی گردید. بر این اساس با فرض اجرای صحیح، تنها عامل ممکن در ایجاد طبقه نرم در این سازه‌ها حذف میان‌قاب در طبقه همکف می‌باشد. جهت بررسی این عامل یک ساختمان شش طبقه بتنی نمونه، در حالت سه‌بعدی در OpenSees مدل‌سازی شده که در حالت‌های مختلف چینش میان‌قاب در طبقه همکف و اعمال زلزله در زوایای مختلف، رفتار سازه ارزیابی گردید. نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی نشان داد به دلیل آنکه این سازه‌ها بر اساس ضوابط لرزه‌ای طراحی شده، حذف میان‌قاب در طبقه همکف باعث تشکیل طبقه نرم نشد و با توزیع یکنواخت خسارت در همه طبقات، عملکرد سازه بهبود یافت. همچنین حالت‌های مختلف چینش میان‌قاب در طبقه همکف، رفتار سازه را تغییر داده و اهمیت مدل‌سازی میان‌قاب و اعمال زلزله در زوایای مختلف را جهت تعیین رفتار واقعی سازه در هنگام زلزله نشان داد.

واژگان کلیدی: مطالعات آماری، طبقه نرم، میان‌قاب، OpenSees، تحلیل‌های غیرخطی سه‌بعدی.

نقش میان‌قاب‌ها در ساختمان‌های متداول دارای طراحی لرزه‌ای و مدل‌سازی سه‌بعدی

سروش نودهی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

سید مهدی زهرایی (نویسنده مسئول)

استاد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، mzahrain@ut.ac.ir

۱- مقدمه

بهره‌مندی هر چه بیشتر از فضای معماری و منافع اقتصادی (تجاری - مسکونی) باعث پیدایش ساختمان‌ها با معماری‌هایی گردید که غالباً طبقه همکف این سازه‌ها دارای کاربری پارکینگ و یا تجاری هستند. به همین جهت میان‌قاب‌ها در طبقه همکف حذف شده یا ارتفاع طبقه همکف نسبت به سایر طبقات بیشتر است. این سبک از معماری به دلیل مزیت‌های کاربردی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. مشاهدات و نتایج آماری زلزله‌های رخ داده نشان می‌دهد این سبک از معماری در ساختمان‌هایی که بر اساس بار ثقلی طراحی شده‌اند، منجر به رفتار لرزه‌ای مناسبی نمی‌شود که بخش عمده آن به دلیل تشکیل

طبقه نرم یا ضعیف می‌باشد [۲-۴]. تجربیات به‌دست آمده از زلزله‌های اخیر نشان می‌دهد خرابی طبقه نرم علاوه بر خسارت‌های جانی و مالی، ضربه‌های اقتصادی فراوانی نیز به نهادهای مربوطه وارد خواهد کرد. جمع‌آوری اطلاعات ساختمان‌های موجود در هر منطقه، طبقه‌بندی این اطلاعات بر اساس معماری و رفتار سازه‌ای آنها توسط مهندسی مربوطه و تهیه نقشه خطرپذیری برای هر منطقه شهری کمک شایانی در مدیریت و برنامه‌ریزی جهت نوسازی و یا بهسازی ساختمان‌ها خواهد کرد که در نتیجه باعث کاهش خسارت‌های وارده در هنگام زلزله و یا آتش‌سوزی می‌گردد. همچنین این

می‌دهند. دسته دوم شامل ساختمان‌هایی است که بر اساس ضوابط لرزه‌ای طراحی شده‌اند. در طراحی این ساختمان‌ها رفتار و حضور میان‌قاب‌ها در مراحل طراحی در نظر گرفته نمی‌شود. مطالعات نسبتاً زیادی بر روی دسته اول ساختمان‌ها و بهسازی آنها صورت گرفته است [۹-۱۱]. هدف از این پژوهش بررسی احتمال تشکیل طبقه نرم و رفتار لرزه‌ای سازه در ساختمان‌های دسته دوم می‌باشد.

مطالعات نشان می‌دهد یکی از دلایل عمده تشکیل طبقه نرم در ساختمان‌ها، حذف میان‌قاب‌ها در طبقه همکف می‌باشد. در این ساختمان‌ها جابه‌جایی و خسارت در طبقه همکف (طبقه نرم) متمرکز می‌شود که از انتقال خسارت به طبقات فوقانی جلوگیری خواهد کرد؛ اما به دلیل اتلاف انرژی تنها در این طبقه و حضور بارهای ثقلی، ظرفیت سازه کاهش یافته و فروریزش سازه رخ می‌دهد [۳، ۱۲-۱۳]. بر اساس نتایج تحقیقات صورت گرفته، در صورت عدم توجه به نحوه‌ی اجرا و اتصال میان‌قاب‌ها به قاب پیرامونی سختی جانبی، شکل‌پذیری و مقاومت کل سازه به علت حضور میان‌قاب تغییر خواهد کرد [۱۴]. همچنین حضور بازشو در میان‌قاب‌ها، توزیع متفاوت میان‌قاب‌ها در ارتفاع سازه و نوع مصالح میان‌قاب بر پاسخ کلی سازه تأثیرگذار خواهند بود [۱۵-۱۶]. میان‌قاب‌ها در صورتی به‌عنوان المان‌های کاملاً غیر سازه‌ای شناخته می‌شوند که تأثیری بر رفتار جانبی سازه تحت بار زلزله نداشته باشند [۱۷]؛ حال آنکه در ایران، غالباً اجرای میان‌قاب‌ها به نحوی است که از چهارگوشه به قاب پیرامونی توسط آجر، ملات و سایر المان‌ها متصل بوده و به همین دلیل در سختی و مقاومت جانبی سازه تأثیرگذار خواهند بود و خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را در پی داشته است [۱۸]. زلزله کرمانشاه نمونه بارزی از وجود ضعف در طراحی، اجرا و نظارت میان‌قاب‌ها در ساختمان‌های نوساز بوده است. در مطالعات انجام شده توسط عباس‌نژادفرد و همکاران [۱۹] که با عنوان بررسی تأثیر دیوارهای غیر سازه‌ای با آجر مجوف سفالی بر رفتارها لرزه‌ای ساختمان‌ها مسکونی متداول بود، نتایج تحلیل‌های بار افزون استاتیکی و تاریخیچه زمانی بیانگر افزایش مقاومت و سختی جانبی بوده و

داده‌ها در تهیه نقشه توزیع خسارت پس از حادثه با توجه به بافت ساختمان‌ها، در تسریع عملیات امداد و نجات کمک می‌کند [۵]. مدیریت بحران شهر پالو آلتو به دلیل تهیه نقشه‌های خطرپذیری بر اساس ساختمان‌های موجود که پیش از حادثه تهیه شده بود، مثبت و کارا گزارش گردیده است [۶].

تهران، پایتخت ایران، به دلیل موقعیت اقتصادی، اجتماعی و سیاسی دارای اهمیت بسیار زیادی است. با توجه به گسل‌های موجود در تهران و فعالیت نسبی آنها، این شهر در گروه شهرهای با خطر نسبی بسیار زیاد در آیین‌نامه‌های طراحی قرار دارد [۷-۸]. تراکم جمعیتی شهر تهران، ساخت‌وساز در محدوده گسل‌ها و فعالیت بالای لرزه‌ای این شهر، بافت فرسوده ساختمان‌های جنوب شهر، معماری‌های آسیب‌پذیر برخی از ساختمان‌ها، ضعف در اجرا (مشابه خسارت‌ها در زلزله کرمانشاه) در کنار اهمیت سیاسی، اجتماعی و اقتصادی همگی بیانگر دلایل خسارت‌های جبران‌ناپذیر تهران در صورت وقوع زلزله شدید و عدم مدیریت بحران آن خواهد بود. اطلاعات آماری طبقه‌بندی شده از ساختمان‌های موجود جهت مدیریت بحران، اهدای تسهیلات جهت بهسازی و نوسازی ساختمان‌ها، جلوگیری از ساخت‌وساز در محدوده گسل‌ها و ایجاد شرایط شغلی مناسب در شهرهای ایران باعث کاهش تراکم جمعیتی در تهران و خسارت‌های وارده خواهد شد.

مشاهدات میدانی ساختمان‌های موجود در ایران به‌ویژه کلان‌شهرها بیانگر آن است که میان‌قاب طبقه همکف اغلب این ساختمان‌ها به دلیل مزایای کاربردی حذف شده است. با توجه به جمعیت آماری این سبک از معماری در شهرهای لرزه‌خیزی مانند تهران، بررسی عملکرد این ساختمان‌ها در هنگام زلزله، مطالعه رفتاری و سازمان‌دهی آنها و همچنین ارائه شیوه‌های مختلف بهسازی برای این سبک از معماری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. طراحی این ساختمان‌ها از لحاظ سازه‌ای به دو دسته تقسیم می‌گردد. دسته اول ساختمان‌هایی هستند که بر اساس بارهای ثقلی طراحی شده‌اند که حتی در صورت عدم وجود طبقه نرم نیز عملکرد ضعیفی در هنگام زلزله از خود نشان

می‌گردد. در نهایت، ساختمانی که درصد بالایی از جامعه آماری مطابق با آن بوده، جهت مدل‌سازی انتخاب و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از جمله پارامترهای مؤثر در تشکیل طبقه نرم، ارتفاع زیاد طبقه همکف نسبت به سایر طبقات، حذف ناگهانی میان‌قاب‌ها و دیوارها در ارتفاع به ویژه در طبقه همکف، حذف ناگهانی مسیر باربری در ارتفاع، وجود دیوارهای خارجی با بازشوهای زیاد در طبقه همکف، تیر قوی-ستون ضعیف و ضعف در ناحیه اتصال تیر به ستون می‌باشد [۳، ۱۲]. همچنین به دلیل آن که اثرات ثانویه بر رفتار این ساختمان‌ها تأثیرگذار خواهند بود، ساختمان‌های مورد بررسی تنها شامل ساختمان‌هایی با بیش از چهار طبقه می‌باشد.

۲-۲- نتایج مطالعات آماری و انتخاب ساختمان جهت مدل‌سازی عددی

در جدول (۱) خلاصه وضعیت مطالعات آماری مربوط به ساختمان‌های هر منطقه ارائه شده که بر این اساس ساختمان‌هایی که دارای این مشخصات هستند، مورد بررسی بیشتر قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند ساختمان‌ها از لحاظ معماری و سازه‌ای در هر دو منطقه مشابه هم می‌باشند. همچنین احتمال می‌رود تعداد کمی از آنها دارای نامنظمی در پلان و یا دارای تیر قوی-ستون ضعیف باشند.

غالب کاربری ساختمان‌های این مناطق مسکونی بوده، اسکلت اکثر آنها بتنی و دارای قاب با باربری جانبی خمشی هستند. تعداد طبقات این ساختمان‌ها بین شش تا هشت طبقه می‌باشد. احتمال تشکیل طبقه نرم در آنها به دلیل حذف میان‌قاب‌ها و به ویژه تیغه‌ها در طبقه همکف است. بر اساس این نوع معماری، کاربری طبقه همکف غالباً پارکینگ بوده و ارتفاع آن نسبت به سایر طبقات کمتر است. همچنین ضوابط طراحی به نحوی خواهد بود که باعث می‌گردد ابعاد ستون و تیر در طبقات فوقانی به تدریج کاهش یابد؛ بنابراین احتمال تشکیل طبقه نرم در ساختمان، با فرض اجرای صحیح و عدم حضور میان‌قاب در کل سازه کاهش می‌یابد. به همین دلیل تنها عامل تشکیل طبقه نرم در این نوع ساختمان‌ها می‌تواند حذف ناگهانی میان‌قاب در طبقه همکف باشد.

