

چکیده

سیستم‌های مقاوم جانبی متداول از طریق توزیع خرابی بین المان‌های سازه‌ای اولیه و دریافت پسماند، انرژی را مستهلک می‌کنند که این باعث خسارات اجتماعی - اقتصادی فراوان ناشی از هزینه‌های تعمیر و صرف زمان پس از رخداد زلزله می‌شود. دیوارهای گهواره‌ای با آزاد کردن قید چرخشی پای دیوار در طی رخداد زلزله به صورت گهواره‌ای روی فونداسیون حرکت کرده و با بازگرداندن سازه متصل به خود به موقعیت اولیه دریافت پسماند را کاهش می‌دهند. در این تحقیق رفتار قاب خمشی بتن مسلح با دیوار گهواره‌ای تحت تحلیل دینامیکی غیرخطی فزاینده به صورت دو بعدی با نرم‌افزار سپ در دو مدل ۵ طبقه و ۱۰ طبقه بررسی و پاسخ سازه با پاسخ قاب خمشی متناظر با دیوار برشی متداول مقایسه شد. نتایج نشان داد دیوار گهواره‌ای در هر دو مدل ۵ و ۱۰ طبقه باعث کاهش قابل توجه دریافت پسماند شده و با مجهز کردن آن به کابل‌های پس کشیده و میراگر در مدل ۱۰ طبقه، می‌توان از رفتار اجزای غیر سازه‌ای به هنگام زلزله اطمینان حاصل کرد. اتصال قاب به دیوار نیز در مدل‌های مختلف بررسی و اتصال مفصلی قاب به دیوار برای رفتار بهتر سیستم گهواره‌ای مناسب ارزیابی شد.

واژگان کلیدی: سیستم دو گانه خودمحور، دیوار گهواره‌ای، دریافت پسماند،

تحلیل IDA.

بررسی عملکرد سیستم قاب خمشی و دیوار گهواره‌ای با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی فزاینده (IDA)

نادر خواجه احمد عطاری

دانشیار، مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

زهرا رحیمی سجاسی (نویسنده مسئول)

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، پژوهشکده مسکن،

مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهرسازی، تهران، ایران،

zahra.rahimi@bhrc.ac.ir

۱- مقدمه

طراحی سیستم‌های گهواره‌ای بتوان در هزینه ساخت نیز صرفه‌جویی کرد.

۲- مطالعات انجام شده

ایده حرکت گهواره‌ای در سازه را می‌توان به هوسنر (۱۹۶۳) نسبت داد. او نشان داد ستون‌های بلند-لاغر که می‌توانند تحت زلزله‌های متوسط به راحتی بلند شوند^۱، پایداری لرزه‌ای قابل قبولی دارند و بین بلندشدگی^۲ و واژگونی یک حاشیه ایمنی وجود دارد که هرچه ابعاد ستون بزرگ‌تر باشد یا فرکانس پالس تحریک افزایش یابد این حاشیه ایمنی به گونه‌ای افزایش می‌یابد که پایداری لرزه‌ای افزایش می‌یابد [۱]. پس از مطالعات روی ستون‌های pin-base و ویژگی دیوارها که با سطح مقطع بزرگ‌تر، سختی خمشی بیشتری نسبت به ستون‌ها برای کنترل

دیوارهای گهواره‌ای مانند دیوارهای سازه‌ای متداول به صورت یک طره قایم برای انتقال بارهای جانبی ساختمان به فونداسیون از طریق برش و لنگر خمشی در دیوار عمل می‌کنند. این سیستم توانایی انتقال کشش به فونداسیون را ندارد زیرا مثل یک دیوار برشی معمولی کاملاً به فونداسیون متصل نیست. لنگر خمشی پای دیوار به وسیله لنگر بازگرداننده ناشی از بارهای ثقلی وارد بر دیوار تحمل می‌شود و این زمانی رخ می‌دهد که گپ بین دیوار و فونداسیون باز شود. از آنجایی که در طول این روند هیچ عضوی تسلیم نمی‌شود، رفتار غیرخطی سازه با تغییر شکل‌های ماندگار همراه نیست. گزارش پروژه‌های مقاوم‌سازی حاکی از صرف هزینه‌های زیاد برای اجرای شمع در فونداسیون دیوارهای برشی به دلیل وجود نیروهای عکس‌العمل بزرگ در پای دیوار است. از این رو انتظار می‌رود با گسترش جزئیات

