

چکیده

رکوردهای ثبت شده از زمین لرزه‌های اخیر نشان می‌دهد که زلزله‌های حوزه نزدیک دارای ویژگی‌های متفاوتی نسبت به زلزله‌های حوزه دور هستند. مهم‌ترین خصوصیات متمایزکننده‌ی جنبش‌های حوزه نزدیک، تولید پالس‌هایی به علت اثر جهت‌پذیری و اثر تغییر مکان ماندگار است. لذا لزوم مطالعه چنین اثراتی روی سازه‌ها ضروری است. در این تحقیق ابتدا مدل ریاضی ارائه شده مطابق نتایج آزمایش‌های صورت گرفته صحت‌سنجی شده است. در ادامه به منظور مطالعه رفتار لرزه‌ای غیرخطی دیوارهای پیش‌ساخته پس کشیده بتنی (PT-PCW)، تحلیل دینامیکی غیرخطی روی سازه‌های شش طبقه تحت شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک انجام شده است. همچنین میزان تأثیر افزایش ارتفاع محصورشدگی پایه‌های دیوار بر روی عملکرد خودمركزی و استهلاک انرژی نیز با انجام تحلیل دینامیکی مورد ارزیابی قرار گرفته است. هر یک از شتاب‌نگاشت‌ها به دو سطح زلزله طراحی (DBE) و بزرگ‌ترین زلزله در نظر گرفته شده (MCE) مقیاس شده و در تحلیل به کار گرفته شده‌اند. تحلیل‌های انجام گرفته بیانگر عملکرد مطلوب سیستم دیوارهای پیش‌ساخته بتنی به‌ازای زمین‌لرزه‌های سطح زلزله طراحی است، به طوری که در انتهای بارگذاری لرزه‌ای، سیستم دچار هیچ‌گونه خرابی سازه‌ای نشده و تغییر مکان جانبی باقی‌مانده در دیوار ناچیز است. نتایج همچنین نشان می‌دهند که افزایش ارتفاع محصورشدگی پای دیوار به مقداری بیش از حداقل تعیین شده در آئین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای موجب ارتقاء رفتار لرزه‌ای در محدوده زلزله بزرگ‌ترین زلزله در نظر گرفته شده و ضریب اطمینان سیستم در برابر واژگونی را افزایش می‌دهد. در این تحقیق همچنین مشخص شد که استفاده از کابل‌های پس کشیده در نواحی مرزی دیوار به‌عنوان عامل استهلاک انرژی تأثیر قابل توجهی در بهبود عملکرد جذب انرژی سیستم ندارد و تغییر شکل‌های کوچک ایجاد شده در این اعضا موجب می‌شود که استهلاک انرژی از طریق خرد شدن بتن در ناحیه فشاری دیوار انجام شود.

واژگان کلیدی: بتن مسلح، دیوار پیش‌ساخته، پس کشیدگی، تحلیل دینامیکی غیرخطی، استهلاک انرژی، محصورشدگی.

عملکرد دیوارهای غیر متصل بتنی پیش‌ساخته پس کشیده تحت زلزله حوزه نزدیک

زهرا قاسمی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گرایش سازه، گروه مهندسی عمران،
دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

جواد مکاری رحمدل (نویسنده مسئول)

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران،
j.mokari@uut.ac.ir

عرفان شافعی

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

۱- مقدمه

بوده به طوری که ساختمان‌های با اهمیت متوسط در اثر زلزله طرح، آسیب عمده سازه‌ای و غیر سازه‌ای نینند و تلفات جانی در آنها حداقل باشد. این رویکرد با خرابی‌های سازه‌ای قابل توجهی همراه است که در بسیاری از موارد تعمیر این خرابی‌ها حتی اگر از نقطه‌نظر مهندسی امکان‌پذیر باشد،

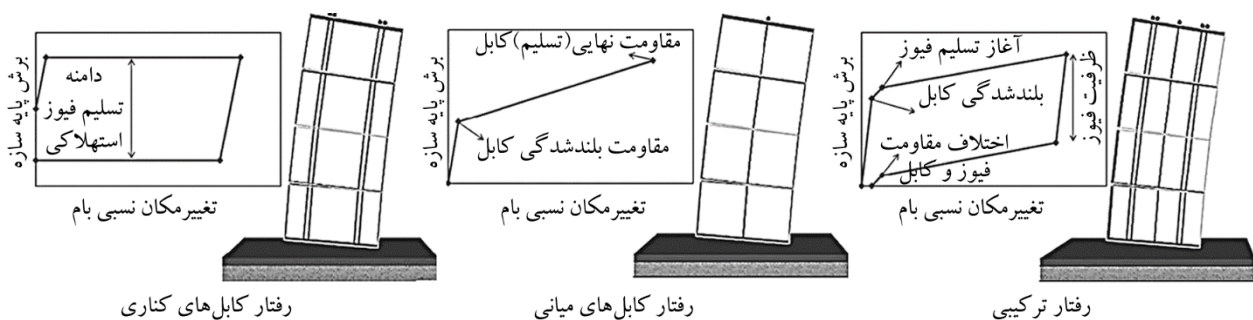
آیین‌نامه‌های متداول طراحی سازه‌ها بر روی عملکرد ایمنی جانی تمرکز کرده و تا کنون تمهیدات روشنی برای محدود کردن خرابی در اعضای کلیدی سازه‌ای ذکر نکرده‌اند. مطابق متن استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۱] هدف تعیین حداقل ضوابط و مقررات برای طرح و اجرای ساختمان‌ها در برابر نیروهای زلزله

پس کشیدگی بر اساس حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی ۲/۵ درصد به شرط باقی ماندن در محدود ارتجاعی بوده است. نتایج به دست آمده از این آزمایش عملکرد چرخه‌ای مطلوب سیستم را تأیید کرده و به‌ازای تغییر مکان‌های جانبی نسبی کمتر از ۳ درصد هیچ افت مقاومتی در سیستم مشاهده نشده است. همچنین خرابی بتن نیز محدود به طرفین پای دیوار و به‌صورت پکیدی فشاری در این قسمت بود. کوراما و همکاران [۶] مطالعه‌ای در مورد رفتار سیستم دیوارهای پیش‌ساخته پس‌کشیده انجام داده و طبق نتایج با طراحی این سیستم‌ها بر اساس تغییر مکان (DBD) می‌توان تغییر مکان‌های بزرگ غیرخطی تحت بارگذاری جانبی را با کمترین خسارت جذب کرد. کوراما [۷] تأثیر استفاده از میراگرهای لزج بر عملکرد دیوارهای بتنی پیش‌ساخته را مورد مطالعه قرار داد. مشکل این سازه‌ها میزان پایین استهلاک انرژی بود که استفاده از میراگر می‌توانست این قابلیت را بهبود بخشد. مطابق نتایج به دست آمده از این مطالعه، استفاده از میراگرهای لزج علاوه بر کاهش تغییر مکان جانبی نسبی سازه تأثیر منفی بر عملکرد خودمركزی سیستم نمی‌گذارد. پرز و همکاران [۸] پانل‌های پیش‌ساخته پس‌کشیده بتنی همراه با بست‌های میانی را تحت بارگذاری چرخه‌ای مورد بررسی قرار دادند که بر اساس نتایج به دست آمده، علیرغم حرکت صلب هر کدام یک از پایه‌های دیوار، رفتار کل سازه شکل‌پذیر بوده و عملکرد آنها از سختی و مقاومت بالاتری نسبت به حالت مشابه دیوار تکی برخوردار است. آلتی و سریتاران [۹] روش تحلیلی ساده برای توصیف رفتار این نوع سازه‌ها به همراه یک صحت‌سنجی برای روش با استفاده از نتایج آزمایشگاهی انجام دادند.

بسیار پرهزینه بوده و توجیه اقتصادی نخواهد داشت. از سویی عملکرد سیستم‌های باربر جانبی متداول به گونه‌ای است که تحت زلزله‌هایی با بزرگی زلزله‌ی سطح طراحی، تغییر شکل‌های ماندگار قابل توجهی را در اعضای سازه‌ای خود تجربه می‌کنند [۲].

در سال‌های اخیر با هدف کاهش خرابی‌های سازه‌ای و نیز انتقال این خرابی‌ها به سمت اعضای قابل تعویض، استفاده از سیستم دیوارهای بتنی پیش‌ساخته مجهز به کابل‌های پس‌کشیده (PCW) [۳] مورد توجه قرار گرفته است. سیستم دیوارهای بتنی پیش‌ساخته پانل‌های بتنی بوده که بدون اتصال روی یکدیگر قرار گرفته و از طریق کابل‌های پس‌کشیده‌ای که از درون غلاف‌های موجود در این بلوک‌ها عبور کرده‌اند (PT) به پی متصل می‌شوند. کابل‌های پس‌کشیده متصل بین بالای دیوار و پی وظیفه بازگرداندن دیوار دوران یافته را به وضعیت بدون تغییر شکل بر عهده دارند و همچنین انرژی لرزه‌ای نیز از طریق فیوزهای قابل تعویض مستهلک می‌شود [۴]. در این تحقیق از دو دسته کابل، شامل کابل‌های میانی برای تأمین عملکرد خودمركزی و کابل‌های کناری برای تأمین عملکرد استهلاک انرژی استفاده شده است. کابل‌های کناری به گونه‌ای طراحی می‌شوند که حین دوران دیوار وارد ناحیه غیرخطی خمیری شده و انرژی لرزه‌ای وارد بر سیستم را جذب کنند [۵]. نمودار بار و تغییر مکان این سیستم برای ترکیب اجزای مذکور در شکل (۱) نشان داده شده است.

رحمان و رستریو [۵] سه دیوار بتنی پیش‌ساخته مقیاس شده را تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار دادند. طراحی کابل‌های



شکل (۱): رفتار بار - تغییر مکان دیوار پیش‌ساخته پس‌کشیده.