مؤید رفتاری مشابه با تحقیقات گذشته بر روی میان‌قاب‌ها بوده است. اجرای صحیح میان‌قاب‌ها باید به نحوی باشد که ضمن مهارشدگی و کنترل رفتار خارج از صفحه تا حد ممکن در درون صفحه به قاب پیرامونی اتصال سخت نداشته باشد. نحوه اجرای صحیح این میان‌قاب‌ها در استاندارد Eurocode6 بیان شده است [۲۰]. مطابق با مطالب بیان شده جهت بررسی کامل و واقع‌بینانه‌تر از رفتار ساختمان‌های موجود در ایران، مدل‌سازی میان‌قاب‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

بنابراین در این پژوهش ابتدا در یک مطالعه آماری، ساختمان‌هایی که در چند سال اخیر در مناطق ۹ و ۱۱ تهران ساخته شده بر اساس دلایل تشکیل طبقه نرم طبقه‌بندی می‌گردد. در نهایت یک ساختمان که معماری و علل تشکیل طبقه نرم در آن مطابق با اکثریت جامعه آماری می‌باشد جهت بررسی رفتار لرزه‌ای، طراحی و مدل‌سازی می‌گردد. با هدف بررسی رفتار واقعی سازه در هنگام زلزله با توجه به اهمیت مدل‌سازی سه‌بعدی به ویژه برای سازه‌های بتنی و به دلیل اندرکنش ستون‌ها در این پژوهش مدل‌سازی ساختمان‌ها به صورت سه‌بعدی صورت گرفته است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- اطلاعات آماری

هدف نهایی از جمع‌آوری اطلاعات آماری در این پژوهش، بررسی ساختمان‌هایی است که نوساز بوده و طبق ضوابط لرزه‌ای طراحی می‌گردد اما با بررسی علل تشکیل طبقه نرم مانند نادیده گرفتن مدل‌سازی برخی المان‌ها (میان‌قاب‌ها و ...) در طراحی و ضعف در اجرا، احتمال وجود طبقه نرم در آنها زیاد خواهد بود.

بالغ بر ۷۰ نقشه سازه و معماری از مناطق ۹ و ۱۱ تهران جمع‌آوری شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. به دلیل آنکه مدل‌سازی و انجام تحلیل‌های مورد نیاز بر روی هر یک از ساختمان‌ها جهت بررسی احتمال تشکیل طبقه نرم از لحاظ اقتصادی و مهندسی به صرفه نیست، مشابه گردآوری داده‌هایی که توسط واکازیچ و همکاران [۲۱] انجام شده، ابتدا پارامترهای مؤثر تشکیل طبقه نرم در هر یک از ساختمان‌ها بررسی و ثبت

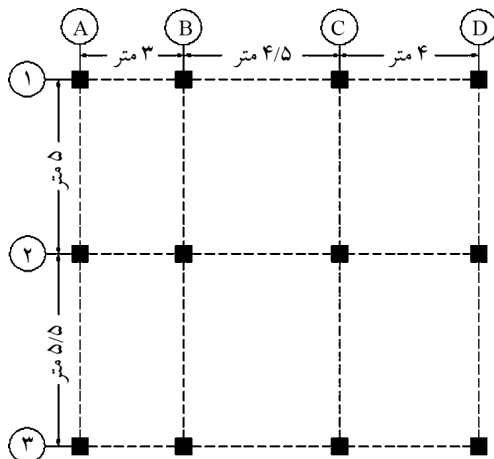
جدول (۱): خلاصه اطلاعات آماری مناطق نهم و یازدهم.

پارامتر مورد بررسی	منطقه ۹	منطقه ۱۱	مشخصات ساختمان نهایی جهت مدل سازی (جمع بندی)
نوع اسکلت	بتنی	بتنی	بتنی
کاربری	مسکونی	مسکونی	مسکونی
تعداد طبقات	۸-۶	۸-۶	۶
مکان طبقه نرم	همکف	همکف	همکف
کاربری طبقه نرم	پارکینگ	پارکینگ	پارکینگ
درصد حذف میان قاب	۲۰-۳۰ درصد	۴۱-۵۰ درصد	۳۵ درصد
درصد حذف تیغه جدا کننده	۸۰-۱۰۰ درصد	۸۰-۱۰۰ درصد	۸۰-۱۰۰ درصد
نسبت ارتفاع طبقه اول به فوقانی	۰/۹۵	۱-۰/۹۵	۰/۹۵
تعداد بر حیات یا گذر	دو یا سه طرف	دو یا سه طرف	دو یا سه طرف
سیستم باربر جانبی	قاب خمشی	قاب خمشی	قاب خمشی
حداقل فاصله بین ستون‌ها (متر)	۳-۱/۷	۳-۱	۳-۱
نامنظمی در پلان	منظم	منظم	منظم
مساحت زیر بنا (متر مربع)	۲۰۰-۱۰۰	۱۰۰-۵۰	۱۵۰-۵۰

مدل سازی آن، فرض حذف کامل میان قاب‌ها در طبقه همکف و مدل نشدن بازشوها در میان قاب‌ها به دلیل تأثیر غیرمستقیم حذف و یا حضور تیغه‌ها می‌باشد.

۳-۲- حالت‌های مختلف مدل سازی

بر اساس نتایج مطالعات آماری، یک ساختمان شش طبقه بتنی با سیستم باربری قاب خمشی مطابق با پلان شکل (۱) در نرم افزار ETABS طراحی گردید. مساحت زیربنا، تعداد دهانه‌ها



شکل (۱): پلان نهایی ساختمان انتخابی.

بیشتر این ساختمان‌ها از دو یا سه طرف خود دارای گذر و حیاط می‌باشند. دلیل بررسی برخی پارامترها نظیر کاربری زمین‌های متصل و فاصله ستون‌ها، مباحث اجرایی، جهت اتصال المان‌های بهسازی می‌باشد.

با توجه به آنکه ساختمان نهایی جهت مدل سازی مطابق با نتایج آماری صورت می‌گیرد در نهایت مطابق با نتایج این مطالعات، مشخصات ساختمان انتخابی تعیین می‌گردد. تفاوت عمده در میان این نقشه‌ها طریقه چینش و یا حذف میان قاب‌ها در طبقه همکف است؛ بنابراین در حالت‌های مختلف، چینش‌های متفاوت میان قاب‌ها مورد ارزیابی واقع شده تا تأثیر این المان در پیچش و سایر عوامل مورد بررسی قرار گیرد. همچنین احتمال تشکیل طبقه نرم به دلیل حذف میان قاب‌ها و تیغه‌ها در طبقه همکف در سازه‌هایی که بر اساس ضوابط لرزه‌ای طراحی شده ارزیابی می‌گردد. لازم به ذکر است در طبقه همکف، تیغه‌ها به طور کلی طبق نتایج آماری حذف شده است. طبق مطالعات انجام شده توسط عباس نژادفرد و همکاران [۱۹] حضور تیغه‌ها با توجه به اندود کاربردی، در سختی جانبی به طور نسبی تأثیر گذار خواهد بود و از طرفی با توجه به پیچیدگی و زمان‌بر بودن

تنها تأثیر میان‌قاب طبق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ در کنترل دوره تناوب محاسباتی می‌باشد. به همین جهت حذف ناگهانی و یا حضور میان‌قاب‌ها باعث ایجاد رفتار جدیدی در سازه می‌گردد که در طراحی لحاظ نشده است؛ بنابراین حالت‌های مختلف چپش میان‌قاب برای این ساختمان بر اساس نتیجه مطالعات آماری ساختمان‌های موجود به صورت جدول (۳) می‌باشد.

و فواصل آنها نیز مطابق با نتیجه آماری تعیین شد. در یک راستا اکثر ساختمان‌ها دارای دو دهانه بوده و در راستای دیگر دارای سه دهانه می‌باشند؛ بنابراین مدل انتخابی مشابه ساختمان‌های موجود در مطالعات آماری خواهد بود. مشخصات ابعاد تیر و ستون در جدول (۲) نشان داده شده است. لازم به ذکر است در طراحی ساختمان‌ها مدل‌سازی میان‌قاب‌ها صورت نمی‌گیرد و

جدول (۲): مقاطع طراحی شده برای ساختمان انتخابی.

مقاطع ستون (سانتی‌متر) میلگرد نمره ۱۸ (میلی‌متر)	مقاطع تیر (سانتی‌متر)		طبقه
	X-Dir	Y-Dir	
۲۰T1۸ - C۴۵×۴۵ و ۲۴T1۸ - C۵۰×۵۰	B۳۵×۴۵	B۴۰×۵۰	۱
۲۰T1۸ - C۴۵×۴۵	B۳۵×۴۵	B۴۰×۵۰	۲
۱۲T1۸ - C۴۵×۴۵	B۳۵×۴۵	B۴۰×۵۰	۳
۱۲T1۸ - C۴۰×۴۰	B۳۵×۴۰	B۴۰×۵۰	۴
۱۲T1۸ - C۳۵×۳۵ و ۱۲T1۸ - C۴۰×۴۰	B۳۵×۴۰	B۳۵×۴۰	۵
۱۲T1۲ - C۳۵×۳۵	B۳۵×۴۰	B۳۵×۴۰	۶

جدول (۳): حالت‌های مختلف چپش میان‌قاب در طبقه همکف.

نام اختصاری	مشخصات	نمایه
CF	همه دهانه‌های پیرامونی دارای میان‌قاب (Complete Infill)	
SS	ساختمان دارای طبقه نرم همکف (Soft Story)	
XF	میان‌قاب طبقه همکف تنها در راستای X حضور دارد (X Dir Infill)	
YF	میان‌قاب طبقه همکف تنها در راستای Y حضور دارد (Y Dir Infill)	
XYF	میان‌قاب طبقه همکف در هر راستا و تنها یک سمت حضور دارد. (X & Y Dir Infill)	
XSYF	میان‌قاب طبقه همکف به صورت یک‌درمیان حضور دارد (X space Y Dir Infill)	
SF	میان‌قاب طبقه همکف اطراف راه‌پله حضور دارد (Stair Infill)	

۲-۴- مدل سازی

به صورت $1/0.5D+0/25L$ در نظر گرفته شد. جهت لحاظ نمودن اثرات نیروی ثقلی در ظرفیت باربری تیرها، بارها به صورت متمرکز در طول المان تیر و در نقاط مش بندی شده قرار گرفت. زمان تناوب مدل ETABS و OpenSees پس از یکسان سازی فرضیات مدل سازی در هر دو نرم افزار با تقریب خوبی مشابه یکدیگر بودند. با توجه به آنکه ساختمان انتخابی در این پژوهش بر اساس ضوابط لرزه ای طراحی شده، با فرض اجرای صحیح ناحیه اتصال و با وجود پیچیدگی ها و کمبود آزمایش ها و مدل سازی های ناحیه اتصال برای حالت سه بعدی، طبق نتایج ارائه شده شفایی و همکاران [۲۶] نیازی به مدل سازی دقیق ناحیه اتصال نبوده و مدل سازی اتصال صلب نیز جواب قابل قبولی را برای این ساختمان ارائه می دهد.

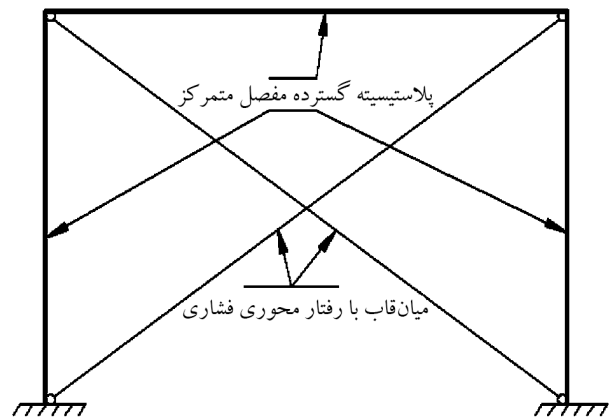
روش های مختلفی جهت مدل سازی میان قاب به روش بزرگ مقیاس ارائه شده است. مطالعات نشان می دهد، نتایج مدل های مختلف برای مدل سازی رفتار میان قاب به طور قابل ملاحظه ای با یکدیگر متفاوت هستند. از طرفی مطالعات بسیار زیادی بر روی مدل سازی از طریق دستک فشاری صورت گرفته است و برای این مدل روابط اصلاحی ارائه شده و معایب آن تا حد ممکن برطرف گردیده است. همچنین مدل سازی آن ساده می باشد؛ بنابراین جهت مدل سازی میان قاب ها در این پژوهش از مدل دستک فشاری استفاده شد که به صورت قطری مطابق شکل (۲) در قاب قرار می گیرد [۲۷-۲۹]. لازم به ذکر است، رفتار خارج از صفحه میان قاب لحاظ نشده است. روابط مورد نیاز جهت محاسبه مقاومت در بار گذاری تدریجی توسط برتولدی و همکاران [۳۰] برای چهار مود گسیختگی به دست آمده است. روابط محاسبه سختی توسط اسمیت [۳۱] ارائه شده است.

نوح و همکاران [۳۲] از طریق مدل سازی میان قاب در OpenSees با استفاده از المان corotTruss و مقایسه مصالح Hysteretic، Pinching4 و Concrete01 در مدل سازی میان قاب و بررسی رفتار مونوتونیک و چرخه ای با نتایج آزمایشگاهی به این نتیجه رسیدند که استفاده از مصالح Concrete01 جهت سهولت کاربرد و پارامترهای کمتر مورد نیاز، نتایج قابل قبولی را ارائه می دهد.