گسیختگی طبقه ضعیف در ساختمان موجود و حداقل کردن خرابی ساختمان طی زلزله بود. ابتکار او در تکیه گاه سنجاقی پای دیوار برای مقابله با ضربه بالقوه نامطلوب در گوشه‌های دیوار بود. در واقع سیستم پیشنهادی وی بیشتر بر اتلاف انرژی با میراگرهای فلزی قابل تعویض متکی است و پس کشیدگی دیوار نیز مقاومت ترک خوردگی آن را افزایش می‌دهد و می‌توان گفت این سیستم از هیچ گونه حرکت بازگرداننده برخوردار نیست [۵]. زیبایی و مکاری [۶] با استفاده از تحلیل پوش آور رفتار قاب خمشی بتن مسلح با شکل پذیری متوسط، قاب بتن مسلح با دیوار برشی و قاب بتن مسلح با دیوارهای گهواره‌ای را با استفاده از نرم افزار OpenSees با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج نشان داد که تشکیل مفصل پلاستیک و دررفت‌های درون طبقه‌ای در سیستم‌های دارای دیوار گهواره‌ای نسبت به دوتای دیگر توزیع بهتری دارد. گریگوریان و گریگوریان [۷] رویکرد جدیدی بر مبنای اصول design-led analysis برای قاب‌های خمشی با دیوارهای گهواره‌ای ارائه کردند که در آن دیوارهای برشی به جای تکیه‌گاه‌های ثابت به تکیه‌گاه‌های مفصلی، لولا می‌شوند. کاربرد این روش به قاب‌های خمشی شکل پذیر تشکیل شده از اعضای مستقیم منشوری محدود می‌شود. نقش دیوار جلوگیری از شکست طبقه نرم، کاهش تمرکز دررفت و ایجاد تکیه‌گاه مناسب برای ابزارهای اتلاف انرژی است. آنها نشان دادند که تحت شرایط خاصی دیوار تأثیری در ظرفیت باربری قاب نخواهد داشت. شاید مهم‌ترین مزیت این دیوارها توزیع یکنواخت دررفت تحت اثر زمین لرزه‌های مختلف و کوچک ماندن اثر مودهای بالای ارتعاش باشد. به عبارت دیگر در یک طراحی درست می‌توان اهمیت مودهای بالای ارتعاش را در ارتباط با تغییر شکل‌های محوری قاب به سطوح پایین‌تری رساند.

هنری [۸] در تحلیل دررفت پسماند در دیوارهای بتنی خودمحمور از محدوده‌ای برای دررفت پسماند مجاز استفاده کرد که توسط رحمان و سريتاران (۲۰۰۶، ۲۰۰۷) برای دیوار پیش ساخته با دو ستون انتهایی (Pre WEC)^۶ پیشنهاد شده بود. این حدود

دررفت طبقات فراهم می‌کنند پاولی و پرستلی (۱۹۹۲) نشان دادند که سختی قابل ملاحظه دیوار از ایجاد مکانیسم طبقه ضعیف به سهولت جلوگیری می‌کند. آنها در بررسی اثر انعطاف پذیری پی روی عملکرد لرزه‌ای سیستم ترکیبی قاب و دیوار برشی، اثرات کنترل دررفت و توزیع نیرو را در سیستم ترکیبی با دیوار pin-base مطالعه کرده و به این نتیجه رسیدند کاهش قیود پای دیوار آسیبی به عملکرد لرزه‌ای سیستم نمی‌رساند [۲].