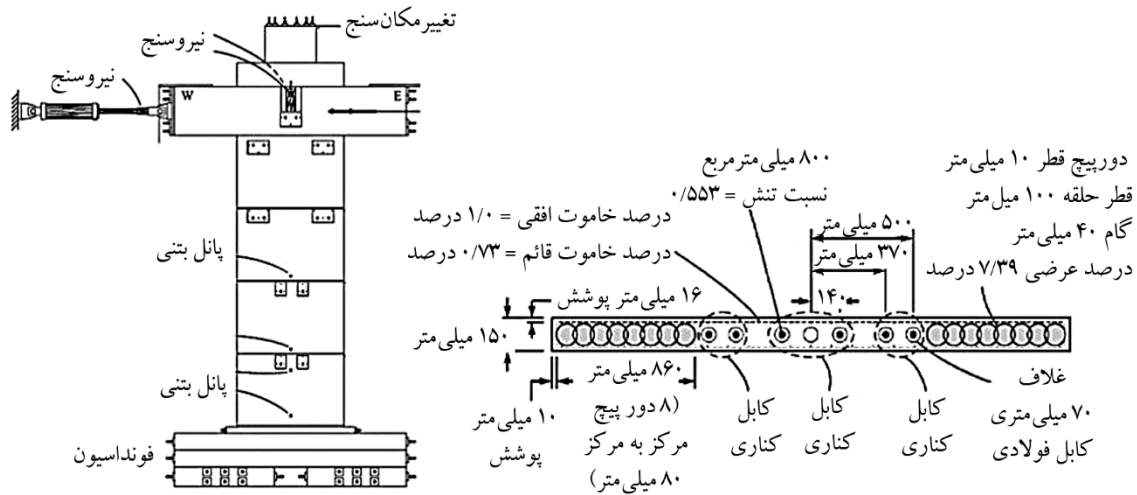
غیرمقید انجام دادند. هدف از این مطالعه ارزیابی دقت پارامترهای طراحی ارائه شده توسط استانداردهای مختلف بین‌المللی و مقاومت خمشی درون صفحه‌ای پیش‌بینی شده توسط محققان، با استفاده از نتایج آزمایشگاهی بود. مهم‌ترین نتیجه تحقیق آنان این بود که اگرچه روابط فراهم شده در آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌های بتنی در آمریکا، نیوزلند و استرالیا برای محاسبه‌ی تنش کابل‌های پس‌کشیده برای اعضای تیری توسعه یافته‌اند؛ اما به‌دقت می‌تواند مقاومت دیوارهای پیش‌ساخته‌ی پس‌کشیده را نیز پیش‌بینی کنند. خان‌محمدی و حیدری [۱۷] مطالعه‌ای عددی را تحت عنوان بهبود رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های دارای دیوار برشی بتن مسلح با استفاده از سیستم‌های گهواره‌ای چندگانه انجام دادند. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر استفاده از سیستم گهواره‌ای چندگانه در ارتفاع ساختمان بود. نتایج حاصله نشان داد، دیوارهایی که کابل‌های پس‌کشیده و فیوزهای استهلاک انرژی هرکدام به ترتیب در فاصله ۵۰ درصد و ۹۰ درصد فاصله از محور مرکزی دیوار قرار داده شده بودند نسبت به حالت‌های دیگر عملکرد بهتری داشتند. زیبایی و مکاری [۱۸] مطالعه روی بهبود رفتار لرزه‌ای قاب‌های خمشی با افزودن دیوارهای پای مفصلی را ارائه کردند. نتیجه تحقیق آنها توزیع یکنواخت تغییر مکان نسبی در ارتفاع سازه و همچنین کمک به تشکیل مفاصل بیشتر در ارتفاع سازه در مدل با دیوار پای مفصلی را نشان داد.

۲- اهمیت موضوع و هدف

بر اساس مطالعات انجام شده در این زمینه به‌خوبی می‌توان دریافت که پاسخ این نوع سیستم‌ها در برابر بارهای استاتیکی یکنواخت و چرخه‌ای انجام شده و تحلیل‌های دینامیکی محدود به زلزله‌های حوزه دور است. از آنجا که خصوصیات زلزله هم به لحاظ دامنه و هم محتوای فرکانسی برای ساختگاه‌ها در فواصل نزدیک به چشمه لرزه‌خیز و دور از آن متفاوت است و از طرفی استاندارد ۲۸۰۰ ایران اثرات حوزه نزدیک گسل را در بارگذاری لحاظ نکرده، لذا می‌توان هدف و اهمیت تحقیق حاضر

نتایج نشان داد که روش تحلیل پیشنهادی قادر است به‌درستی عمق تار خشی، تغییر طول در کابل‌های پس‌کشیده و تغییر شکل متصل‌کننده‌های استفاده شده در میان دیوارها را به‌عنوان تابعی از تغییر مکان جانبی نسبی مشخص کند. در ادامه احمد و همکاران [۱۰] تحقیقی بر اساس مقاومت در برابر شار حرارتی و آتش‌سوزی ارائه داده‌اند که بر اساس نتایج به‌دست آمده این نوع از سیستم‌های سازه‌ای در صورت رعایت پوشش‌دهی کابل‌های مرکزگرا و همچنین جزئیات ساخت خاص مقاومت قابل توجهی در برابر آتش‌سوزی از خود نشان می‌دهند. لو و وو [۱۱] تحقیقی با عنوان آزمایش میز لرزه سیستم دیوارهای پیش‌ساخته بتنی پس‌کشیده انجام دادند که نتایج حاصل عبارت بودند از حاکمیت مود گسیختگی پکیدگی بتن فشاری در پنجه‌های دیوار، نیاز به تأمین آرماتورهای محصورکنندگی در نواحی خرابی و قابلیت افزایش تغییر مکان جانبی نسبی در صورت مهار تسلیم‌شدگی کابل‌ها.

بلری و همکاران [۱۲] تحقیقی با عنوان مشخصه‌سازی رفتار دینامیکی دیوارهای طره‌ای بتنی پیش‌ساخته انجام داده و فرکانس حاکم بر رفتار گهواره‌ای این سیستم‌ها را برای حالات خاص طراحی استخراج کردند. پوئیسیری و همکاران [۱۳] اثر الیاف پلی‌اورتان و شبکه‌های سیمی بافته شده را بر روی رفتار دیوارهای پیش‌ساخته بتنی در مقابل آتش‌سوزی را بررسی و نتایجی از قبیل ارائه نسبت بهینه مقاوم و همچنین آرایش مصالح ارائه کردند. واقعی و همکاران [۱۴] توانستند نوعی اتصال جدید برای جلوگیری از لغزش احتمالی پانل‌های دیوارها تحت بارگذاری چرخه‌ای ارائه داده و رفتار آن را برای دامنه‌های بزرگ تحریک بررسی کنند. در نهایت نظری و همکاران [۱۵] تحقیقی بر مبنای آزمایش میز لرزه دیوارهای بتنی پیش‌ساخته انجام داده‌اند که اثرات متغیرهایی چون قطر کابل و تنش پس‌کشیدگی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج حاکی از مقدار بهینه نیروی کابل برای تأمین شکل‌پذیری و کنترل خرابی بوده است. حسنی و همکاران [۱۶] مطالعه‌ای تحت عنوان رفتار نیرو - تغییر مکان دیوارهای بتنی مجهز به کابل‌های پس‌کشیده‌ی

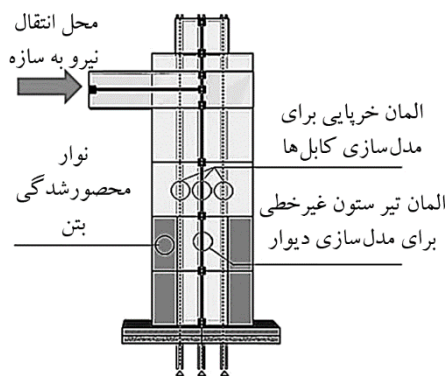


سیستم بارگذاری نمونه آزمایشگاهی

مقطع دیوار دارای نواحی کناری محصور شده با دورپیچ

شکل (۲): هندسه و جزئیات مقطع عرضی دیوار آزمایش شده توسط پرز و همکاران [۸].

ارتفاع ۹/۹۱ متر و دهانه ۲/۵۴ متر است که از شش پانل پیش ساخته هر کدام به ارتفاع ۱/۶۵ متر تشکیل شده است. محصورشدگی بتن در دو پانل زیرین با ارتفاع ۳/۳ متر با استفاده از دورپیچ تأمین شده است. برای سایر پانل‌ها نیز از حداقل آرماتور طولی مجاز استفاده شده است. شمای کلی مدل عددی مدنظر در شکل (۳) نشان داده شده است. بارگذاری ثقلی وزن پانل‌ها و کف‌ها به صورت نیرویی وارد می‌شود.



شکل (۳): شمای کلی مدل عددی دیوار پیش ساخته پس کشیده.

برای شبیه‌سازی پانل‌های بتنی از المان‌های تیرستون غیرخطی با اختصاص خواص رفتاری Concrete01 استفاده شده که مقطع آنها به صورت فایبری گسسته‌سازی شده است. مقاومت فشاری و کرنش نهایی بتن محصور شده به ترتیب برابر

را به صورت بررسی رفتار دینامیکی و پایداری این نوع از سیستم‌ها در برابر زلزله‌های حوزه نزدیک با دو سطح خطر طراحی (DBE) و بزرگ‌ترین زلزله در نظر گرفته شده (MCE) بیان کرد. نتایج حاصل می‌تواند قابلیت بهره‌برداری از دیوارهای پیش ساخته پس کشیده را برای استهلاک انرژی زلزله با شرط حفظ پایداری و قابلیت استفاده پس از وقوع زمین لرزه را توجیه و تفسیر کند. روش انجام تحقیق حاضر به صورت ارائه مدل عددی غیرخطی و تصدیق آن بر اساس نتایج آزمایشگاهی بوده که در ادامه به توسعه و استخراج نتایج برای زلزله‌های حوزه نزدیک پرداخته می‌شود.

۳- شبیه‌سازی و تحلیل عددی

۳-۱- صحت‌سنجی مطالعه‌ی مرجع

جهت تحلیل رفتار دیوارهای بتنی پیش ساخته پس کشیده، نمونه آزمایشگاهی پرز و همکاران [۸] در محیط OpenSees [۱۹] با استفاده از مدل‌های رفتاری غیرخطی هندسی و مصالح شبیه‌سازی شده است. نتایج تحلیل عددی بر اساس خروجی‌های آزمایش مورد بررسی و تصدیق قرار می‌گیرد. مشخصات هندسی مدل انتخابی آزمایشگاهی و نمای سیستم بارگذاری در شکل (۲) نشان داده شده است. نمونه شامل دیوار شش طبقه به

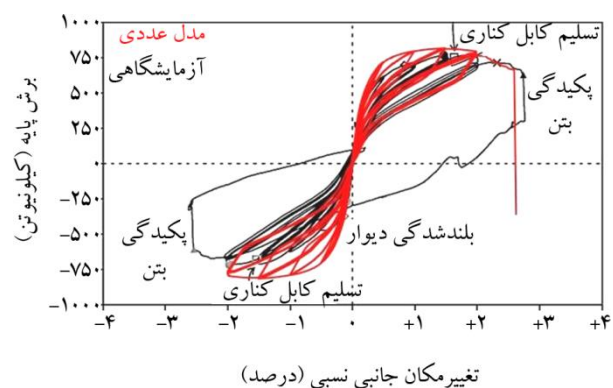
آزمایشگاهی و نتایج حاصل از تحلیل عددی حاضر را برای منحنی بار- تغییر مکان و نیروی داخلی کابل مستهلک‌کننده کناری را برحسب تغییر مکان جانبی نسبی نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل‌ها قابل مشاهده است پاسخ مدل تحلیلی انطباق قابل قبولی از نظر صحت و دقت با نتایج آزمایشگاهی دارد. این انطباق به‌خصوص در تخمین نقطه شکست سازه به‌صورت پکیدگی فشاری بتن به‌خوبی قابل مشاهده است. مقدار خطای محاسباتی نسبی منحنی بار- تغییر مکان $3/2$ درصد برای نقطه مقاومت حداکثر و $0/9$ درصد برای نقطه شکست به دست آمده است. همچنین انطباق نتایج آزمایش و تحلیل عددی برای منحنی نیروی داخلی کابل در لحظه شکست برابر با $1/7$ درصد است.