مطالعات نشان می دهد مدل سازی سه بعدی سازه به ویژه برای سازه های بتنی، به دلیل اندرکنش ستون و تأثیر اعمال شتاب نگاشت یک راستا بر رفتار سازه در راستای دیگر از اهمیت ویژه ای برخوردار است [۲۲-۲۳]. بر همین اساس و به منظور بررسی تأثیر چینش میان قاب ها در حالت های مختلف، مدل سازی ساختمان در این پژوهش در حالت سه بعدی صورت گرفته است. بارگذاری ثقلی به صورت متعارف و بر اساس مبحث ششم مقررات ملی لحاظ گردید. ترکیب بارها و طراحی با استفاده از ضوابط آیین نامه ای ACI-318-2014 و ASCE^۱ انجام گرفت و طبق بارگذاری مبحث ششم مقررات ملی و آیین نامه طراحی مبحث نهم کنترل شد. مقدار بار مرده و زنده طبقات به ترتیب ۴۱۹ و ۲۰۰ کیلوگرم (دکانیوتن) بر مترمربع و بار مرده بام ۴۲۸ کیلوگرم بر مترمربع می باشد. بار مرده حاصل از خود المان های تیر و ستون توسط نرم افزار OpenSees لحاظ گردید. بار مرده پله و دیوار پیرامونی به ترتیب ۱۷۸۵ و ۷۰۰ کیلوگرم بر متر می باشد. سایر بارگذاری ها نیز مطابق با مقادیر مرسوم تعیین شده است. خاک منطقه با توجه به خاک اکثر مناطق تهران، نوع دوم (II) مطابق با تعریف استاندارد ۲۸۰۰ لحاظ گردید. به دلیل کمبود مطالعات آزمایشگاهی در حالت سه بعدی، مدل سازی قاب سازه ای در این پژوهش از طریق روش پلاستیسیته گسترده صورت می گیرد. مدل سازی رفتار بتن از مصالح Concrete01 استفاده شده است. اثرات محصورشدگی مطابق روابط مندر لحاظ گردید [۲۴-۲۵]. مدل سازی رفتار میلگرد با استفاده از مصالح Steel02 و شیب ناحیه سخت شدگی برابر با ۰/۰۰۷ در نظر گرفته شد. مدل سازی المان های تیر و ستون از طریق المان dispBeamColumn انجام شد. هر المان تیر و ستون به چهار قسمت مش بندی گردید و تعداد نقاط انتگرال گیری در طول المان پنج عدد می باشد. در OpenSees دستور تبدیل هندسی^۲ ستون ها از نوع Corotational و تیرها Linear در نظر گرفته شد.

جرم لرزه ای حاصل از ترکیب بار مرده به همراه ۲۰ درصد بار زنده به صورت متمرکز و در انتهای المان های ستون لحاظ گردید. ترکیب بار ثقلی مورد استفاده نیز مطابق آیین نامه FEMAP695

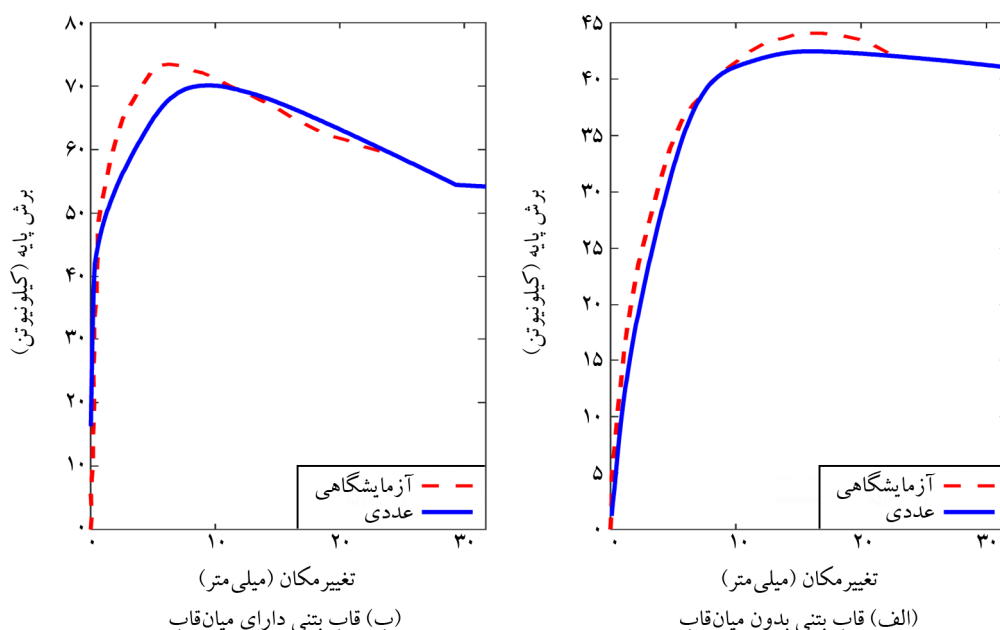
در ناحیه کششی و فشاری خود می‌باشد. مقاومت فشاری بتن $26/5$ مگاپاسکال و ضریب محصور شدگی $1/3$ می‌باشد. بار محوری 80 کیلونیوتن بر روی هر یک از ستون‌ها اعمال شده است [۳۳]. جهت مدل‌سازی قاب از مصالح Concrete01 و Steel02 استفاده شده است. اعضای تیر و ستون با استفاده از المان dispBeamColumn مدل‌سازی شده که هر عضو جهت دقت در محاسبات به سه المان تقسیم شده است [۳۲].



شکل (۲): مدل‌سازی میان‌قاب با استفاده از دستک فشاری.

میان‌قاب در مدل آزمایشگاهی با آجر رسی به ابعاد $90 \times 63 \times 190$ و ضخامت $7/5$ میلی‌متر ملات ساخته شده است. در مدل‌سازی میان‌قاب با استفاده از مصالح Concrete01 مقاومت بیشینه $1/881$ مگاپاسکال، کرنش در مقاومت بیشینه $0/0018$ ، مقاومت نهایی $0/658$ مگاپاسکال و کرنش در مقاومت نهایی $0/124$ می‌باشد. نسبت عرض دستک فشاری معادل به طول آن نیز برابر $0/1868$ می‌باشد [۳۲-۳۳]. شکل (۳-الف) نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی برای قاب بدون میان‌قاب و شکل (۳-ب) مقایسه نتایج نمونه آزمایشگاهی با مدل عددی میان‌قاب را نشان می‌دهد. حداکثر خطا در این مدل در مقایسه با کار آزمایشگاهی توسط استایلیانیدیس [۳۳] حدود 12 درصد بوده که در نتیجه این مدل‌سازی از دقت قابل قبولی برخوردار است.

به همین دلیل جهت مدل‌سازی میان‌قاب از این مصالح استفاده می‌گردد. لازم به ذکر است جهت کالیبره کردن این مصالح، کرنش در مقاومت بیشینه که از روابط ارائه شده به دست می‌آید، باید تقسیم بر 2 شود و در کرنش حداکثر مصالح Concrete01 قرار گیرد. به‌منظور صحت‌سنجی مدل عددی میان‌قاب در نرم‌افزار OpenSees، نتایج آزمایشگاهی قاب بتنی یک طبقه و یک دهانه که به مقیاس یک سوم شبیه‌سازی شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. طول دهانه 159 و ارتفاع آن 106 سانتی‌متر می‌باشد. ابعاد ستون 15×15 و تیر 10×20 سانتی‌متر می‌باشد. مقطع ستون دارای هشت عدد میلگرد شماره 6 و مقطع تیر دارای سه عدد میلگرد شماره 6



شکل (۳): صحت‌سنجی مدل عددی میان‌قاب این تحقیق با استفاده از نتایج آزمایشگاهی مرجع [۳۳].

جدول (۴): مشخصات مدل سازی غیر خطی میان قاب با استفاده از مصالح.

طبقه	طول دهانه L (میلی متر)	f_c (مگاپاسکال)	e_c	f_u (مگاپاسکال)	e_{cu}	A (میلی متر مربع)
طبقه اول	۳۰۰۰	۰/۷۲۶۷	۰/۰۰۰۱۷	۰/۲۵۴۳۵	۰/۰۱۱۵	۲۳۳۴۲۸
	۴۰۰۰	۰/۷۱۳۸۶	۰/۰۰۰۱۷	۰/۲۴۹۸۵	۰/۰۱۱۴	۲۸۵۸۰۸
	۴۵۰۰	۰/۷۰۳۱۷	۰/۰۰۰۱۷	۰/۲۴۶۱۱	۰/۰۱۱۴	۳۱۶۸۲۷
	۵۰۰۰	۰/۶۹۱۴۱	۰/۰۰۰۱۷	۰/۲۴۱۹۹	۰/۰۱۱۳	۳۵۰۳۹۱
	۵۵۰۰	۰/۶۷۹۲۸	۰/۰۰۰۱۷	۰/۲۳۷۷۵	۰/۰۱۱۱	۳۸۶۱۵۶
سایر طبقات	۳۰۰۰	۰/۹۵۹۲۸	۰/۰۰۰۲۲	۰/۳۳۵۷۵	۰/۰۱۴۷	۱۷۷۶۳۶
	۴۰۰۰	۰/۹۴۷۵۷	۰/۰۰۰۲۲	۰/۳۳۱۶۵	۰/۰۱۴۹	۲۱۶۵۳۳
	۴۵۰۰	۰/۹۳۴۵۶	۰/۰۰۰۲۲	۰/۳۲۷۰۹	۰/۰۱۴۹	۲۳۹۷۶۸
	۵۰۰۰	۰/۹۱۹۴۸	۰/۰۰۰۲۲	۰/۳۲۱۸۲	۰/۰۱۴۸	۲۶۵۰۰۸
	۵۵۰۰	۰/۹۰۳۴۷	۰/۰۰۰۲۲	۰/۳۱۶۲۱	۰/۰۱۴۷	۲۹۱۹۹۱

جدول (۵): دوره تناوب مدهای اول و دوم برای حالت های مختلف چینش میان قاب در طبقه همکف.

مدل		YF	XYF	XSYF	XF	SF	SS	CF	BF*
دوره تناوب (ثانیه)	مد ۱	۰/۳۳۹	۰/۳۲۳	۰/۲۵	۰/۳۴	۰/۲۹۲	۰/۳۴۱	۰/۲۳۴	۰/۷۸۹
	مد ۲	۰/۲۳۶	۰/۲۴۲	۰/۲۴۸	۰/۲۲۳	۰/۲۵۵	۰/۲۳۹	۰/۲۲۲	۰/۷۷۶

Bare Frame = BF* = سازه بدون میانقاب

مختلف صورت گرفت. جدول (۵) دوره تناوب مدهای اول و دوم، برای حالت های مختلف چینش میان قاب در طبقه همکف را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می گردد در صورتی که همه طبقات دارای میان قاب باشد، دوره تناوب سازه حدود ۷۰ درصد نسبت به سازه بدون میان قاب کاهش می یابد. همچنین در صورتی که میان قاب تنها در طبقه همکف حذف گردد (حالت SS)، دوره تناوب سازه حدود ۴۵ درصد (نسبت به حالت CF) افزایش می یابد که این افزایش دوره تناوب با توجه به ساختار زلزله های ایران، می تواند کاهش انرژی ورودی زلزله را به دنبال داشته باشد. در تمامی حالت هایی که میان قاب به طور متقارن در طبقه همکف توزیع شده است، دوره تناوب مدهای اول و دوم مشابه یکدیگر می باشد اما در صورت توزیع نامتقارن میان قاب، مقدار اختلاف بین دوره تناوب دو مد افزایش می یابد که می تواند بیانگر تأثیر سختی جانبی میان قاب ها در دو راستا باشد. جدول (۶) سختی جانبی طبقات در ناحیه خطی را برای حالت SS در راستای X نشان می دهد. با توجه به نسبت سختی جانبی طبقات بر اساس ضوابط آئین نامه در ناحیه خطی، طبقه همکف طبقه نرم نامیده می شود.

میان قاب ساخته شده با کیفیت مناسب از آجر مجوف سفالی با ملات ماسه سیمان و ضخامت ۱۵ سانتی متر، دارای مقاومت فشاری ۲/۱ مگاپاسکال و مقاومت برشی ۰/۴ مگاپاسکال می باشد. مقدار مدول الاستیسیته این نوع میان قاب نیز برابر با ۱۸۸۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است [۳۴]. نتایج مقادیر محاسبه شده جهت مدل سازی رفتار غیر خطی مطابق با این مصالح در جدول (۴) ارائه شده است.