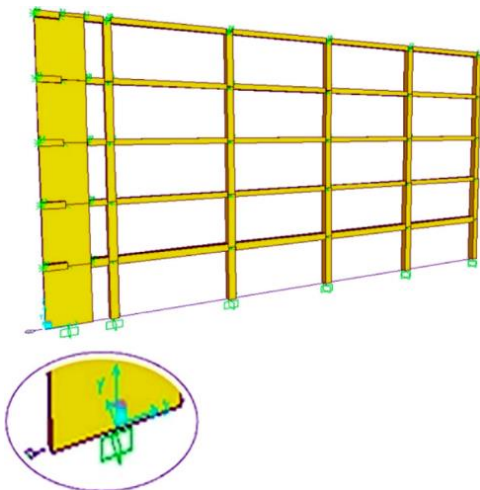
سیستم‌های خودمحمور متعددی به عنوان بخشی از برنامه هماهنگ تحقیقاتی PRESSS^۳ روی سیستم‌های بتنی پیش ساخته مطالعه شد. کوراما و همکاران (۱۹۹۹) به عنوان بخشی از برنامه تحقیقاتی PRESSS به بررسی دیوارهای بتنی پیش ساخته پس کشیده پرداختند و به مکانیسم رفتاری آنها که شامل باز شدن گپ اتصال برای مقابله با نیروی کشش ناشی از واژگونی و برش افقی ناشی از لغزش است و در نهایت به یک روش طراحی بر اساس عملکرد دست یافتند که سطح خرابی سازه را به شدت حرکت زمین مربوط می‌کند [۳].

علوی (۲۰۰۴) در بررسی عملکرد دیوار و قاب تحت زمین لرزه‌های حوزه نزدیک عملکرد دیوار با تکیه‌گاه مفصلی^۴ را با دیوار با تکیه‌گاه گیردار^۵ متداول مقایسه کرد و به این نتیجه رسید که مقاوم کردن قاب با دیوارهای با تکیه‌گاه مفصلی در کاهش حداکثر تقاضای دررفت طبقه مؤثر است و توزیع یکنواخت‌تری از دررفت در طول ارتفاع ساختمان ایجاد می‌کند. به علاوه تقاضای لنگر و برش در دیوارهای مفصلی خیلی کمتر از مقادیر متناظر برای دیوار گیردار است [۲]. وادا [۴] به مقاوم سازی ساختمانی ۱۱ طبقه واقع در توکیو با قاب بتن مسلح با استفاده از دیوارهای پس کشیده گهواره‌ای و میراگرهای برشی فولادی پرداخت. سازه مقاوم سازی شده الگوی تغییر شکل‌های سازه موجود را به خوبی کنترل کرده و خرابی سازه را طی زلزله‌های بزرگ به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. این نوع کاربرد برای کنترل الگوی تغییر شکل ساختمان در طول ارتفاع آن برای اولین بار مطرح شد و هدف از آن کاهش احتمال

۳- معرفی نمونه‌ها و نحوه مدل‌سازی

به‌طور کلی سیستم‌های گهواره‌ای بسته به نوع المان گهواره‌ای مورد استفاده و سازه‌ای که در آن مورد استفاده قرار می‌گیرند از اجزای مختلفی تشکیل می‌شوند که کابل‌های پس کشیده و میراگرها معمولاً در اغلب آنها حضور دارند. در ادامه ابتدا به معرفی اجزای سیستم‌های گهواره‌ای و تشریح عملکرد آنها پرداخته، سپس مدل‌سازی و روش تحلیل شرح داده می‌شود.

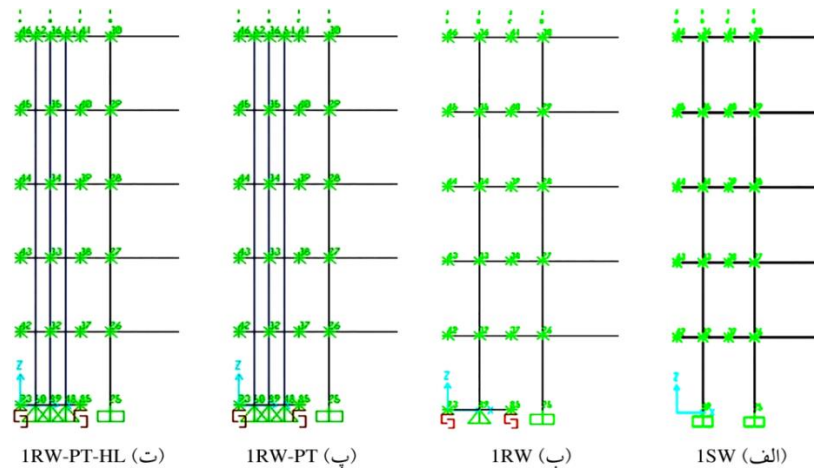
دیوارهای گهواره‌ای به‌صورت اجزای بتن مسلح پیش‌تینده با کابل‌های پس کشیده غیر چسبنده مدل می‌شوند. در اینجا برای مدل‌سازی حرکت گهواره‌ای دیوار از المان گپ و تکیه‌گاه مفصلی در پای دیوار استفاده شد (شکل ۱). اتصال قاب به دیوار در دو حالت گیردار و مفصلی با تیرهای صلب ۱ متری مدل شد. به دلیل ظرفیت استهلاک انرژی پایین سیستم‌های خودمحمور از جمله سیستم قاب خمشی با دیوار گهواره‌ای استفاده از وسایل اتلاف انرژی به‌منظور اتلاف انرژی و کاهش پتانسیل مفصل شدن در اجزای سازه‌ای اجتناب‌ناپذیر است. از این‌رو با مفصلی کردن اتصال قاب به دیوار و قرار دادن یک میراگر اصطکاکی دورانی به ظرفیت ۳۰ تن در فاصله بین قاب و دیوار در هر طبقه در مدل ۱۰ طبقه ظرفیت استهلاک انرژی سیستم افزایش داده شد. شکل‌های (۲) و (۳) نمونه‌های دیوار در مدل ۵ طبقه و ۱۰ طبقه را به تفصیل نشان می‌دهد.