۳-۲- عملکرد لرزه‌ای تحت زلزله‌های حوزه نزدیک

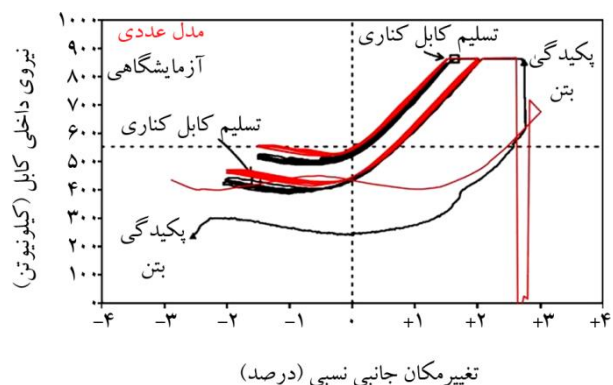
جهت مطالعه رفتار لرزه‌ای سیستم دیوار پیش‌ساخته پس‌کشیده در قالب یک ساختمان و توسعه نتایج به دست آمده برای حالات بارگذاری دینامیکی زلزله حوزه نزدیک، در این قسمت سازه شش طبقه طراحی شده توسط کوراما و همکاران [۳] مورد بررسی قرار می‌گیرد. سازه دارای مشخصات طول پلان $58/4$ متری و عرض $34/5$ متری بوده و بارگذاری مرده به‌شدت $5/7$ کیلونیوتن بر مترمربع و زنده به شدت $2/8$ کیلونیوتن بر مترمربع دارد. سازه در جهت طولی دارای سیستم باربر جانبی دیوار برشی متوسط گیردار و در جهت عرضی دارای پنج محور دیوار پیش‌ساخته پس‌کشیده با آرایش زوج پایه است. جزئیات پلان مورد بررسی و آرایش سیستم در شکل (۶) نشان داده شده است. مقاطع عرضی دیوارهای پیش‌ساخته پس‌کشیده دارای حداقل آرماتور طولی برابر با $0/4$ درصد مطابق آیین‌نامه ACI 318-14 [۲۱] است. ارتفاع طبقات $3/3$ متر بوده و در راستای مورد بررسی دارای 10 دیوار برابر لرزه‌ای است. مقطع دیوار به طول $6/1$ متر و عرض آن $0/3$ متر بوده و دارای دو بخش بتن محصورشده به طول $1/7$ متر در طرفین است. آرماتورهای محصورکننده به‌صورت دورپیچ با تنش تسلیم

با $89/5$ مگاپاسکال و $2/1$ درصد بوده و برای بتن محصور نشده مقادیر مقاومت فشاری و کرنش نهایی برابر با $55/12$ مگاپاسکال و $0/35$ درصد اندازه‌گیری شده است. کابل‌های فولادی پس‌کشیده به کمک المان‌های خرابایی با رفتار تنش-کرنش حاصل از آزمایش پرز و همکاران [۲۰] با مدول الاستیسیته 200 گیگاپاسکال، تنش تسلیم $950/8$ مگاپاسکال و کرنش نهایی 7 درصد مدل شده‌اند. پس‌کشیدگی کابل‌ها توسط کرنش اولیه اعمال شده به اندازه $55/3$ درصد کرنش تسلیم در نظر گرفته شده است. برای اعمال حد گسیختگی کابل‌ها و بتن از دستور MinMax استفاده شده است. بارگذاری نمونه به‌صورت چرخه‌ای کنترل تغییر مکان با افزایش تدریجی تغییر مکان نسبی سازه از حد $0/5$ درصد با گام‌های $0/5$ درصد و تکرار دو بار هر چرخه تا حد مقدار 3 درصد است.

شکل‌های (۴) و (۵) به ترتیب نمودار چرخه‌ای نمونه



شکل (۴): مقایسه نمودار بار- تغییر مکان چرخه‌ای آزمایشگاهی و عددی.



شکل (۵): منحنی نیروی داخلی کابل کناری در بیشترین فاصله از مرکز دیوار برای نتایج آزمایشگاهی و تحلیل عددی.

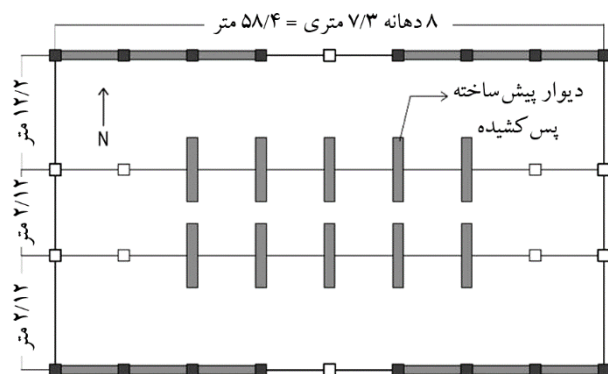
رکورد مربوط به هر کدام از این شتاب‌نگاشت‌ها از بانک اطلاعاتی PEER [۲۲] استخراج شده است. زلزله‌های مورد بررسی دارای ضرباتی در تاریخچه زمانی سرعت بوده و لذا از سطح انرژی بیشتری نسبت به زلزله‌های حوزه دور برخوردار است. شایان ذکر است که به دلیل وجود تغییرات آنی سرعت در زلزله‌های حوزه نزدیک، امکان تشکیل مفاصل پلاستیک به صورت یکنواخت در سازه‌های متداول منتفی بوده و سازه‌ها دچار خرابی‌های موضعی با شدت خسارت بالایی می‌شوند. لذا ارائه نوعی سیستم سازه‌ای که بتواند اثرات موضعی زلزله‌های حوزه نزدیک را از بین برده و منجر به باز توزیع تغییر شکل در کل سازه شود به صورت الزامات بررسی رفتار لرزه‌ای زلزله حوزه نزدیک مطرح می‌شود. بدین منظور هر کدام از زلزله‌های بم و طبس با دو مقیاس متناظر با زمین‌لرزه سطح طراحی DBE و بیشترین زمین‌لرزه در نظر گرفته شده MCE فرض شده است. بدیهی است که مطابق آئین‌نامه ASCE 41-13 [۲۳] شدت زلزله MCE به مقدار ۱/۵ برابر بزرگ‌تر از شدت زلزله DBE است که این مقدار هم در طیف استاندارد ایران و هم در مقیاس‌سازی شتاب‌نگاشت در نظر گرفته شده است. مشخصات زلزله‌ها به همراه بیشینه شتاب (PGA) مربوطه در جدول (۱) قابل مشاهده است. نام مدل‌های مورد بررسی در بحث زلزله‌های حوزه نزدیک نشان داده در شکل (۸) در جدول (۲) آمده است. اندیس ۱ مربوط به زلزله DBE و اندیس ۲ مربوط به زلزله MCE است.

جدول (۱): مشخصات شتاب‌نگاشت‌های به کار گرفته شده در تحلیل‌های تاریخچه‌ی زمانی.

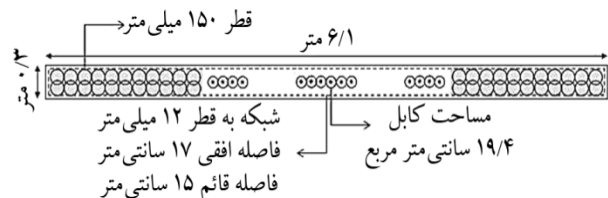
ردیف	Event	سال	موقعیت	RSN ¹	Magnitude (R)	Mechanism
۱	بم	۲۰۰۳	بم	۴۰۴۰	۶/۶	Strike-slip
۲	طبس	۱۹۷۸	طبس	۱۴۳	۷/۳۵	Reverse
۳	نورث‌ریچ	۱۹۹۴	Sylmar-Olive View	۱۰۸۶	۶/۶۹	Reverse
۴	چی چی	۱۹۹۹	TCU065	۱۵۰۳	۷/۶۲	Reverse oblique

1. Record Sequence Number, PEER [24]

۲۷۵ مگاپاسکال، قطر میلگرد ۱۰ میلی‌متر، قطر داخلی ۱۵۰ میلی‌متر و گام ۱۷۰ میلی‌متر است. آرماتورهای عرضی به صورت زوج میلگرد قطر ۱۰ میلی‌متر با فاصله ۱۵۰ میلی‌متر در کل ارتفاع دیوار است. کابل‌های دیوار به قطر ۵۰ میلی‌متر و تنش تسلیم ۱۰۲۰ مگاپاسکال با آرایش ۶ کابل میانی و ۴ کابل کناری با فاصله ۱/۳ متر از میانه دیوار قرار دارند. مقطع دیوار در شکل (۷) نشان داده شده است.