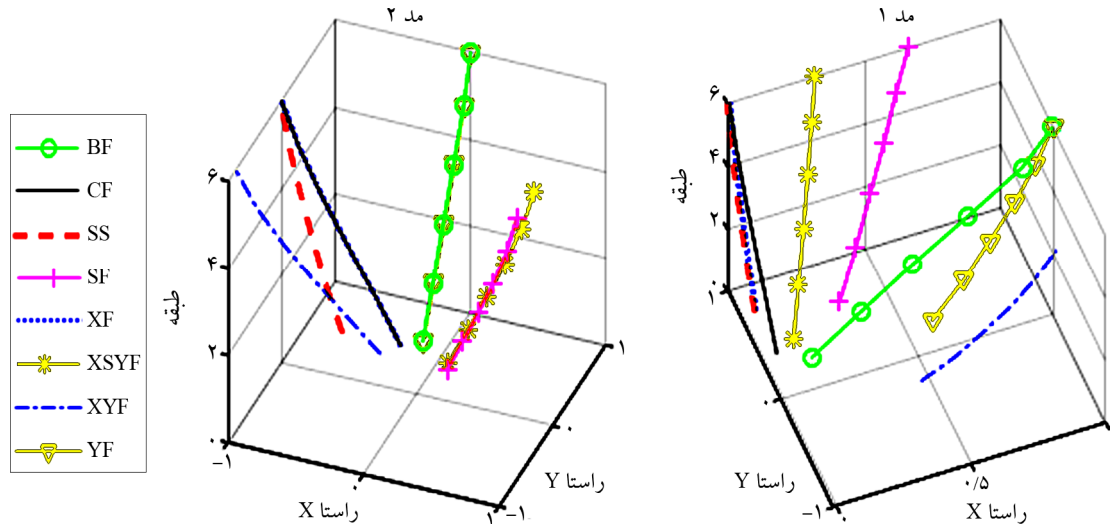
۳- نتایج و یافته ها

۳-۱- تحلیل مدال

در این پژوهش احتمال تشکیل طبقه نرم بر اساس سه معیار یعنی سختی نسبی جانبی طبقات، شکل مودی و توزیع جابه جایی نسبی طبقات (با توجه به مطالعات در زمینه توزیع و تمرکز خسارت ها در سازه دارای طبقه نرم) مورد بررسی قرار می گیرد. دوره تناوب و شکل مدی سازه عموماً به عنوان نماینده ای از رفتار کلی سازه در طراحی و انجام تحلیل های غیر خطی مورد استفاده قرار می گیرد. به همین جهت به منظور بررسی نقش میان قاب ها در دوره تناوب و شکل مدی سازه، تحلیل مدال بر روی سناریوهای

جدول (۶): سختی جانبی طبقات در ناحیه خطی برای حالت SS در راستای X.

طبقه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
سختی جانبی (کیلو نیوتن بر میلی متر)	۴۹۰/۷۲	۱۵۰۲/۲۵	۱۱۷۴/۶۳	۱۲۳۶/۱۶	۹۳۵/۱	۹۰۹/۹۵



شکل (۴): نمودار شکل مدی برای حالت‌های مختلف چینش میان‌قاب در طبقه همکف، در مدهای اول و دوم.

شکل (۴)، شکل مدی حالت‌های مختلف را برای مدهای اول و دوم در حالت سه‌بعدی نشان می‌دهد. هر سناریو به بزرگ‌ترین مقدار خود در هر دو راستا مقیاس شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد اضافه شدن میان‌قاب به کل ساختمان، باعث تغییر راستای مد ساختمان از جهت X به Y شده است. حذف میان‌قاب در طبقه همکف (حالت SS) باعث می‌گردد تا شکل مدی مشابه ساختمان‌های با طبقه نرم گردد. همچنین نمودارها نشان می‌دهند که توزیع نامتقارن میان‌قاب در طبقه همکف (حالت XYF) می‌تواند باعث گردد تا شکل مدی به ازای هر مد، در هر دو راستا فعال گردد. حضور دیوار در اطراف راه‌پله (حالت SF) نیز می‌تواند باعث تغییر شکل رفتار مدی و فعال شدن آن در هر دو راستا گردد.

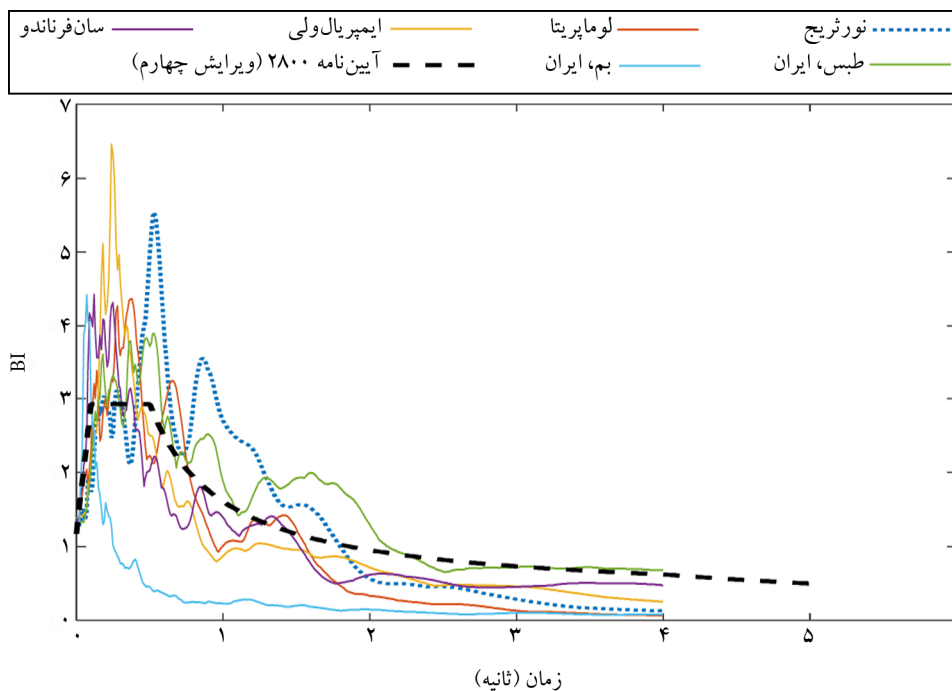
شکل (۴)، شکل مدی حالت‌های مختلف را برای مدهای اول و دوم در حالت سه‌بعدی نشان می‌دهد. هر سناریو به بزرگ‌ترین مقدار خود در هر دو راستا مقیاس شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد اضافه شدن میان‌قاب به کل ساختمان، باعث تغییر راستای مد ساختمان از جهت X به Y شده است. حذف میان‌قاب در طبقه همکف (حالت SS) باعث می‌گردد تا شکل مدی مشابه ساختمان‌های با طبقه نرم گردد. همچنین نمودارها نشان می‌دهند که توزیع نامتقارن میان‌قاب در طبقه همکف (حالت XYF) می‌تواند باعث گردد تا شکل مدی به ازای هر مد، در هر دو راستا فعال گردد. حضور دیوار در اطراف راه‌پله (حالت SF) نیز می‌تواند باعث تغییر شکل رفتار مدی و فعال شدن آن در هر دو راستا گردد.

۲-۳- تحلیل دینامیکی غیرخطی

با توجه به مدل‌سازی سه‌بعدی سازه‌ها و به‌منظور تعیین پاسخ‌های واقع‌بینانه از نتایج تحلیل، از هر دو مؤلفه عمود بر هم هر زلزله به‌طور هم‌زمان جهت انجام این تحلیل استفاده می‌گردد. همچنین مطالعات نشان می‌دهد، با تغییر زاویه شتاب‌نگاشت‌های اعمالی به سازه حتی برای سازه‌های منظم و با معماری ساده، بیشینه

جدول (۷): مشخصات و زاویه زلزله انتخاب شده، جهت انجام تحلیل تاریخچه زمانی.

شماره زلزله	نام زلزله	سال	بزرگا	سایت ثبت زلزله	PGA (g)	ضریب مقیاس به 1g	زاویه (درجه)
۱	نورثریج	۱۹۹۴	۶/۷	Beverly Hills	۰/۵۱۶۴	۱/۹۲۴۹۳	۰
۲	لوماپریتا	۱۹۸۹	۶/۹	Capitola	۰/۵۲۸۵	۱/۷۳۶۴	۳۸
۳	ایمپریال ولی	۱۹۷۹	۶/۵	El Centro Array #11	۰/۳۸	۲/۰۹۷۲۷	۶۸
۴	سانفرناندو	۱۹۷۱	۶/۶	LAHollywood Stor Lot	۰/۲۱	۴/۴۵	۴۵
۵	طیس، ایران	۱۹۷۸	۷/۳۵	بشرویہ	۰/۱۰۵۵	۹/۷۱۱۶	۶۰
۶	بم، ایران	۲۰۰۳	۶/۶	ابارق	۰/۱۶۸	۵/۹۲۶۹	۵۳



شکل (۵): طیف پاسخ مقیاس شده برای شتاب‌نگاشت‌های انتخابی.

به منظور بررسی بهتر رفتار سازه، تحلیل تاریخچه زمانی در چهار سطح مختلف بیشینه شتاب زمین صورت می‌گیرد. هر مؤلفه زلزله مطابق با استاندارد ۲۸۰۰، ابتدا به بیشینه شتاب زمین در بین هر دو مؤلفه مقیاس شده و سپس طیف آن به دست می‌آید. در نهایت طیف هر دو مؤلفه از طریق جذر مجموع مربعات (SRSS)^۵ با یکدیگر ترکیب شده و به ازای هر زلزله، طیف واحدی مطابق شکل (۵) تشکیل می‌گردد. این شکل، طیف‌های تشکیل شده به ازای هر زلزله انتخابی و حالت ۱/۳ برابر زلزله طرح استاندارد ۲۸۰۰ را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است جهت حذف دخالت بیشینه شتاب زمین، طیف‌های مزبور همگی به بیشینه شتاب زمین مربوط به خود مقیاس شده‌اند، بنابراین محور قائم بیانگر (BI) می‌باشد.

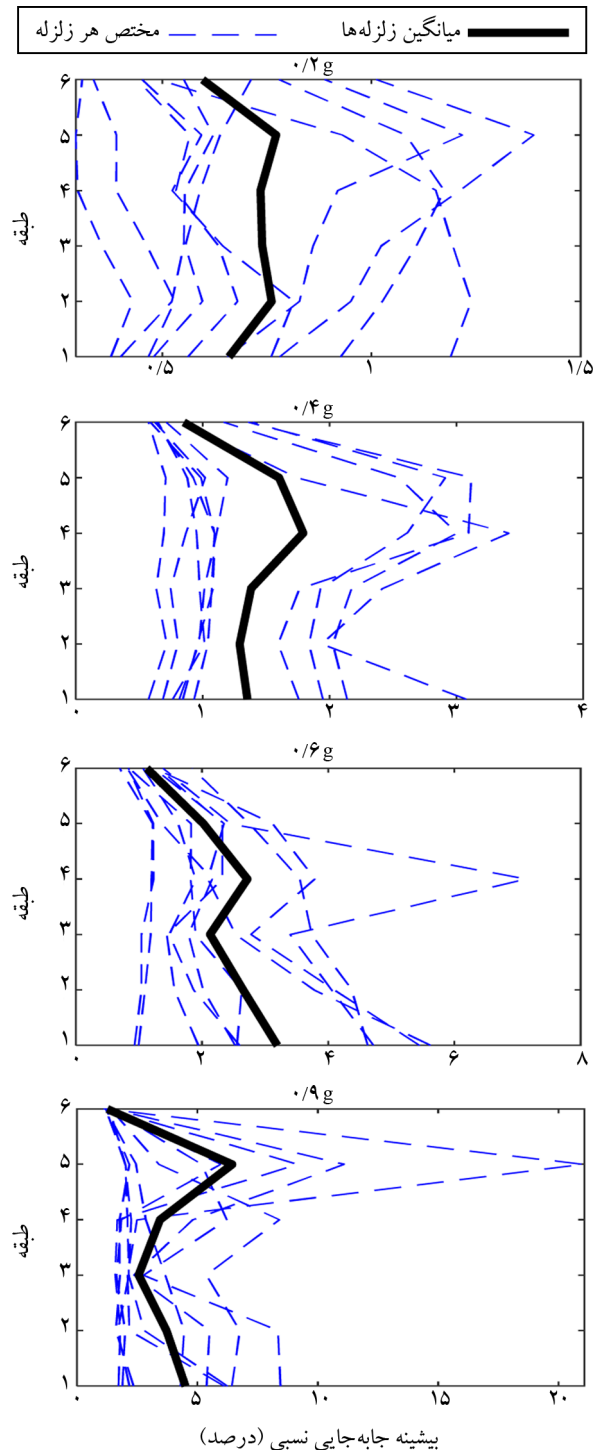
به منظور بررسی دقیق تر رفتار سازه با حذف میان‌قاب در طبقه همکف (سناریوی SS)، نمودار بیشینه جابه‌جایی طبقات به ازای هر زلزله و در سطوح متفاوت بیشینه شتاب زمین ترسیم می‌گردد تا احتمال تشکیل طبقه نرم بر اساس میزان جابه‌جایی نسبی طبقه همکف در این ساختمان‌ها که بر اساس ضوابط لرزه‌ای طراحی شده و دارای این مدل از توزیع میان‌قاب می‌باشد، مشخص گردد. در ادامه نتایج میانگین تحلیل دینامیکی غیرخطی به ازای هر سناریوی چینش میان‌قاب، به منظور مقایسه بهتر آنها ارائه می‌گردد. مطابق شکل (۶)، مشاهده می‌گردد در دو شدت پایین زلزله توزیع بیشینه جابه‌جایی نسبی در همه طبقات برای تعدادی از زلزله‌ها، یکسان می‌باشد. در ساختمان قاب خمشی متداول با