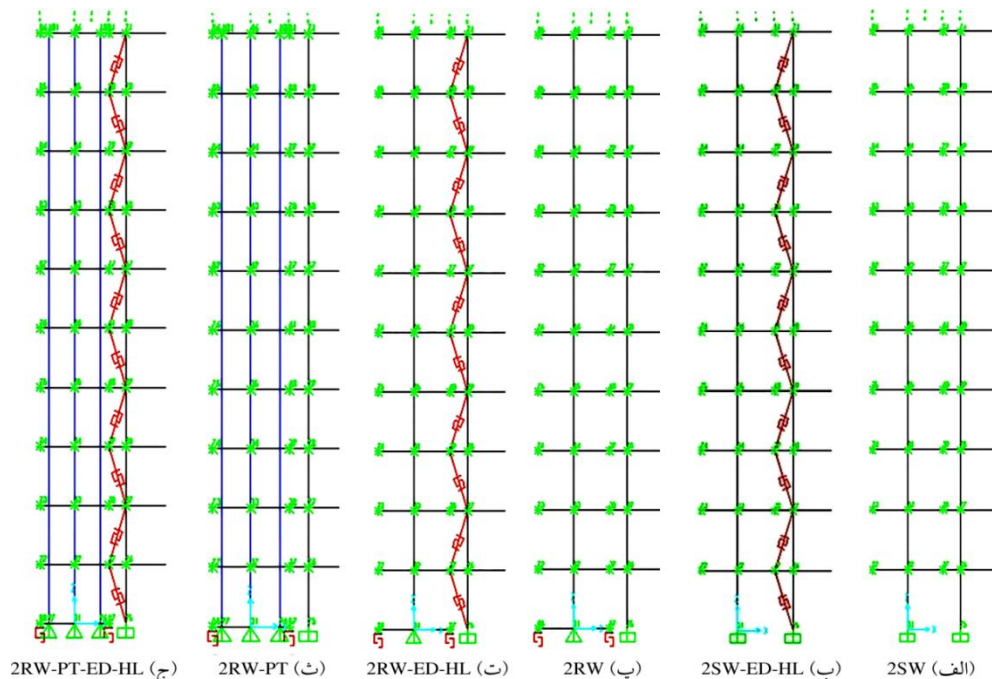
شکل (۱): سیستم قاب خمشی و دیوار برشی.