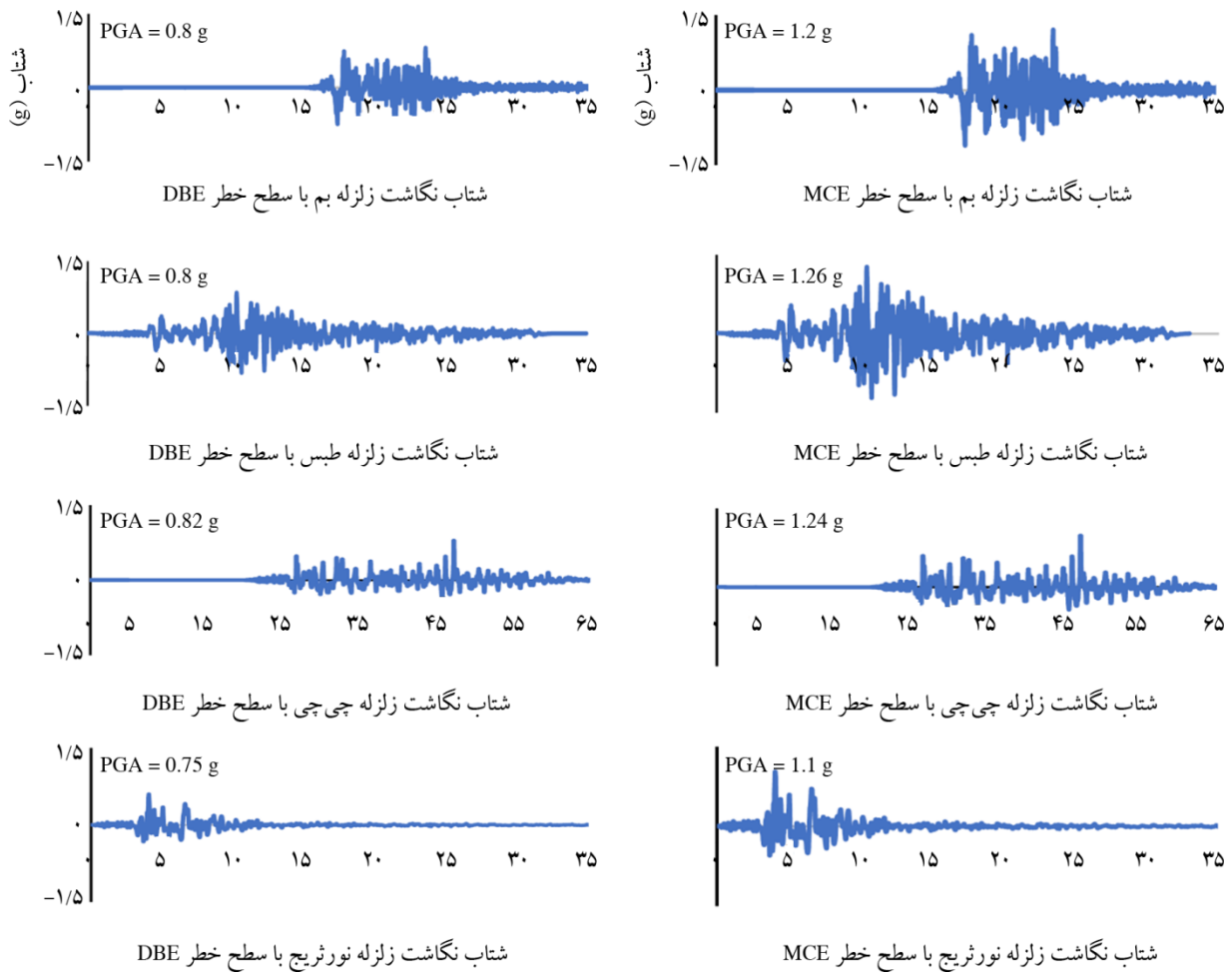


شکل (۶): پلان سازه و آرایش سیستم‌های باربر جانبی [۳].



شکل (۷): مقطع دیوار پیش ساخته پس کشیده [۳].

برای انجام تحلیل مورد نظر دینامیکی غیرخطی، جرم‌های سازه به مدل به صورت متمرکز و در تراز طبقه برابر با ۱۷۴ تن اعمال شده است که مقدار زمان تناوب مود اول سازه را برابر با ۱/۲۷ ثانیه مطابق تحقیق کوراما و همکاران [۳] به دست می‌دهد. میرایی ذاتی متناسب جرم مود اول و ۵ درصد میرایی بحرانی فرض شده است. شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک زمین‌لرزه‌های بم، طبس، چی چی و نورث‌ریچ هستند که هر کدام با استفاده از روش حداقل کردن مجموع مربعات اختلاف بین طیف زلزله و طیف آئین‌نامه بر روی طیف زلزله‌ی سطح طراحی مقیاس شده‌اند.



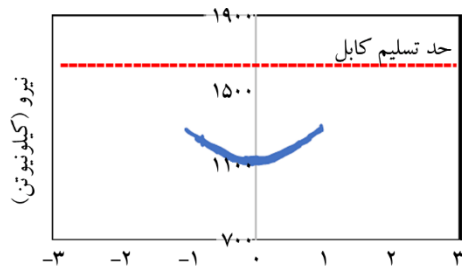
شکل (۸): شتاب نگاشت های حوزه نزدیک مقیاس شده بر اساس استاندارد ایران.

جدول (۲): مشخصات مدل های تحلیلی تحت زلزله های حوزه نزدیک.

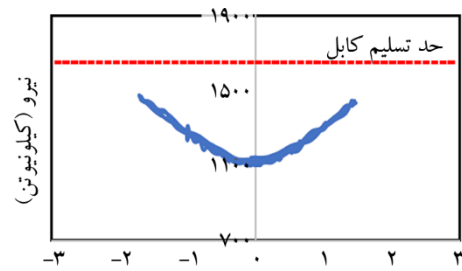
نورثریج	چی چی	طبس	بم	نام زلزله
N-1	C-1	T-1	B-1	سطح زلزله DBE
N-2	C-2	T-2	B-2	سطح زلزله MCE

با توجه به اینکه کابل های مرکزی کلیدی ترین عضو در تأمین قابلیت خود مرکزی سیستم شناخته می شوند، با وقوع تسلیم در این اعضا سیستم قابلیت بازگشت به مرکز خود را از دست داده و دچار ناپایداری شده است. این وضعیت البته برای سایر مدل ها اتفاق نیفتاده است و کابل های مرکزی در این مدل وارد ناحیه غیرخطی نشده اند. علت تفاوت در پاسخ کابل ها در چهار مدل را می توان به تفاوت در محتوای فرکانسی شتاب نگاشت های بم، طبس، نورثریج و چی چی نسبت داد.

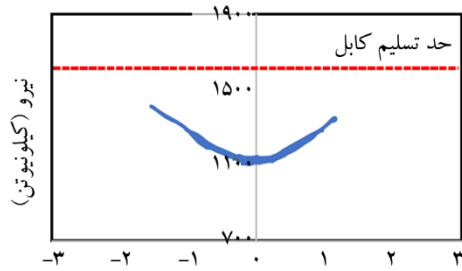
در این قسمت به نتایج و تفسیر داده های حاصل از تحلیل دیوارهای پیش ساخته پس کشیده تحت زلزله های حوزه نزدیک پرداخته می شود. شکل (۹) نشانگر پاسخ نیروی داخلی کابل های میانی بر حسب تغییر مکان جانبی است. کابل های مرکزی در هر چهار مدل B-1، T-1، C-1 و N-1 در محدوده خطی باقی مانده و هیچ گونه تغییر شکل پلاستیکی را متحمل نشده اند. با افزایش شدت زمین لرزه کابل های پس کشیده مرکزی در مدل B-2 نه تنها از حد تسلیم عبور کرده بلکه دچار گسیختگی نیز شده اند.



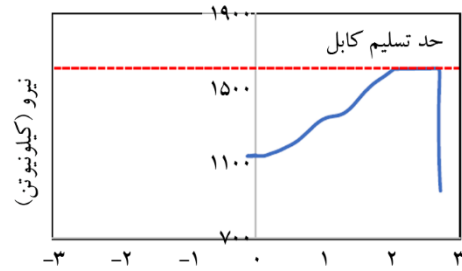
(ب) نمودار نیروی کابل مرکزی برای نمونه T-1



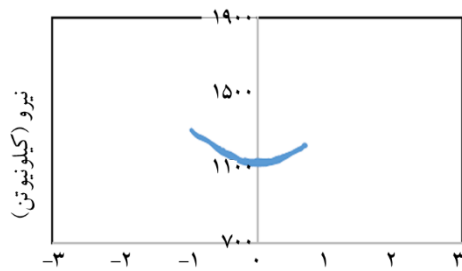
(الف) نمودار نیروی کابل مرکزی برای نمونه B-1



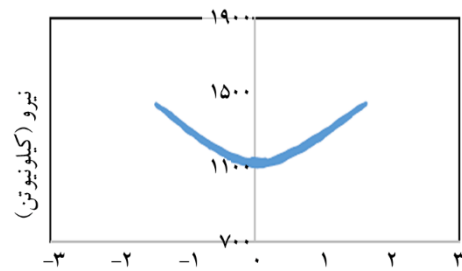
(ت) نمودار نیروی کابل مرکزی برای نمونه T-2



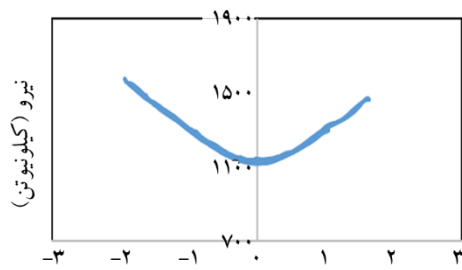
(پ) نمودار نیروی کابل مرکزی برای نمونه B-2



(ج) نمودار نیروی کابل مرکزی برای نمونه N-1

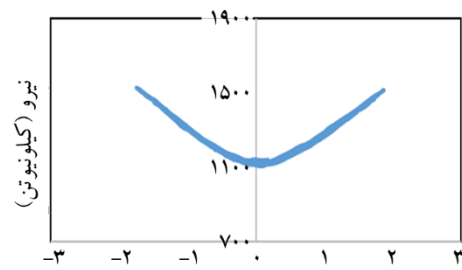


(ث) نمودار نیروی کابل مرکزی برای نمونه C-1



تغییر مکان جانبی نسبی بام (درصد)

(ح) نمودار نیروی کابل مرکزی برای نمونه N-2



تغییر مکان جانبی نسبی بام (درصد)

(چ) نمودار نیروی کابل مرکزی برای نمونه C-2

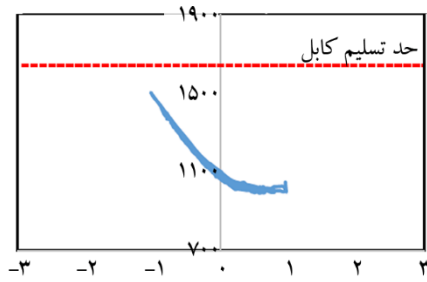
شکل (۹): پاسخ نیروی کابل‌های میانی بر حسب تغییر مکان نسبی بام برای زلزله‌های حوزه نزدیک.

پس کشیدگی کابل شده است که موجب کاهش ممان مقاوم در برابر واژگونی می‌شود. در مدل‌های T-1 و N-1 کابل وارد ناحیه غیرخطی نشده که برخلاف عملکرد مطلوب است و برای این وضعیت انرژی وارد به سیستم از طریق خرد شدن بتن در پایه فشاری دیوار جذب شده است. در مدل B-2 به علت گسیخته

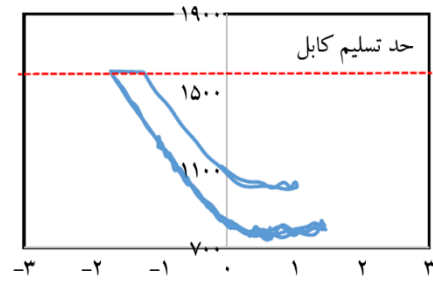
در ادامه پاسخی نیروی کابل مستهلک کننده انرژی از دسته کابل‌های کناری در شکل (۱۰) نشان داده شده است. برای مدل‌های B-1 و C-1 مطابق انتظار کابل کناری وارد ناحیه غیرخطی شده و بخشی از انرژی لرزه‌ای وارد بر سیستم را جذب کرده است. این عملکرد منجر به کاهش قابل توجه در سطح

احتمال خرابی ناگهانی بیافزاید. در مدل C-2 با وقوع تغییرشکل‌های پلاستیک در کابل‌های پس‌کشیده به دلیل افزایش طول اتفاق افتاده در این اعضا، مقدار نیروی پس‌کشیدگی اولیه‌ی اعمال شده به کابل، در هر چرخه کاهش می‌یابد.