با قاب خمشی و یا ساختمان با رفتار طبقه نرم نیست بلکه به نظر می‌رسد رفتاری بین این دو نوع ساختمان را خواهد داشت. با رسیدن زلزله به سطح $0/6g$ ، برای تعدادی از شتاب‌نگاشت‌ها همچنان توزیع جابه‌جایی نسبی در همه طبقات یکسان خواهد بود، با این وجود مقدار میانگین این نتایج، بیانگر افزایش جابه‌جایی نسبی در طبقه همکف می‌باشد؛ اما مقدار این جابه‌جایی برای طبقات میانی نیز زیاد است. با رسیدن شدت زلزله به سطح $0/9g$ ، به نظر می‌رسد در طبقات چهارم و پنجم که در سازه با رفتار قاب خمشی بیشترین جابه‌جایی‌ها را دارند، میان‌قاب‌ها از بین رفته و تمرکز جابه‌جایی نسبی در این طبقات افزایش می‌یابد؛ به نحوی که طبقه پنجم و طبقه همکف به ترتیب بیشترین جابه‌جایی نسبی را تجربه خواهند کرد.

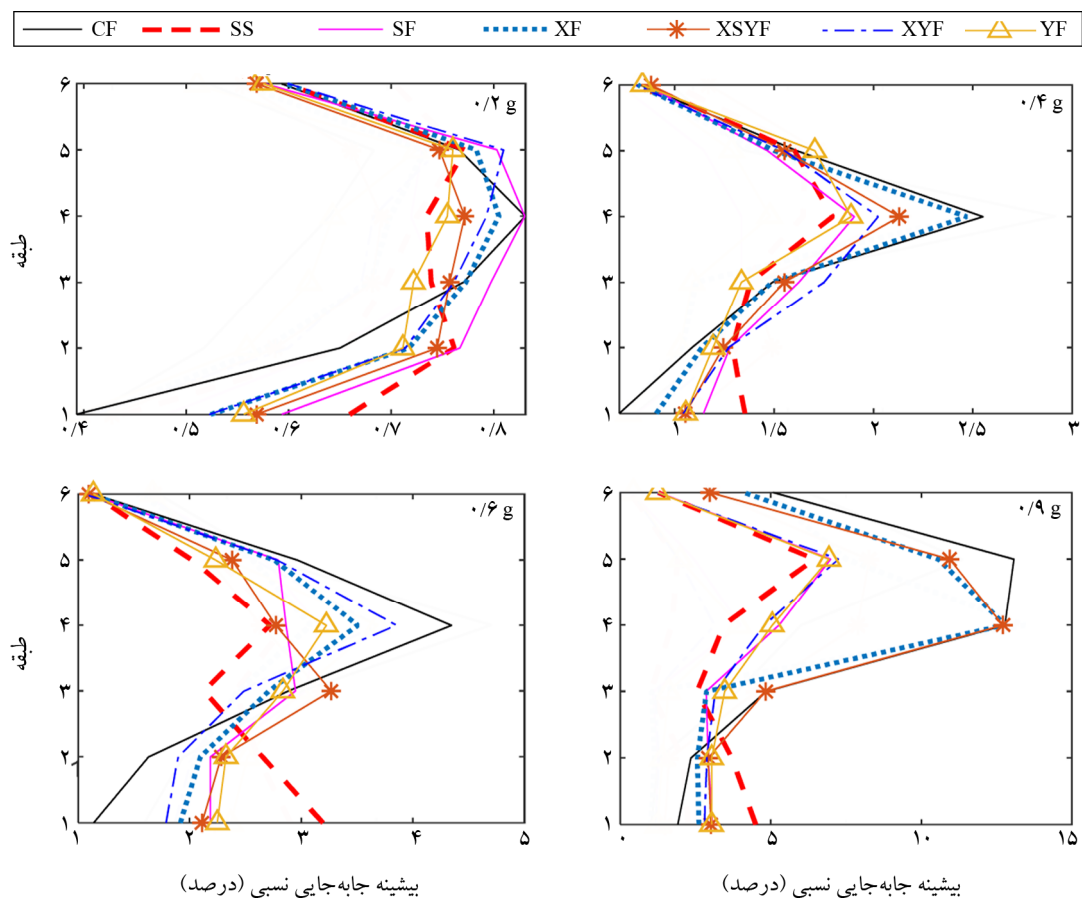
به نظر می‌رسد حالت (SS) که مطابق با ضوابط لرزه‌ای طراحی شده، با توجه به توزیع جابه‌جایی نسبی طبقات دارای رفتاری بین سازه قاب خمشی و سازه با طبقه نرم می‌باشد. در صورت توزیع یکنواخت میان‌قاب در همه طبقات، تمرکز جابه‌جایی در طبقات میانی بوده و این طبقات بیشتر در اتلاف انرژی سهم خواهند بود. با توجه به اینکه سازه بر اساس ضوابط لرزه‌ای طراحی شده و دارای شکل‌پذیری مناسب می‌باشد، با افزایش شدت زلزله و جابه‌جایی، سختی جانبی میان‌قاب‌ها به سرعت کاهش یافته و با توجه به توزیع جابه‌جایی نسبی در همه طبقات (عدم تمرکز جابه‌جایی در طبقه همکف) سازه دارای رفتاری مابین قاب خمشی و سازه دارای طبقه نرم می‌باشد. به همین دلیل در این حالت علاوه بر طبقات میانی، طبقه همکف نیز در اتلاف انرژی نقش خواهد داشت. شاید بتوان اظهار داشت که این نوع توزیع میان‌قاب در ساختمان با طراحی لرزه‌ای، باعث توزیع جابه‌جایی نسبی در همه طبقات شده و بر همین اساس همه طبقات در اتلاف انرژی شرکت خواهند داشت.

شکل‌های (۷) تا (۱۱)، نتایج میانگین تحلیل دینامیکی غیرخطی را برای حالت‌های مختلف چینش میان‌قاب در طبقه همکف نشان می‌دهد. بر اساس این شکل‌ها، هر یک از این حالت‌ها باعث پاسخ‌های متفاوتی خواهند شد.

فرض عدم حضور میان‌قاب، تمرکز جابه‌جایی‌های نسبی در طبقات میانی سازه خواهد بود و در ساختمان با طبقه نرم متداول، این تمرکز جابه‌جایی در طبقه همکف متمرکز می‌باشد. بنابراین، توزیع یکنواخت جابه‌جایی نسبی در همه طبقات، مطابق ساختمان



شکل (۶): نمودار بیشینه جابه‌جایی نسبی طبقات برای حالت (SS) تحت تحلیل دینامیکی به ازای هر زلزله، در سطوح متفاوت بیشینه شتاب زمین.

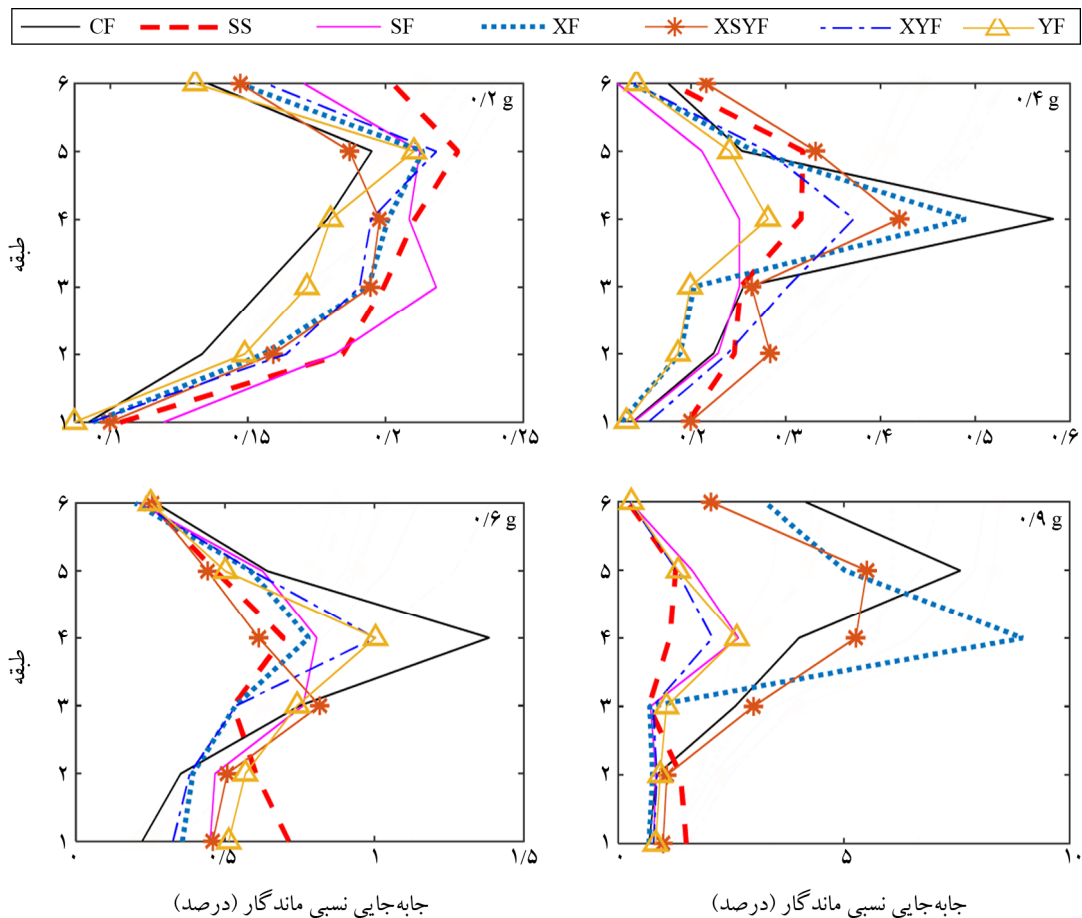


شکل (۷): نمودار میانگین بیشینه جابه‌جایی نسبی طبقات برای حالت‌های مختلف چینش میان‌قاب در طبقه همکف، تحت تحلیل دینامیکی غیرخطی در سطوح متفاوت بیشینه شتاب زمین.

خود نشان می‌دهند اما به نظرمی رسد حالت YF نتایج مناسب‌تری را برای بیشینه جابه‌جایی نسبی در کلیه شدت‌های زلزله ارائه می‌دهد.

شکل (۸) نمودار جابه‌جایی نسبی ماندگار طبقات برای حالت‌های مختلف را نشان می‌دهد. به جز سطح شدت ۰/۲g در سایر شدت‌های زلزله، بیشینه جابه‌جایی ماندگار در کل سازه مربوط به حالت CF می‌باشد. به استثنای حالت SS که در آن توزیع جابه‌جایی نسبی ماندگار در همه طبقات تقریباً یکسان می‌باشد، سایر سناریوها مطابق با رفتار قاب خمشی عمل کرده و میزان جابه‌جایی ماندگار طبقات میانی در آنها بیشینه می‌باشد. حالت‌های XF و XSYF نیز دارای جابه‌جایی ماندگار زیادی می‌باشند. لازم به ذکر است در انتها رکورد‌های زلزله، جهت تعیین جابه‌جایی ماندگار طبقات حدود چهار برابر دوره تناوب اول سازه به ساختمان اجازه ارتعاش آزاد داده شده است.

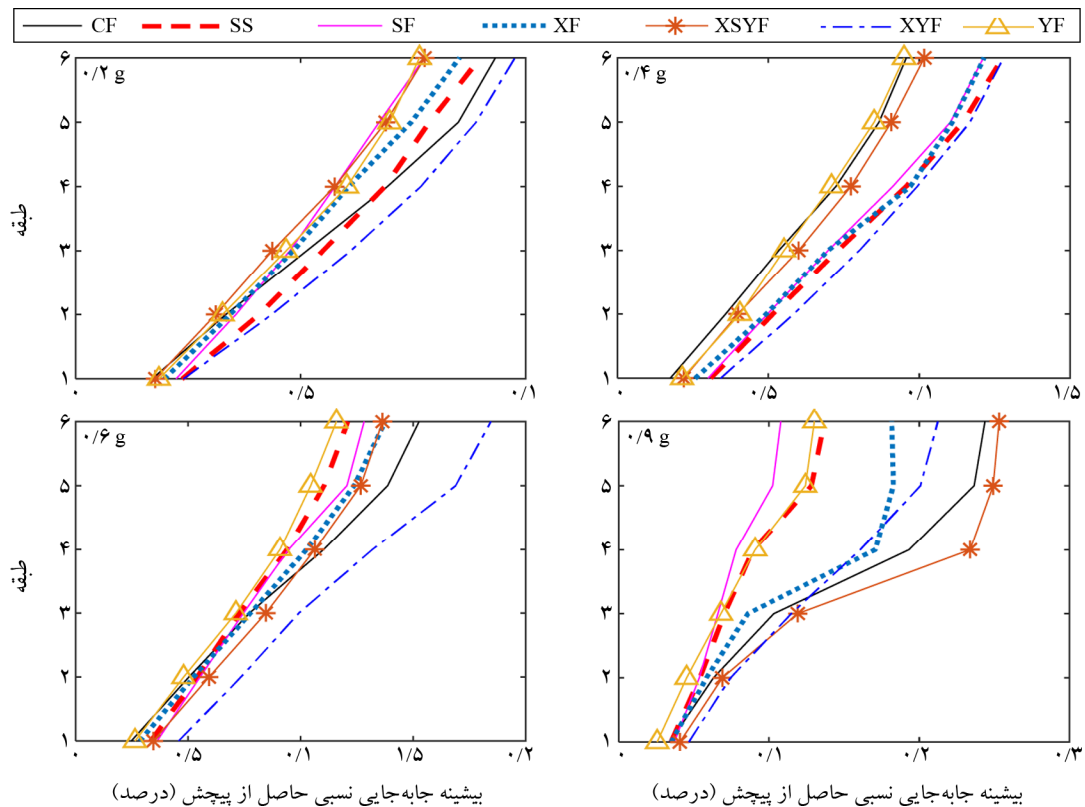
مطابق با شکل (۷) که بیانگر بیشینه جابه‌جایی نسبی طبقات در طول تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی می‌باشد، بیشترین جابه‌جایی نسبی در کل سازه و برای هر چهار سطح شدت زلزله مربوط به سناریوی CF بوده که رفتار آن به دلیل توزیع یکنواخت میان‌قاب در همه طبقات، مشابه قاب خمشی می‌باشد و جابه‌جایی نسبی این سناریو در طبقه ابتدایی کمتر بوده و در طبقات میانی بیشترین مقدار خود را تجربه می‌کند. در حالت SF که در آن میان‌قاب تنها در اطراف راه‌پله حضور دارد، مشاهده می‌شود همین تعداد کم میان‌قاب در طبقه همکف، باعث شده تا رفتار این سازه در تمام شدت‌های زلزله مشابه با یک قاب خمشی عمل نماید و تمرکز بیشینه جابه‌جایی‌ها در طبقات میانی باشد. با اینکه این سناریو شبیه‌ترین حالت به سناریوی SS می‌باشد اما تفاوت رفتاری زیادی بین نتایج هر دو مشهود است. در شدت‌های متفاوت زلزله سناریوهای مختلف دیگر، رفتارهای متفاوتی از



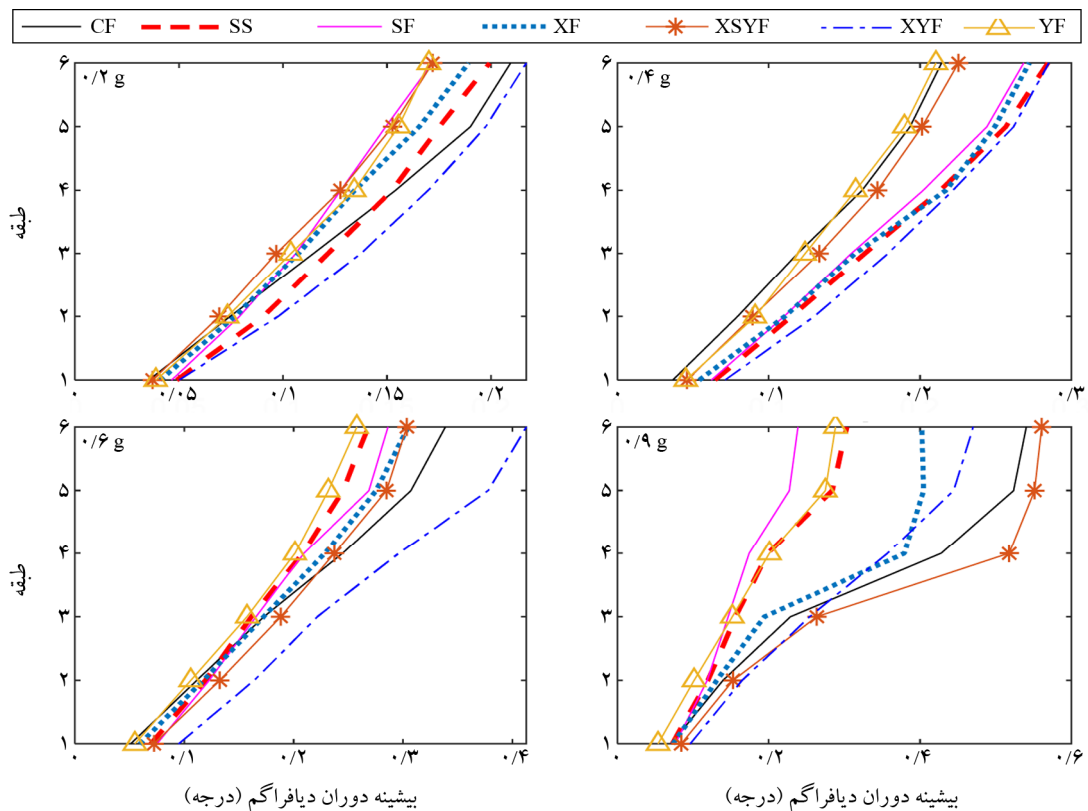
شکل (۸): نمودار میانگین جابه‌جایی نسبی ماندگار طبقات برای حالت‌های مختلف چینش میان قاب در طبقه همکف، تحت تحلیل دینامیکی غیرخطی در سطوح متفاوت بیشینه شتاب زمین.

شدت‌های بالاتر زلزله رفتار با طبقه نرم نیز مشارکت می‌کند، همین عامل باعث کاهش اثرات پیچشی در این سناریو در شدت‌های بالای زلزله می‌باشد. نکته قابل توجه اینجاست که در حالت CF با وجود توزیع یکنواخت میان قاب در همه دهانه‌های طبقه همکف، دو سطح شدت بالای زلزله اثرات پیچشی زیادی را نسبت به سایر سناریوها تجربه می‌کند. همان‌طور که از نتایج نمودارهای مربوط به جابه‌جایی مشاهده شد، در این نمودارها نیز حضور میان قاب در راستای X باعث افزایش اثرات پیچشی به ویژه در شدت‌های بالای زلزله می‌گردد. در این میان به نظر می‌رسد، حالت YF که در آن میان قاب‌ها در راستای Y توزیع شده است، اثرات محدود موجود در نامتقارنی نقشه را خنثی کرده است و به همین دلیل اثرات پیچشی برای این سناریو کمتر است.

شکل‌های (۹) و (۱۰)، به ترتیب بیشینه جابه‌جایی نسبی حاصل از پیچش در طبقات و بیشینه دوران دیافراگم را نشان می‌دهد. در شکل (۹) میزان جابه‌جایی نسبی بیشینه چهار ستون گوشه پلان که از لحاظ پیچشی در موقعیت بحرانی قرار دارند، به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شده است. در نهایت با کاهش جابه‌جایی مرکز سختی هر طبقه، بیشینه جابه‌جایی نسبی حاصل از پیچش برای هر طبقه در طول تحلیل تاریخچه زمانی تعیین می‌گردد. مطابق با این دو شکل در همه شدت‌ها همان‌طور که انتظار می‌رفت، طبقه بام دارای بیشترین اثرات پیچشی می‌باشد. در دو سطح شدت پایین زلزله، حالت SS نسبت به سایر حالت‌ها تقریباً بیشترین اثرات پیچشی را داراست، در صورتی که با افزایش شدت زلزله در محدوده کمترین اثرات پیچشی جای می‌گیرد. به نظر می‌رسد به دلیل آن که در حالت SS در



شکل (۹): نمودار میانگین بیشینه جابه‌جایی نسبی طبقات در اثر پیچش برای حالت‌های مختلف چینش میان‌قاب در طبقه همکف، تحت تحلیل دینامیکی در سطوح متفاوت بیشینه شتاب زمین.



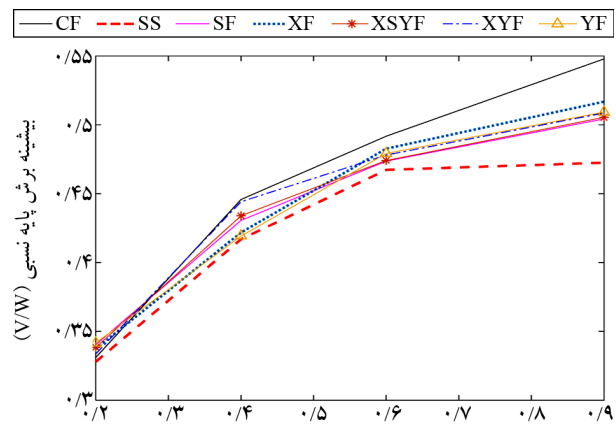
شکل (۱۰): نمودار میانگین بیشینه دوران دیافراگم در اثر پیچش برای حالت‌های مختلف چینش میان‌قاب در طبقه همکف، تحت تحلیل دینامیکی در سطوح متفاوت بیشینه شتاب زمین.

در بین سناریوهای مطالعه شده، رفتار سه حالت CF، YF، SS قابل توجه می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد توزیع یکنواخت میان‌قاب در همه طبقات (CF)، بحرانی‌ترین نتایج را در بین همه سناریوها خواهد داشت و ظرفیت سازه در آن نسبت به حالت‌های دیگر کمتر است. برخلاف آنچه تصور می‌شد، در سازه‌ای که مطابق با ضوابط لرزه‌ای طراحی و میان‌قاب در طبقه همکف آن حذف شده باشد (SS)، عملکرد بهتری نسبت به حالت CF تجربه می‌گردد؛ همچنین حالت YF نیز نتایج قابل قبولی در بین همه سناریوها ارائه می‌دهد.

جهت بررسی اهمیت اعمال شتاب‌نگاشت در نواحی مختلف مثلثاتی، میانگین نتایج پنج شتاب‌نگاشت انتخابی در نواحی اول و دوم مثلثاتی در شکل (۱۲) نمایش داده شده است. در شدت پایین زلزله، تفاوت چندانی بین بیشینه پاسخ‌های دو ناحیه مشاهده نمی‌شود با این وجود، بیشترین اختلاف‌ها مربوط به جابه‌جایی نسبی ماندگار و جابه‌جایی حاصل از پیچش می‌باشد. با افزایش شدت زلزله اهمیت اعمال شتاب‌نگاشت در نواحی مختلف مثلثاتی نمود پیدا می‌کند؛ با توجه به مشخصات ابعاد پلان ساختمان، تیر و ستون طراحی شده مشاهده می‌گردد که توزیع‌های مختلف میان‌قاب، می‌تواند پاسخ متفاوتی در مقابل اعمال زلزله در نواحی مختلف داشته باشد به طوری که با اعمال زلزله در ناحیه اول، به ترتیب در حالت‌های XF، XSYF، CF سازه دچار فروریزش می‌گردد اما به ازای اعمال همان شتاب‌نگاشت‌ها در ناحیه دوم، ساختمان در محدوده مورد قبولی پایدار باقی می‌ماند. دو سناریوی SS و SF، دارای کمترین وابستگی به اعمال زلزله در دو ناحیه مثلثاتی، در بین تمامی پاسخ‌ها می‌باشند. حالت XSYF بیشترین اختلاف را در بیشینه جابه‌جایی حاصل از پیچش داراست؛ بنابراین اگر ظرفیت سازه در مطالعه‌ای تنها بر اساس اعمال زلزله در یک ناحیه به دست آید، پاسخ قابل قبولی بر اساس رفتار واقعی سازه نخواهد داشت.