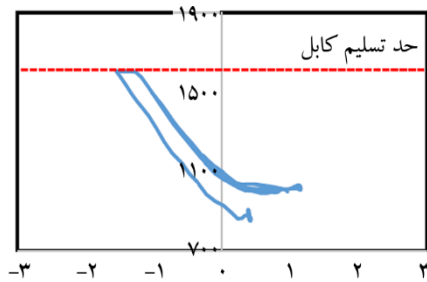
شدن کابل‌های میانی و وقوع ناپایداری در سیستم، عملکرد کابل‌های جاذب انرژی نیز تحت تأثیر قرار گرفته است. لذا می‌توان دریافت که تداخل بازه فرکانسی زلزله حوزه نزدیک با سازه می‌تواند به شدت از ظرفیت جذب انرژی آن کاسته و بر



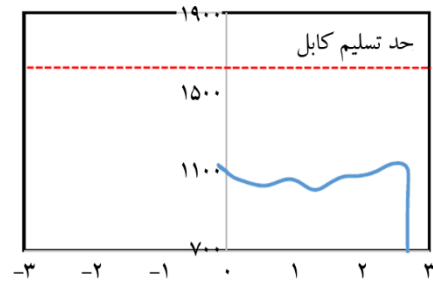
(ب) نمودار نیروی کابل پیرامونی برای نمونه T-1



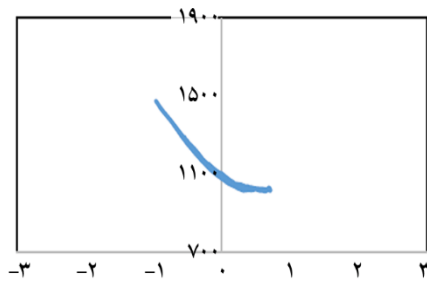
(الف) نمودار نیروی کابل پیرامونی برای نمونه B-1



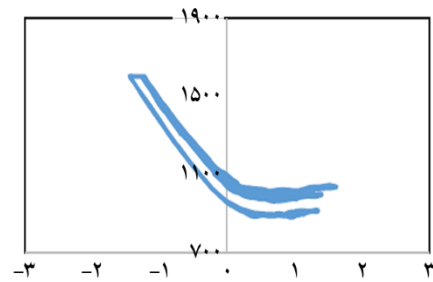
(ت) نمودار نیروی کابل پیرامونی برای نمونه T-2



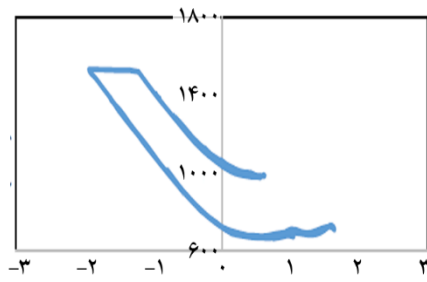
(پ) نمودار نیروی کابل پیرامونی برای نمونه B-2



(ج) نمودار نیروی کابل پیرامونی برای نمونه N-1

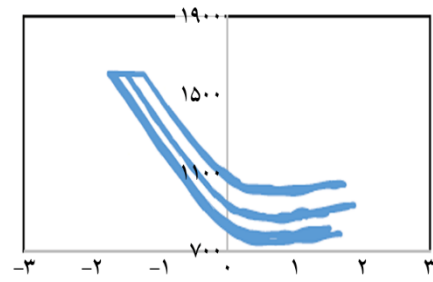


(ث) نمودار نیروی کابل پیرامونی برای نمونه C-1



تغییر مکان جانبی نسبی بام (درصد)

(ح) نمودار نیروی کابل پیرامونی برای نمونه N-2



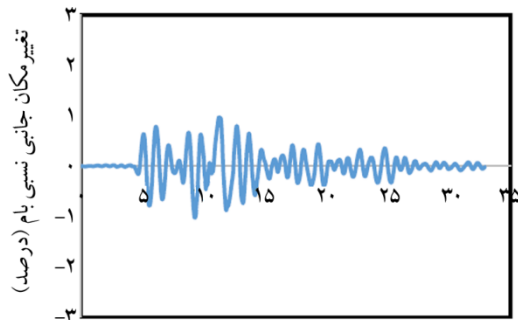
تغییر مکان جانبی نسبی بام (درصد)

(چ) نمودار نیروی کابل پیرامونی برای نمونه C-2

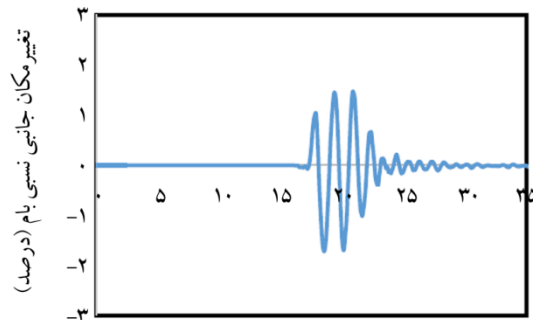
شکل (۱۰): پاسخ نیروی کابل‌های کناری بر حسب تغییر مکان نسبی بام برای زلزله‌های حوزه نزدیک.

بیشینه مقادیر تغییر مکان نسبی محدود به ۲ درصد شده و مقدار پسماند صفر است که بیانگر قابلیت خودمرکزی سازه است. ولی هر دو مدل B-2 و T-2 تحت زمین لرزه MCE دچار ناپایداری شده‌اند.

در نهایت به ارزیابی پاسخ تغییر مکان جانبی نسبی بام پرداخته می‌شود. تغییر مکان جانبی نسبی بام را نسبت به زمان نشان می‌دهد. در شکل (۱۱) برای هر چهار مدل با زلزله سطح طراحی DBE



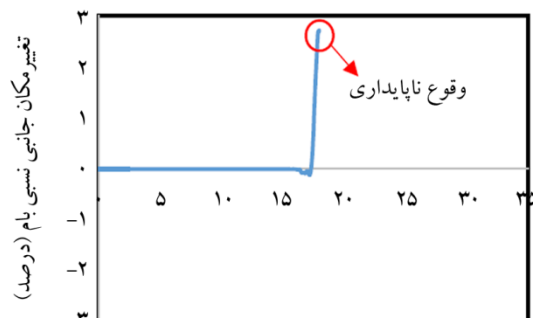
(ب) نمودار تغییر مکان جانبی نسبی نمونه T-1



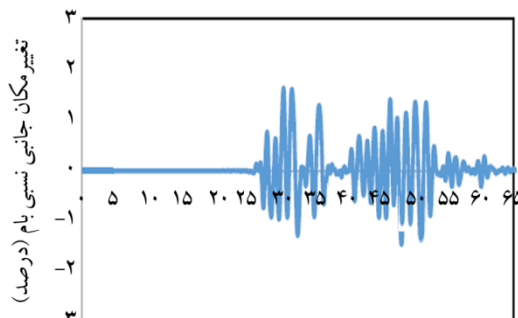
(الف) نمودار تغییر مکان جانبی نسبی نمونه B-1



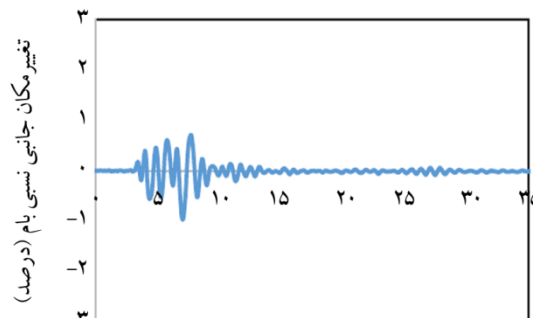
(ت) نمودار تغییر مکان جانبی نسبی نمونه T-2



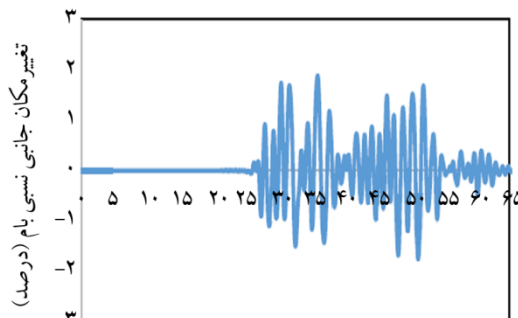
(پ) نمودار تغییر مکان جانبی نسبی نمونه B-2



(ج) نمودار تغییر مکان جانبی نسبی نمونه N-1

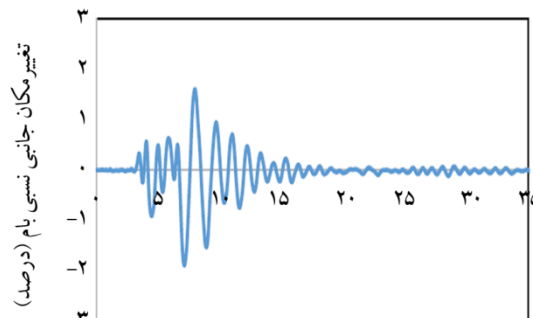


(ث) نمودار تغییر مکان جانبی نسبی نمونه C-1



زمان (ثانیه)

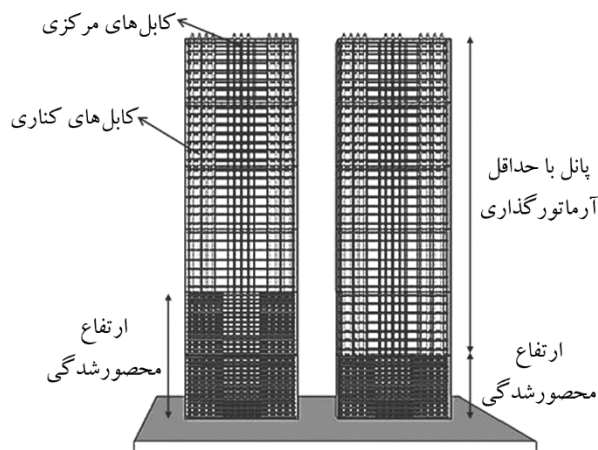
(ح) نمودار تغییر مکان جانبی نسبی نمونه N-2



زمان (ثانیه)

(چ) نمودار تغییر مکان جانبی نسبی نمونه C-2

شکل (۱۱): پاسخ تغییر مکان نسبی بام برای زلزله‌های حوزه نزدیک.



شکل (۱۲): آرایش ارتفاع محصورشدگی بتن در دیوارهای پیش‌ساخته.