مطابق با شکل‌های (۹) و (۱۲) می‌توان دریافت که چینش‌های مختلف میان‌قاب در طبقه همکف علاوه بر دخالت در اثرات پیچشی و بیشینه پاسخ‌ها، وابستگی زیادی نیز به اعمال زلزله در

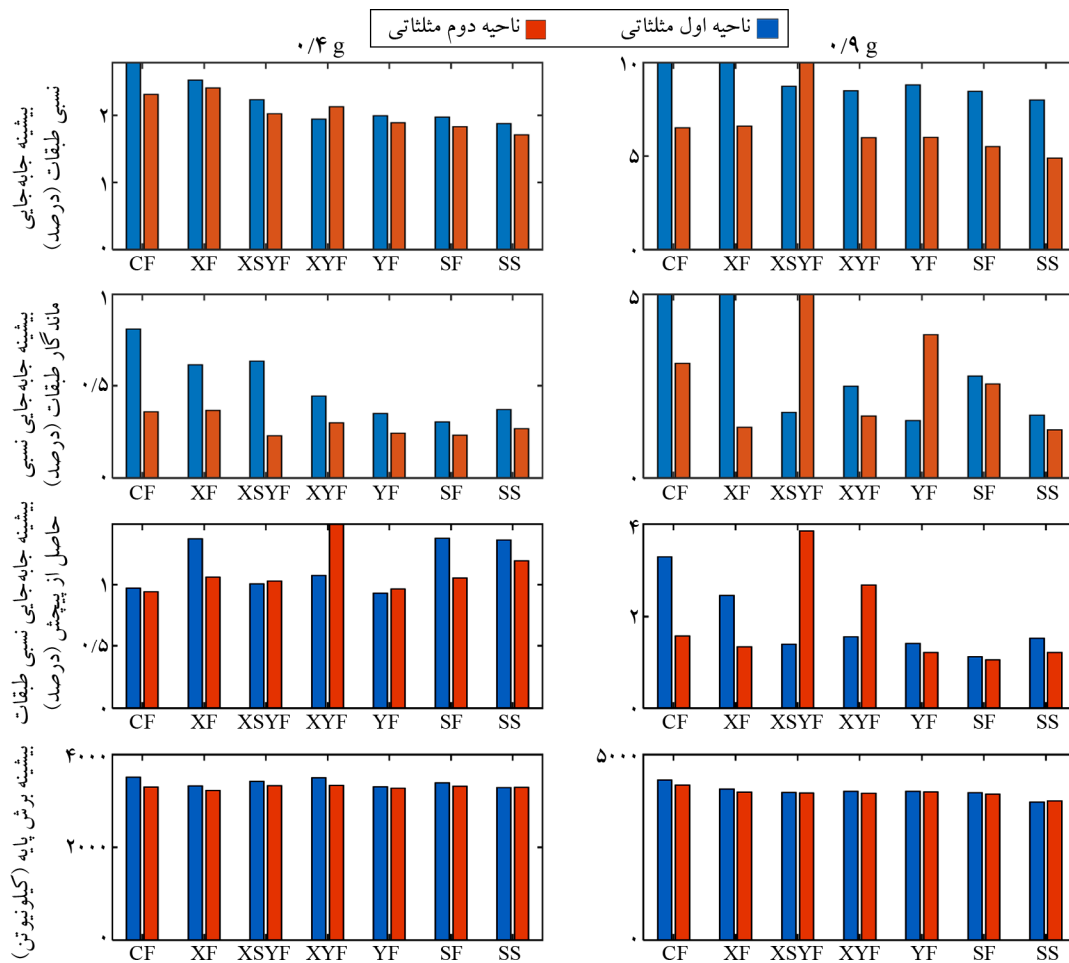
شکل (۱۱)، نسبت نرمالیزه شده بیشینه برش پایه سازه به جرم کل سازه در حالت‌های مختلف به ازای بیشینه شتاب زمین را نشان می‌دهد. مطابق با این نمودار در شدت پایین زلزله برش پایه برای همه حالت‌ها تقریباً یکسان است. با افزایش شدت زلزله اختلاف بین سناریوها افزایش می‌یابد، به نحوی که حالت CF دارای بیشترین برش پایه در تمامی شدت‌های زلزله و حالت SS دارای کمترین برش پایه می‌باشد. سایر حالت‌ها دارای برش پایه تقریباً یکسانی هستند. نکته قابل توجه در رابطه با این نمودار، شیب منحنی آن با تغییر شدت زلزله است. در حالت SS با افزایش شدت زلزله شیب نمودار کاهش می‌یابد، حال آن‌که برای حالت CF و XF با افزایش شدت زلزله شیب نمودار به صورت افزایشی می‌باشد. برای این نمودار نیز حالت YF مقادیر کمتری از برش پایه را به خود اختصاص داده است.



بیشینه شتاب زمین (g)

شکل (۱۱): نمودار میانگین نسبت نرمالیزه شده بیشینه برش پایه به جرم کل سازه برای حالت‌های مختلف چینش میان‌قاب در طبقه همکف، تحت تحلیل دینامیکی در سطوح متفاوت بیشینه شتاب زمین.

در نهایت مشاهده می‌گردد که چینش‌های مختلف میان‌قاب در طبقه همکف نتایج متفاوتی ارائه می‌دهد، به نحوی که با توجه به مشخصات این سازه، برای سناریوهایی که در آن میان‌قاب‌ها در راستای X توزیع شده است، نتایج بحرانی‌تر خواهد بود که می‌تواند به دلیل افزایش اثرات بیش از حد سختی پیچشی برای آن راستا علاوه بر سختی اعضای سازه‌ای مانند تیر و ستون باشد.



شکل (۱۲): میانگین نتایج بیشینه پاسخ‌های حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی، در نواحی اول و دوم مثلثاتی، در دو سطح مختلف بیشینه شتاب زمین.

بر این اساس حذف و یا کاهش میان‌قاب در طبقه همکف از جمله عوامل محتمل تشکیل طبقه نرم در این ساختمان‌ها می‌باشند. نتایج مطالعات آماری نشان می‌دهد که اسکلت اکثر ساختمان‌های مسکونی نوساز موجود در این مناطق بتنی بوده و دارای شش طبقه می‌باشد. ابعاد این ساختمان‌ها مستطیلی بوده و در یک راستا دارای دو دهانه و در راستای دیگر سه دهانه خواهند داشت. سیستم مقاوم باربر جانبی آنها سیستم قاب خمشی می‌باشد. طبقه همکف دارای کاربری پارکینگ و ارتفاع آن نسبت به سایر طبقات کمتر است. بر اساس معماری ساختمان‌های موجود و به منظور بررسی نقش میان‌قاب‌ها در طبقه همکف، چپش‌های مختلف میان‌قاب به هفت سناریو تقسیم شده و در حالت سه‌بعدی ارزیابی گردید.

در این پژوهش احتمال تشکیل طبقه نرم بر اساس سه معیار:

زوایا و نواحی مختلف مثلثاتی خواهد داشت. نتایج برش پایه در هر دو شدت زلزله بیانگر عدم وابستگی این پارامتر، به ناحیه اعمال شتاب‌نگاشت در این سازه می‌باشد. لازم به ذکر است که این نمودار تنها اثر اعمال زلزله در دو ناحیه مثلثاتی را مورد مقایسه قرار داده است؛ بنابراین اعمال زلزله در زوایای مختلف هر ناحیه خود عامل و پارامتری جداست که نیاز به بررسی بیشتر دارد. هرچند در نتایج شکل‌های (۶) تا (۱۰)، میانگین تمامی این عوامل به عنوان پاسخ نهایی لحاظ گردیده است.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ساختمان‌هایی که اخیراً در مناطق ۹ و ۱۱ تهران، مطابق با ضوابط لرزه‌ای طراحی و ساخته شده‌اند بر اساس علل تشکیل طبقه نرم، در یک مطالعه آماری طبقه‌بندی شده‌اند.

است که بر اساس استانداردها، پایین‌تر از حد فروریزش خواهد بود. با توجه به ابعاد پلان سازه مورد مطالعه و اعضای آن (تیر-ستون)، حضور میان‌قاب در راستای عرضی باعث افزایش ظرفیت سازه نسبت به حضور میان‌قاب در راستای طولی خواهد شد به نحوی که توزیع میان‌قاب در راستای طولی باعث فروریزش سازه شده و اثرات پیچش زیادی را به همراه خواهد داشت که اهمیت مدل‌سازی میان‌قاب‌ها و اثرات سختی در رفتار سازه را نشان می‌دهد.

نتایج اعمال زلزله در زوایای مختلف نشان می‌دهد که با توجه به ابعاد مقاطع (تیر-ستون) و پلان ساختمان، اعمال زلزله در نواحی مختلف مثلثاتی به‌ویژه در توزیع‌های مختلف میان‌قاب پاسخ‌های متفاوتی را ارائه می‌دهد به طوری که به ازای اعمال زلزله در یک ناحیه مثلثاتی سازه دچار فروریزش شده اما با اعمال همان زلزله در ناحیه دیگر، سازه پاسخ قابل قبولی را ارائه می‌دهد؛ بنابراین جهت تعیین ظرفیت واقعی سازه نیاز است تا اعمال زلزله در زوایای مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد.

در بین حالت‌های مدل‌سازی شده، دو سناریو که در آن میان‌قاب تنها در اطراف راه‌پله حضور داشته و یا میان‌قاب به‌طور کل در طبقه همکف حذف شده است عملکرد مناسبی را نسبت به سایر حالت‌ها خواهند داشت؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌سازی میان‌قاب به‌ویژه در حالت سه‌بعدی و اعمال زلزله در زوایای مختلف بر رفتار سازه جهت تعیین ظرفیت تأثیرگذار خواهد بود. همچنین در سازه‌هایی که بر اساس ضوابط لرزه‌ای طراحی شده‌اند با حذف میان‌قاب در طبقه همکف، طبقه نرم تشکیل نشده و عملکرد سازه بهبود خواهد یافت؛ بنابراین بر اساس یک مدل عددی انتخاب شده در این پژوهش و بررسی آن در حالت‌های مختلف چینش میان‌قاب در طبقه همکف می‌توان اظهار داشت ساختمان‌هایی که اخیراً در این مناطق بر اساس ضوابط لرزه‌ای طراحی و اجرا می‌گردند، رفتار مناسبی را در مقابل زلزله خواهند داشت. در این پژوهش، کلیه نتایج به‌دست آمده بر اساس یک ساختمان شش طبقه مدل‌سازی عددی شده به دست آمده است؛ بنابراین پیشنهاد می‌گردد، مطابق با

نسبت سختی جانبی طبقات، شکل مودی، توزیع جابه‌جایی نسبی در کل سازه در ناحیه غیرخطی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل مدال نشان می‌دهد که اضافه کردن میان‌قاب به کل سازه باعث تغییر راستای مد اول از راستای طولی به عرضی شده و دوره تناوب جانبی سازه را نسبت به حالت بدون میان‌قاب حدود ۷۰ درصد کاهش می‌دهد. حذف میان‌قاب در طبقه همکف باعث شده تا شکل مدی مشابه با رفتار سازه با طبقه نرم گردد و دوره تناوب سازه نسبت به حالتی که همه طبقات میان‌قاب دارند، حدود ۴۵ درصد افزایش یابد که می‌تواند باعث کاهش انرژی ورودی زلزله گردد. در صورت توزیع نامتقارن میان‌قاب‌ها در دو راستا، دوره تناوب‌های مد اول و دوم در برخی حالت‌ها حدود ۳۴ درصد با یکدیگر تفاوت خواهند داشت. همچنین توزیع نامتقارن میان‌قاب‌ها باعث شده تا شکل مدی برای هر مد، در هر دو راستا فعال گردد.

نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی نشان می‌دهد که هریک از سناریوهای چینش میان‌قاب در طبقه همکف، رفتارهای متفاوتی را از خود نشان می‌دهد. در سازه‌ای که تمام طبقات آن دارای میان‌قاب است به دلیل تمرکز تغییر مکان‌ها در طبقات میانی، در شدت‌های بالای زلزله سازه باربری خود را از دست خواهد داد و دچار فروریزش می‌گردد اما در حالتی که میان‌قاب تنها در طبقه همکف حذف شده باشد، می‌توان اظهار داشت با وجود آنکه بر اساس سختی جانبی طبقات در ناحیه خطی و شکل مدی مربوط با آن، طبقه نرم در سازه تشکیل می‌شود اما نحوه توزیع بیشینه جابه‌جایی طبقات در شدت بالای زلزله و ناحیه غیرخطی چنین نتیجه‌ای را نشان نمی‌دهد؛ زیرا سختی میان‌قاب‌ها در جابه‌جایی کوچک از بین می‌رود و نیز سازه بر اساس ضوابط لرزه‌ای طراحی شده و ارتفاع طبقه همکف آن نسبت به سایر طبقات کمتر است، بر اساس توزیع جابه‌جایی نسبی و خسارت در طبقات، سازه رفتاری مابین سیستم قاب خمشی و ساختمان دارای طبقه نرم دارد. خسارت در این حالت به‌طور نسبتاً یکسان در همه طبقات توزیع می‌گردد و میانگین بیشینه تغییر مکان جانبی نسبی طبقات در شدت بالای زلزله در محدوده ۵/۵ درصد

9. Agha Beigi, H., Christopoulos, C., Sullivan, T., and Calvi, M. (2015). Seismic response of a case study soft story frame retrofitted using a GIB system. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **44**(7), 997-1014.
10. Oinam, R.M. and Sahoo, D.R. (2019) Using metallic dampers to improve seismic performance of soft-story RC frames: Experimental and numerical study. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, **33**(1), 04018108.
11. Benavent-Climent, A. and Mota-Páez, S. (2017) Earthquake retrofitting of R/C frames with soft first story using hysteretic dampers: Energy-based design method and evaluation. *Engineering Structures*, **137**, 19-32.
12. Arnold, C. (1984) Soft First Stories: Truths and Myths. *Proc. Eighth World Conf. Earthq. Eng.*, **5**, 943-50.
13. Ruiz, S.E., Santos-Santiago, M.A., Bojórquez, E., Orellana, M.A., Valenzuela-Beltrán, F., Bojórquez, J., and Barraza, M. (2021). BRB retrofit of mid-rise soft-first-story RC moment-frame buildings with masonry infill in upper stories. *Journal of Building Engineering*, **38**, 101783.
14. Mucedero, G., Perrone, D., and Monteiro, R. (2021) Nonlinear static characterisation of masonry-infilled RC building portfolios accounting for variability of infill properties. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **19**(6), 2597-2641.
15. Furtado, A., Rodrigues, H., and Arêde, A. (2021) Experimental and numerical assessment of confined infill walls with openings and textile-reinforced mortar. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **151**, 106960.
16. Wang, F., Zhao, K., Zhang, J., and Yan, K. (2021) Influence of Different Types of Infill Walls on the Hysteretic Performance of reinforced concrete frames. *Buildings*, **11**(7), 310.
17. Permanent Committee for Revising the Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings (2015) *Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Standard No. 2800. 4th ed.* Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran (in Persian).

نتایج آماری به دست آمده در این پژوهش جهت صحت مطالب بیان شده، نقش میان قاب‌ها از دیدگاه تشکیل طبقه نرم در ساختمان‌هایی که بر اساس ضوابط لرزه‌ای طراحی شده‌اند، در مطالعات عددی، آزمایشگاهی و یا مشاهدات میدانی مانند زلزله کرمانشاه مورد ارزیابی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از شهرداری مناطق ۹ و ۱۱، بابت همکاری در ارائه مشخصات آماری ساختمان‌های مسکونی نوساز ابراز می‌دارند.

مراجع

1. Comerio, M.C. (1995) *Northridge Housing Losses: a Study for the California Governor's Office of Emergency Services*. Center for Environmental Design Research, University of California at Berkeley.
2. Dolšek, M. and Fajfar, P. (2001) Soft story effects in uniformly infilled reinforced concrete frames. *J. Earthq. Eng.*, **5**(01), 1-12.
3. Oinam, R.M., Sahoo, D.R., and Sindhu, R. (2014) Cyclic response of Non-ductile rc frame with steel fibers at Beam-Column joints and plastic hinge regions. *J. Earthq. Eng.*, **18**(6), 908-928.
4. Hengesh, J.V., Lettis, W.R., Saikia, C.K., Thio, H.K., Ichinose, G.A., Bodin, P., et al. (2002) *Bhuj, India Earthquake of January 26, 2001- Reconnaissance Report 2002*.
5. Winslow, F. (2005) *Personal Communication, City of San Jose, April 14*.
6. Cimino, B. (2005) *Personal Communication. City of Palo Alto, April 22*.
7. Vasheghani Farahani, J., Zare, M., and Lucas, C. (2012). Adaptive neuro-fuzzy inference systems for semi-automatic discrimination between seismic events: a study in Tehran region. *Journal of Seismology*, **16**(2), 291-303.
8. Ashtari, M., Hatzfeld, D., and Kamalian, N. (2005) Microseismicity in the region of Tehran. *Tectonophysics*, **395**(3-4), 193-208.

29. Nicola, T., Leandro, C., Guido, C., and Enrico, S. (2015) Masonry infilled frame structures: state-of-the-art review of numerical modelling. *Earthquakes and Structures*, **8**(3), 733-759.
30. Bertoldi, S.H., Decanini, L.D., and Gavarini, C. (1993) Telai tamponati soggetti ad azioni sismiche un modelo semplificato confronto sperimentale e numerico. *6th Convegno Naz L'Ingegneria Sismica Ital*, **6**, 815-824 (in Italian).
31. Smith, B.S. (1967) Methods for predicting the lateral stiffness and strength of multi-storey infilled frames. *Building Science*, **2**(3), 247-257.
32. Liberatore, L. and Decanini, L.D. (2011) Effect of infills on the seismic response of high-rise RC buildings designed as bare according to Eurocode 8. *Ingegneria Sismica*, **3**, 7-23.
33. Noh, N.M., Liberatore, L., Mollaioli, F., and Tesfamariam, S. (2017) Modelling of masonry infilled RC frames subjected to cyclic loads: State of the art review and modelling with OpenSees. *Engineering Structures*, **150**, 599-621.
34. Stylianidis, K.C. (2012) Experimental investigation of masonry infilled R/C frames. *The Open Construction and Building Technology Journal*, **6**(1), 194-212.
35. Kostinakis, K.G., Athanatopoulou, A.M., and Avramidis, I.E. (2012) Orientation effects of horizontal seismic components on longitudinal reinforcement in R/C frame elements. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **12**(1), 1-10.
36. Athanatopoulou, A.M. (2005) Critical orientation of three correlated seismic Components. *Engineering Structures*, **27**(2), 301-312.
37. McKay, M.D., Beckman, R.J., and Conover, W.J. (2000) A comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code. *Technometrics*, **42**(1), 55-61.
38. Kostinakis, K. and Athanatopoulou, A. (2016) Incremental dynamic analysis applied to assessment of structure-specific earthquake IMs in 3D R/C buildings. *Engineering Structures*, **125**, 300-312.
18. FEMA-74 (2010) *Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage- A Practical Guide (Fourth Edition)*.
19. Abbasnejadfar, M., Khanmohammadi, M., and Marefat, M.S. (2014) Investigating The Effect of Non-Structural Hollow Clay Tile Walls on Seismic Performance of Residential Buildings. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran (in persian).
20. EN, C. (2005) 1-1 Eurocode 6–Design of masonry structures–Part 1-1: general rules for reinforced and unreinforced masonry structures. *European Committee for Standardization, Brussels*.
21. Vukazich, S.M., Selvaduray, G., and Tran, J. (2006) Conducting a soft first-story multifamily dwelling survey: An example using Santa Clara County, California. *Earthquake Spectra*, **22**(4), 1063-1079.
22. Lagaros, N.D. (2010) Multicomponent incremental dynamic analysis considering variable incident angle. *Structure and Infrastructure Engineering*, **6**(1-2), 77-94.
23. MacRae, G.A. and Tagawa, H. (2001) Seismic behavior of 3D steel moment frame with biaxial columns. *Journal of Structural Engineering*, **127**(5), 490-497.
24. Mander, J.B., Priestley, M.J., and Park, R. (1988) Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering*, **114**(8), 1804-1826.
25. Yassin, M.H.M. (1994) *Nonlinear Analysis of Prestressed Concrete Structures under Monotonic and Cyclic Loads*. University of California, Berkeley.
26. Shafaei, J., Zareian, M.S., Hosseini, A., and Marefat, M.S. (2014) Effects of joint flexibility on lateral response of reinforced concrete frames. *Engineering Structures*, **81**, 412-431.
27. Thiruvengadam, V. (1985) On the natural frequencies of infilled frames. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **13**(3), 401-419.
28. Crisafulli, F.J. (1997) Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills.

واژه‌نامه

American Society of Civil Engineers (ASCE)	۱- انجمن مهندسی عمران آمریکا
geomTransf	۲- تبدیل هندسی
Latin Hypercube Sampling (LHS)	۳- نمونه برداری فوق مکعب لاتین
Uncorrelated	۴- غیر وابسته
Square Root of the Sum of the Squares	۵- جذر مجموع مربعات

Role of Infills in Typical Buildings with Seismic Design and Three-Dimensional Modeling

Soroush Nodehi¹ and Seyed Mehdi Zahrai^{2*}

1. M.Sc. Graduate, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Professor, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran,
*Corresponding Author, email: mzahrai@ut.ac.ir

Statistical collection of existing buildings, especially in Tehran, and their classification can be a great help in identifying crisis management in order to reduce earthquake damage. Modern architecture is widely used due to its economical and practical benefits. In this architecture, the infills on the ground floor are generally removed. In Iran, most infills are constructed in such a way that they are connected to the corner of the frame by bricks, mortar, and other elements. For this reason, they are considered structural elements and will affect the lateral stiffness and lateral strength of the structure. Many studies have been conducted on buildings with this style of architecture designed based on gravity loads, which show their poor performance due to the formation of the soft story. In this study, first, statistical information is collected from recently built buildings in regions No. 9 and 11 of Tehran that are designed and constructed based on seismic criteria and are classified based on the reasons for the formation of the soft stories. Most of the buildings in these regions are RC moment-frame structures and have 6-8 stories and 2-3 bays in each direction. The first story in these buildings is used as parking. Therefore, assuming the correct constructions, the factor of removing the infills on the ground floor can cause the formation of a soft story in these structures.

Next, a six-story concrete building with similar architecture in accordance with the results of statistical studies, is modeled in a three-dimensional mode in the OpenSees to evaluate the seismic behavior of the structure in different scenarios of infills arrangement on the ground floor and earthquake at different angles. To better cover all angles and reduce analysis costs, through the LHS sampling method, the selected angle for analysis is determined. Due to the lack of laboratory studies in three-dimensional mode and the importance of the axial-flexural interaction in the column in this research, structural modeling in this study was considered through the fiber model. The model of two compression struts placed diagonally in the panel is used to model the infills, and the numerical modeling is verified with experimental research.

In this research, the probable formation of the soft story is evaluated based on three criteria: the ratio of the lateral linear stiffness of the stories, mode shapes, and distribution of the nonlinear lateral drift of the stories. The linear analysis results show that because these infills have high initial linear stiffness, the mode shape and lateral linear stiffness of these buildings are like soft-story buildings. However, the results of the nonlinear dynamic analysis show that since these structures are designed based on seismic criteria and the height of the ground floor is smaller than others, the infills have low ductility. Therefore, the removal of infills in this story does not necessarily lead to a soft story and instead can improve the performance of the structure by uniformly distributing damage across all floors. On the other hand, in the case that infills are evenly distributed in all floors, the behavior of the structure is similar to the moment frame and the damage is concentrated in the middle stories. This type of infill distribution increases the lateral stiffness and reduces the capacity of the structure. Therefore, it has even poor performance in comparison with building without infills in the first story. Also, different scenarios of infill arrangements on the ground floor change the behavior of the structure. Applying earthquakes at different angles indicates the building will experience varied behavior at each angle so that for some angles the building even collapses while for others not. Therefore, according to the numerical results, this modeling and analysis method will help show the actual behavior of the structure during an earthquake to prepare capacity curves for design.

Keywords: Statistical Studies, Soft Story, Infill, OpenSees, Three-Dimensional Nonlinear Analysis.