جدول (۳): مدل‌های تحلیلی برای اثر ارتفاع محصورشدگی بتن دیوار.

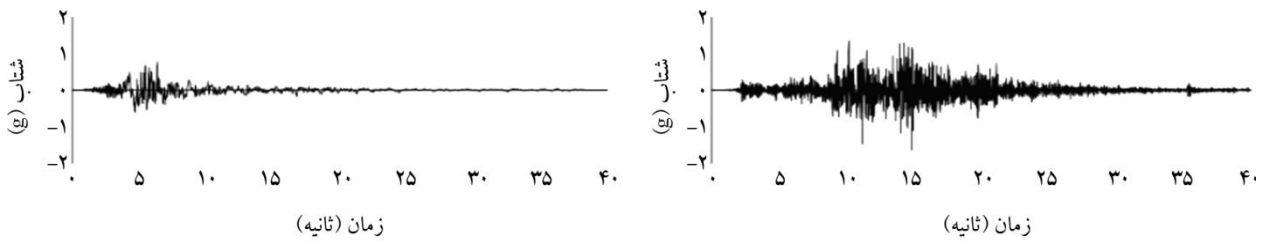
نام مدل	بیشینه شتاب (g)	نام زلزله	مکانیسم گسل زلزله	تعداد پانل با بتن محصورشده
L-1	۰/۷۷	لوماپرتیا	Reverse Oblique	۱
L-2	۰/۷۷	لوماپرتیا	Reverse Oblique	۲
M-1	۱/۶۴	لندرز	Strike-slip	۱
M-2	۱/۶۴	لندرز	Strike-slip	۲
N-1	۱/۱	نورث‌ریچ	Reverse	۱
N-2	۱/۱	نورث‌ریچ	Reverse	۲
B-1	۱/۲	بم	Strike-slip	۱
B-2	۱/۲	بم	Strike-slip	۲
T-1	۱/۲۶	طبس	Reverse	۱
T-2	۱/۲۶	طبس	Reverse	۲
C-1	۱/۲۴	چی چی	Reverse Oblique	۱
C-2	۱/۲۴	چی چی	Reverse Oblique	۲

برای سهولت در نام‌گذاری مدل‌ها، از شماره برای نشان دادن تعداد پانل‌های دارای محصورشدگی ویژه برای افزایش شکل‌پذیری بتن استفاده شده است. همچنین انتظار می‌رود این نوع از سازه‌ها با افزایش ارتفاع محصورشدگی بتن در پایه‌ها بتوانند در زلزله‌های شدید پایداری و قابلیت جذب انرژی خود را حفظ کنند. در قسمت حاضر نیز به بررسی اثر افزایش ارتفاع محصورشدگی بتن در دیوار پیش‌ساخته پس‌کشیده پرداخته می‌شود. در این راستا، پاسخ نیروی کابل میانی و تغییر مکان جانبی نسبی بام در شکل (۱۴) رسم شده است.

ضربه قوی زلزله بم منجر به گسیختگی کابل‌های مرکزی سازه شده و با تحت تأثیر قرار دادن قابلیت خود مرکزی سیستم منجر به وقوع ناپایداری و واژگونی دیوار شده است. در حالی که مدل‌های C-2 و N-2 تحت زلزله MCE سازه دچار ناپایداری نشده و مقدار پسماند صفر است که بیانگر عملکرد مطلوب سازه تحت این دو زلزله است.

در مدل‌های T-1 و N-1 نیز کابل‌های پیرامونی هیچ تغییر شکل پلاستیکی نداشته‌اند و در واقع عامل وقوع ناپایداری در سیستم از بین رفتن بتن پایه‌های دیوار در اثر خرد شدن ناحیه فشاری است. این در حالی است که تا قبل از وقوع ناپایداری، تغییر مکان‌های جانبی از حد مجاز لرزه‌ای ۲ درصد تجاوز نکرده‌اند. چنین عملکردی بیانگر وضعیت نامطلوب در سیستم استهلاک انرژی در نظر گرفته شده برای سازه است که منجر به وقوع تغییر شکل‌های ماندگار در اعضای اصلی شده است. با توجه به نمودار فوق مدل B-1 دارای ارتعاش دو طرفه بوده که نشانگر پایداری سازه است، ولی مدل B-2 به دلیل تجاوز تغییر مکان نسبی سازه از مقدار نهایی خود (متناظر با حد پارگی کابل) دچار ناپایداری شده است.

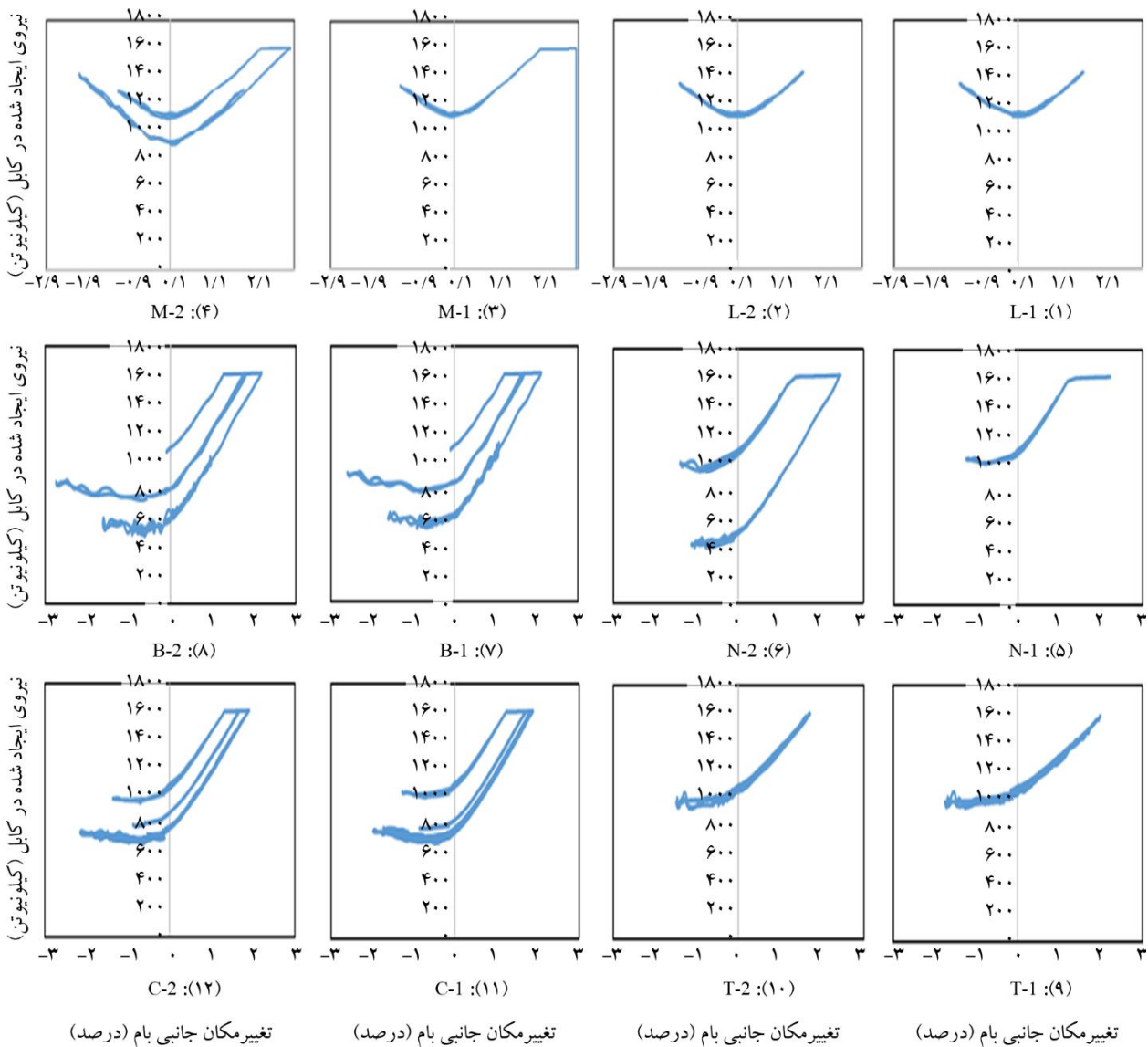
جهت بررسی تأثیر افزایش ارتفاع محصورشدگی بر روی عملکرد سیستم دیوار پیش‌ساخته پس‌کشیده، مدل‌های ساخته شده در این قسمت از نظر هندسه و جزئیات همانند مدل بخش قبل بوده که شامل دو سازه شش طبقه با ارتفاع محصورشدگی یک پانل و دو پانل با شتاب بیشینه مطابق شکل (۱۲) بوده و بارگذاری لرزه‌ای زمین‌لرزه‌های لندرز و لوماپرتیا مطابق شکل (۱۳) تحلیل شده است. مشخصات مدل‌ها در جدول (۳) ارائه شده است. زلزله‌های انتخاب شده لندرز و لوماپرتیا به ترتیب از نوع لغزشی و معکوس بوده که زلزله‌هایی با این مکانیسم‌ها در ایران نیز رخ می‌دهد. نظر به اینکه هدف مطالعه حاضر بیشتر بررسی عملکرد دیوارهای پیش‌ساخته پس‌کشیده در اثر زلزله‌های حوزه نزدیک است، لذا پارامتر مهم مطالعه حاضر مقدار بیشینه شتاب زلزله بوده که اهمیت بیشتری نسبت به نوع مکانیسم گسیختگی گسل دارد.



شتاب نگاشت های زلزله لوماپرتا با سطح خطر MCE

شتاب نگاشت های زلزله لندرز با سطح خطر MCE

شکل (۱۳): شتاب نگاشت های مقیاس شده برای تحلیل اثر ارتفاع محصورشدگی بتن دیوار.



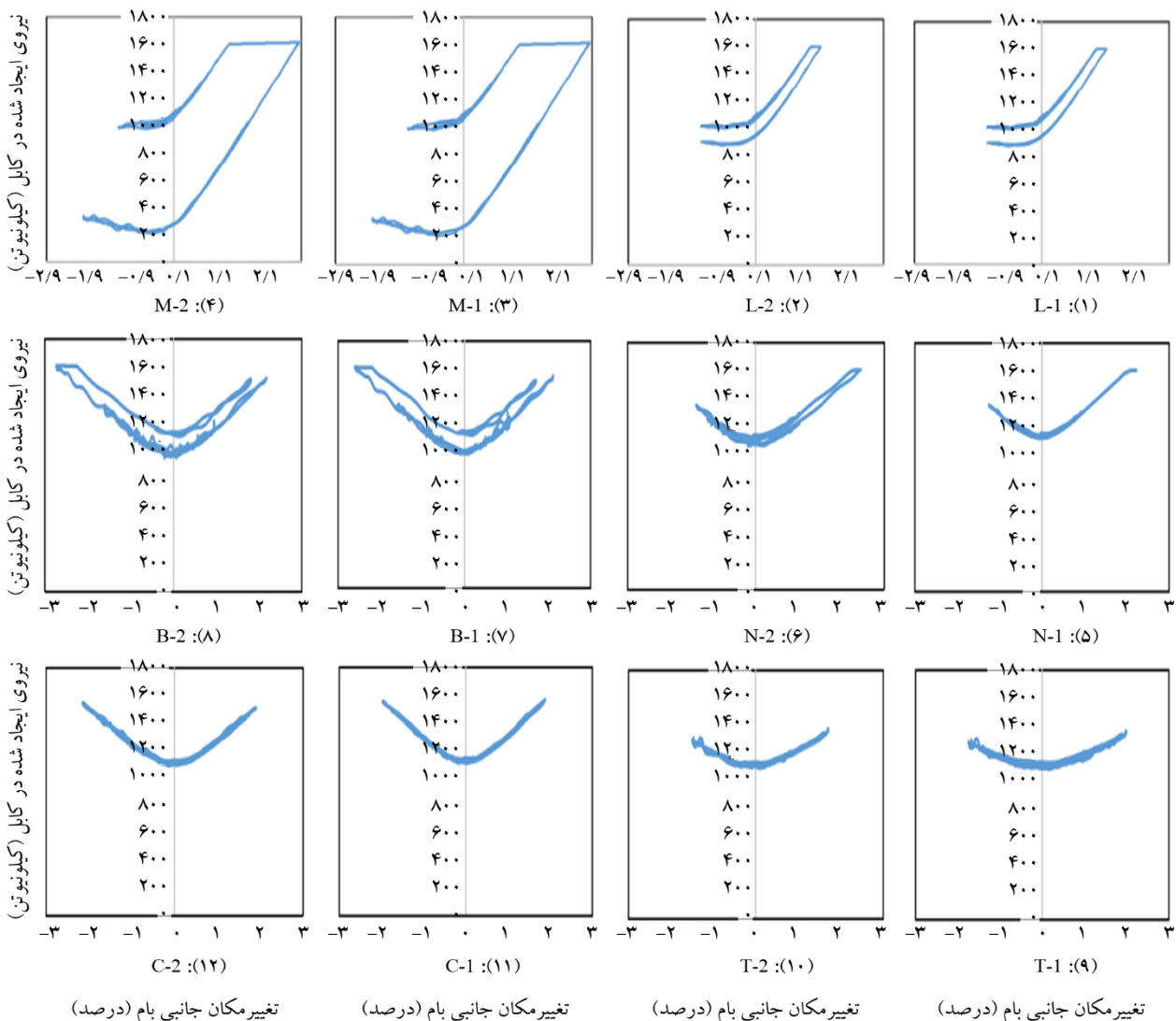
شکل (۱۴): پاسخ نیروی کابل های میانی بر حسب تغییر مکان نسبی بام برای حالت افزایش ارتفاع بتن محصور تحت زلزله MCE.

می شود. این افزایش در مدل M-2 با خرابی بتن در پایه پانل دوم همراه بوده و به علت محصورشدگی بتن در این پانل، افزایش تنش فشاری در پایه پانل اول کمتر شده و در نتیجه دیوار پایداری خود را

بر اساس نتایج، کابل های میانی در مدل M-1 از محدوده خطی خارج شده اند. خروج کابل های میانی از ناحیه خطی منجر به کاهش سختی جانبی و افزایش فشار وارد بر پانل ها را در ناحیه پایه فشاری

در خصوص زلزله بم و طبس می‌توان دید که به دلیل مضمون خاص فرکانسی رکورد زلزله هر دو مدل از نظر رفتاری مشابه بوده و رفتار یکسانی در برابر شتاب‌نگاشت داشته‌اند. با این تفاوت که تسلیم و تقلیل پیش‌تیدگی در زلزله طبس رخ نداده و کابل در حوزه خطی باقی مانده است. ولی در زلزله بم با توجه به تفاوت نوع مکانیسم گسل نسبت به زلزله طبس کابل دچار تسلیم شده و تقلیل پس‌کشیدگی نیز رخ داده است. در مورد زلزله چی‌چی نیز محصورشدگی یک یا دو پانل تأثیر محسوسی در رفتار کابل میانی نداشته است. در ادامه به منظور ارزیابی استهلاک انرژی سازه، منحنی نیروی داخلی کابل‌های کناری بر حسب تغییر مکان جانبی نسبی دیوار در شکل (۱۵) آمده است.

حفظ کرده است. در ادامه کابل‌های میانی مدل L-1 و L-2 کماکان در محدوده خطی باقی مانده‌اند که بیانگر عملکرد مطلوب سیستم در زمین‌لرزه‌های با شدت بزرگ‌تر از سطح طراحی است. علت تفاوت در پاسخ کابل‌ها را می‌توان به تفاوت در محتوای فرکانسی شتاب‌نگاشت‌های لندرز و لوماپریتا مربوط دانست. در خصوص زلزله نورتریج می‌توان دریافت که به‌ازای محصورشدگی یک پانل مقاومت دیوار کافی نبوده و منجر به افزایش تغییر مکان و در نتیجه پارگی کابل میانی شده است. ولی با افزایش محصورشدگی به دو پانل دیوار توانسته نیروی جانبی وارده را تحمل کند. همچنین دیده می‌شود که پالس زلزله باعث تقلیل مقدار پیش‌تیدگی کابل از ۱۰۰۰ کیلونیوتن به ۴۰۰ کیلونیوتن شده است.



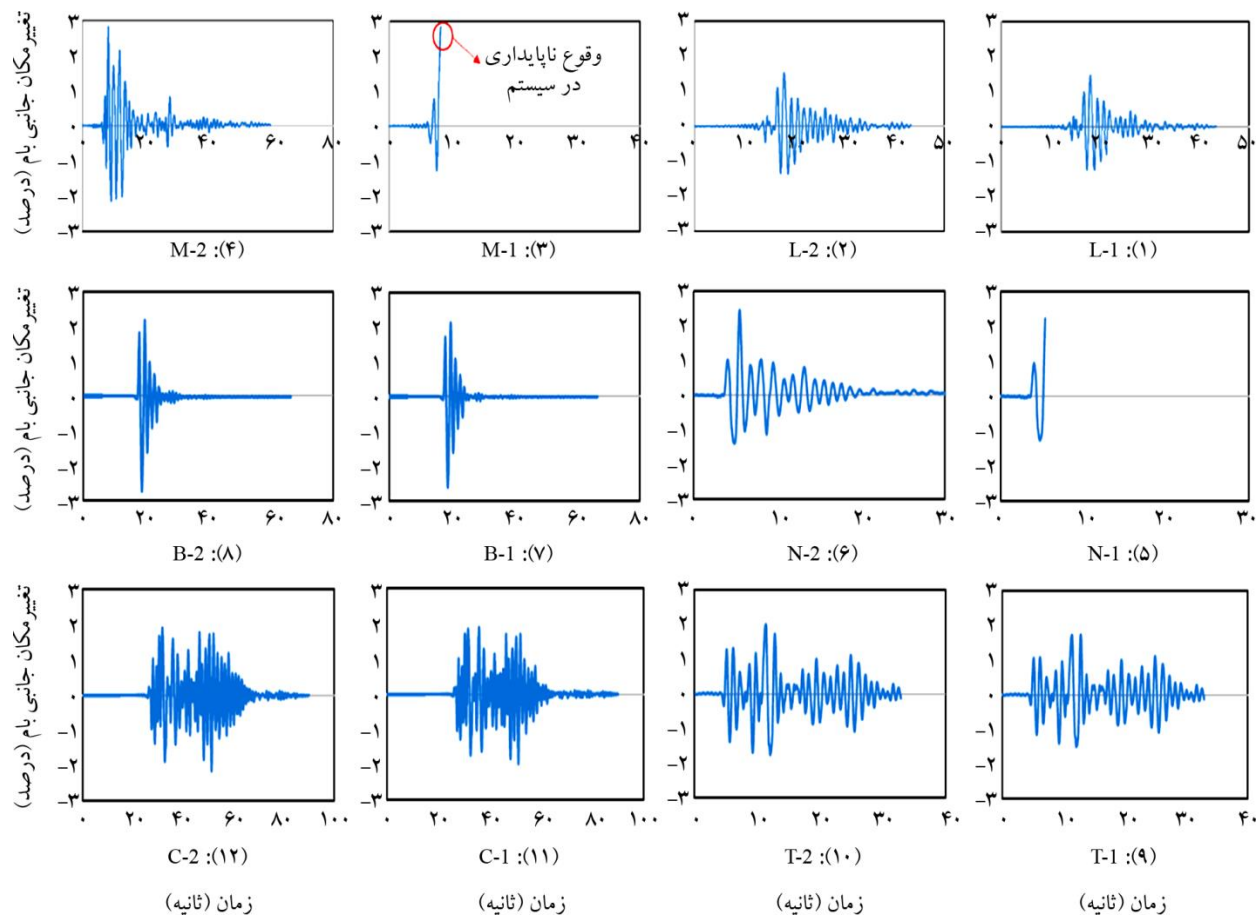
شکل (۱۵): پاسخ نیروی کابل‌های کناری بر حسب تغییر مکان نسبی بام برای حالت افزایش ارتفاع بتن محصور تحت زلزله MCE.

توانسته کابل کناری را در حوزه رفتار خطی نگه دارد. در خصوص زلزله بم، طبس و چی چی می توان دید که به دلیل مضمون خاص فرکانسی رکورد زلزله هر دو مدل از نظر رفتاری مشابه بوده و رفتار یکسانی در برابر شتاب نگاشت داشته اند. همچنین مقدار تسلیم و تقلیل پیش تیدگی ناچیز بوده و کابل کناری در حوزه خطی باقی مانده است.

در ادامه تغییرات تغییر مکان جانبی نسبی بام را نسبت به زمان برای هر چهار مدل نمایش می دهد. مطابق شکل (۱۶) پاسخ تغییر مکانی سیستم برای مدل های با یک پانل محصور شده، به ازای زمین لرزه های MCE مقدار تغییر مکان جانبی نسبی سازه بسیار بزرگ بوده و حتی منجر به وقوع ناپایداری نیز شده است. خرد شدن بتن در پای فشاری پانل دوم در اثر افزایش کرنش های فشاری در مدل M-1 موجب وقوع ناپایداری در سیستم این مدل شده است. این در حالی است که افزایش تنش فشاری در مدل M-2 به علت توانایی بتن

مطابق انتظار کابل کناری در تمامی مدل ها وارد ناحیه غیرخطی شده و بخشی از انرژی لرزه ای وارد بر سازه را جذب کرده است. همچنین می توان دریافت که افزایش تعداد پانل های دارای بتن محصور می تواند منجر به جذب انرژی بیشتری توسط کابل های کناری شود و از میزان خرابی بتن در پایه تحتانی بکاهد. یکی از مهم ترین عملکردهای نامطلوب در این نوع از سیستم ها، خطی باقی ماندن کابل های کناری و عدم مشارکت در جذب انرژی است. به عبارت دیگر استفاده از کابل های پس کشیده کناری در دو سمت دیوار به تنهایی نمی تواند ضامن استهلاک انرژی در دیوارهای پیش ساخته پس کشیده باشد.

در خصوص زلزله نورث ریج و کابل کناری می توان رفتار مشابهی با کابل میانی دید که به ازای محصورشدگی یک پانل مقاومت دیوار کافی نبوده و منجر به افزایش تغییر مکان و در نتیجه پارگی کابل میانی شده است. افزایش محصورشدگی نیز



شکل (۱۶): پاسخ تغییر مکان نسبی بام برای حالت افزایش ارتفاع بتن محصور تحت زلزله MCE.

صفر است.

۲. برای حالتی که از کابل‌های پس‌کشیده کناری به‌عنوان جاذب انرژی در سازه استفاده شود، مقدار بسیار کوچکی از انرژی زلزله توسط این کابل‌ها جذب شده و فرآیند استهلاک انرژی با خرد شدن بتن در پایه‌های فشاری دیوار انجام خواهد شد.

۳. در زلزله‌های حوزه نزدیک، قابلیت باربری جانبی این نوع از سازه‌ها ارتباط مستقیمی با مضمون فرکانسی شتاب‌نگاشت داشته و لذا از حساسیت بیشتری نسبت به سیستم‌های سازه‌ای دیگر برخوردار هستند.

۴. افزایش ارتفاع محصورشدگی به مقداری بیش از حداقل الزام تعیین شده توسط آیین‌نامه می‌تواند منجر به گسترش رفتار مطلوب لرزه‌ای سیستم دیوارهای پیش‌ساخته و همچنین افزایش سطح پایداری سازه تحت زلزله‌هایی با شدت بزرگ‌ترین زمین‌لرزه در نظر گرفته شده شود.

۵. انتظار می‌رود استفاده از تجهیزات استهلاک انرژی خارجی با عملکرد پیوسته تأثیر مطلوبی بر عملکرد استهلاک انرژی سیستم و جلوگیری از خرابی بتن و ناپایداری زودتر از موعد داشته باشد.

مراجع

1. I.S. Code (2014) *Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings*. 4th Edition, Standard.
2. Maeda, M., Nakano, Y., and Lee, K.S. (2004) Post-earthquake damage evaluation for R/C buildings based on residual seismic capacity. *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. 1179.
3. Kurama, Y.C., Sause, R., Pessiki, S., and Lu, L.W. (2002) Seismic response evaluation of unbonded post-tensioned precast walls. *Structural Journal*, 99(5), 641-651.
4. Marriott, D., Pampanin, S., Bull, D., and Palermo, A. (2008) *Dynamic Testing of Precast, Post-Tensioned Rocking Wall Systems With Alternative Dissipating Solutions*.

محصور شده در تحمل این کرنش‌ها با وقوع ترک خوردگی و یا خرد شدن بتن همراه نبوده و پایداری سازه تا انتهای مسیر بارگذاری حفظ شده است. برای مدل‌های L-1 و L-2 به دلیل عدم تداخل فرکانسی زلزله، مقدار تغییر مکان جانبی نسبی در دو حالت محصورشدگی بتن در یک پانل و دو پانل دارای محدوده یکسانی بوده و حساسیت سازه نیز کمتر از حالات قبل است. همچنین، تغییر مکان جانبی ماندگار در این حالت صفر بوده که توانایی سازه در قابلیت خودمرکزی را ثابت می‌کند.

برای مدل‌های مربوط به زلزله نورث‌ریج نیز مشاهده می‌شود که سازه دچار ناپایداری شده و مقدار تغییر مکان جانبی نسبی از حد متناظر با گسیختگی سازه فراتر رفته است. ولی در مقابل با ایجاد محصورشدگی دو پانل سازه توانسته بعد از اتمام زلزله به حالت اولیه خود بازگردد. ولی در مقابل برای زلزله‌های بم، طبرس و چی‌چی مشاهده شده که سازه‌ها تفاوت چندانی از نظر رفتار نداشته و تعداد پانل‌های محصورشده منجر به بروز رفتار خاصی از نظر کنترل مقدار تغییر مکان سازه نشده است که البته این پدیده قابلیت خودمرکزی دیوار را برای اکثریت زلزله‌های مورد بررسی نیز به اثبات می‌رساند.

۴- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در پژوهش حاضر رفتار دیوارهای بتنی پیش‌ساخته پس‌کشیده از طریق انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی سازه‌های شش طبقه مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا مدل ریاضی عددی بر اساس نتایج آزمایشگاه مورد صحت‌سنجی شده و سپس برای تعمیم مطالعات پارامتریک به کار گرفته شده است. متغیرهای مورد بررسی عبارت بودند از زلزله‌های حوزه نزدیک و همچنین تأثیر افزایش ارتفاع محصورشدگی بتن در پایه‌های طرفیت دیوار. بر اساس نتایج به‌دست آمده می‌توان مورد ذیل را به‌صورت خلاصه بیان و ارائه کرد:

۱. این نوع سازه‌ها قادر هستند تا قابلیت خودمرکزی خود را تحت زلزله‌های با شدت زمین‌لرزه سطح طراحی حفظ کنند و همچنین تغییر شکل ماندگار سیستم در انتهای بارگذاری

- National Conference in Earthquake Engineering*. Anchorage, AK: Earthquake Engineering Research Institute.
16. Hassanli, R., ElGawady, M.A., and Mills, J.E. (2016) Force–displacement behavior of unbonded post-tensioned concrete walls. *Engineering Structures*, **106**, 495-505.
 17. Khanmohammadi, M. and Heydari, S. (2015) Seismic behavior improvement of reinforced concrete shear wall buildings using multiple rocking systems. *Engineering Structures*, **100**, 577-589.
 18. Zibaei, H. and Mokari, J. (2014) Evaluation of seismic behavior improvement in RC MRFs retrofitted by controlled rocking wall systems. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **23**(13), 995-1006.
 19. Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M.H., and Fenves, G.L. (2006) *OpenSees Command Language Manual*. Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, 264.
 20. Perez, F.J., Pessiki, S., and Sause, R. (2013) Experimental lateral load response of unbonded post-tensioned precast concrete walls. *ACI Structural Journal*, **110**(6).
 21. ACI (2008) *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary*. American Concrete Institute.
 22. PEER (2006) *NGA Database, Pacific Earthquake Engineering Research Center*. University of California, Berkeley, USA, <http://peer.berkeley.edu/nga>.
 23. Pekelnicky, R. and Poland, C. (2012) ASCE 41-13: Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. *In SESOC 2012 Convention*.
 5. Rahman, A.M. and Restrepo-Posada, J.I. (2000) Earthquake resistant precast concrete buildings: seismic performance of cantilever walls prestressed using unbonded tendons.
 6. Kurama, Y., Pessiki, S., Sause, R., and Lu, L.W. (1999) Seismic behavior and design of unbonded post-tensioned precast concrete walls. *PCI Journal*, **44**(3), 72-89.
 7. Kurama, Y.C. (2000) Unbonded post-tensioned precast concrete walls with supplemental viscous damping. *ACI Structural Journal*, **97**(4), 648-658.
 8. Perez, F.J., Pessiki, S., and Sause, R. (2004) Seismic design of unbonded post-tensioned precast concrete walls with vertical joint connectors. *PCI Journal*, **49**(1), 58-79.
 9. Aaleti, S. and Sritharan, S. (2009) A simplified analysis method for characterizing unbonded post-tensioned precast wall systems. *Engineering Structures*, **31**(12), 2966-2975.
 10. Ahmad, A., Maslehuddin, M., and Al-Hadhrami, L.M. (2014) In situ measurement of thermal transmittance and thermal resistance of hollow reinforced precast concrete walls. *Energy and Buildings*, **84**, 132-141.
 11. Lu, X. and Wu, H. (2017) Study on seismic performance of prestressed precast concrete walls through cyclic lateral loading test. *Magazine of Concrete Research*, **69**(17), 878-891.
 12. Belleri, A., Schoettler, M.J., Restrepo, J.O.S.É., and Fleishman, R.B. (2014) Dynamic behavior of rocking and hybrid cantilever walls in a precast concrete building. *American Concrete Institute*.
 13. Pothisiri, T., Chou, S., and Sektheera, C. (2016) Effect of polypropylene fibers and wire mesh on fire performance of precast concrete walls. *ACI Structural Journal*, **113**(2).
 14. Vaghei, R., Hejazi, F., Taheri, H., Jaafar, M.S., and Aziz, F.N.A.A. (2017) Development of a new connection for precast concrete walls subjected to cyclic loading. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, **16**(1), 97-117.
 15. Nazari, M., Sritharan, S., and Aaleti, S. (2014) Shake table testing of unbonded post-tensioned precast concrete walls. *Proceedings of the 10th*

Performance of Detached Post-Tensioned Precast Concrete Walls Subjected to Near-Field Earthquakes

Zahra Ghasemi¹, Javad Mokari^{2*}, and Erfan Shafei³

1. M.Sc. Student, Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran
2. Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran,
*Corresponding Author, email: j.mokari@uut.ac.ir
3. Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran

The recorded recent earthquake events show that near-field earthquakes have different characteristics than far-field earthquakes. The most important distinguishing feature of near-field movements is the production of pulses due to the effect of orientation and the effect of permanent displacement. Therefore, it is necessary to study such effects on structures. In this research, first, the proposed mathematical model is validated according to the results of experiments. In order to study the nonlinear seismic behavior of post-tensioned precast concrete walls (PT-PCW), nonlinear dynamic analysis has been performed on six-story structures under near-field accelerations. Also, the effect of wall pier confinement on the self-centered performance and energy dissipation has been evaluated by performing dynamic analysis. Each acceleration is scaled to two levels of design-based earthquake (DBE) and the maximum considered earthquake (MCE) and then is used in the analysis. The performed analyzes show the optimal performance of the post-tensioned precast concrete wall system in response to earthquakes on DBE, so that at the end of the seismic load, the system does not suffer any structural damage, and minor lateral displacement remains in the system. The results also show that increasing the height of the wall pier confinement to a value slightly higher than the minimum specified in the seismic design codes promotes seismic behavior for MCE and increases the reliability of the system against overturning. The study also found that the use of post-tensioned cables in the boundary areas of the wall as an energy dissipation factor does not have a significant effect on improving the energy absorption performance of the system and the small deformations created in these members cause energy dissipation through crushing of concrete.

Keywords: Reinforced Concrete; Precast Wall; Post-Tensioning; Nonlinear Dynamic Analysis; Energy Dissipation, Confinement.