مجاز برای اطمینان از حصول خودمحموریت در سیستم دیوارهای بتنی خودمحمور مطرح شد و مطابق با آن دررفت پسماند تحت زلزله طرح تا ۱۰ درصد دررفت جانبی طرح برابر با ۰/۲ درصد و تحت حداکثر زلزله محتمل تا ۰/۳ درصد مجاز است. این مقادیر برای دررفت پسماند، حدود واقع‌گرایانه‌ای برای ساختمان‌های مقاوم لرزه‌ای فراهم می‌کند و منجر به بازگرداندگی کافی برای کاربری دوباره ساختمان پس از زلزله می‌شود [۸]. همچنین برای بررسی اثر متقابل دیوار گهواره‌ای و دیافراگم کف کینگز [۹] دو مجموعه سازه‌ای بزرگ مقیاس که از دیوار و سازه پیرامون آن تشکیل شده تحت بارگذاری شبه‌استاتیکی آزمایش کرد. در نمونه اول اتصال دیوار به قاب به‌صورت صلب با استفاده از چندین میلگرد و رشته‌هایی^۷ در دال پیش‌ساخته که از دیوار می‌گذرند صورت گرفته است. این سیستم توانایی خودمحموری و اتلاف انرژی را به‌خوبی نشان می‌دهد. با وجود خرابی‌های موضعی کف نزدیک به دو انتهای دیوار، استفاده مجدد و بلافاصله از سازه با خرابی اندک دیوار ممکن است و یکپارچگی سازه‌ای سیستم کف نیز حفظ شده است. در نمونه دوم سیستم سازه‌ای پیرامونی به‌صورت پیش‌ساخته برای حداقل کردن اثر متقابل بین دیوار و سازه پیرامونی طراحی شد. در این نمونه از بست‌های^۸ پیش‌ساخته خاصی که کف را از حرکت قائم دیوار ایزوله می‌کنند برای اتصال دیوار به کف استفاده شد. این نمونه حتی پس از دررفت طراحی ۲ درصد تقریباً خودمحمور و بدون خرابی است و بنابراین استفاده مجدد از سازه بلافاصله پس از رخداد زلزله امکان‌پذیر است. همچنین توصیه‌هایی برای طراحی ستون‌های انتهایی، بست‌های ویژه برای اتصال دیوار و کف و اتصالات تیر به قطعات کف که از اجزای کلیدی سیستم دیوار گهواره‌ای پیش‌ساخته‌اند، ارائه شده است [۹].

در این تحقیق رفتار قاب خمشی و دیوار گهواره‌ای با استفاده از تحلیل IDA بررسی شد. هدف این بررسی نحوه عملکرد سیستم‌های گهواره‌ای با و بدون کابل‌های پس کشیده و همچنین تأثیر وجود میراگر و نوع اتصال قاب به دیوار در این گونه سیستم‌ها می‌باشد.



شکل (۲): نمونه‌های دیوار در مدل ۵ طبقه.



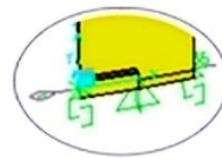
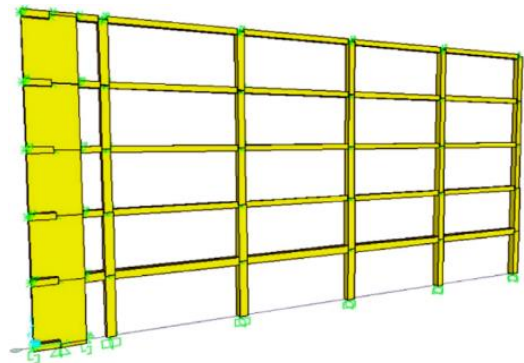
شکل (۳): نمونه‌های دیوار در مدل ۱۰ طبقه.

مدل و مفصل پلاستیک نیز به دو انتهای دیوار نسبت داده شد [۱۱]. سیستم گهواره‌ای در واقع همان مدل سیستم دو گانه قاب و دیوار برشی است (شکل ۴) که دیوار برشی آن با کابل‌های پس کشیده پیش تنیده شده و تکیه‌گاه دیوار نیز به صورت گهواره‌ای مدل شد. در مدل ۱۰ طبقه از میراگر اصطکاکی دورانی به عنوان ابزار اتلاف انرژی در فاصله بین قاب و دیوار استفاده شد. مدل‌سازی و تحلیل با نرم‌افزار SAP2000-v.14 [۱۲] انجام شد. در جدول‌های (۱) تا (۳) جزییات مدل‌سازی و در جدول (۴) مشخصات نمونه‌ها تشریح شده است.

قاب خمشی بتن مسلح به صورت دو بعدی دارای چهار دهانه به طول ۶ متر در دو مدل ۵ طبقه و ۱۰ طبقه همراه با دیوار برشی با شکل‌پذیری متوسط بر اساس آیین‌نامه ACI-318-08 [۱۰] طراحی شد. ارتفاع طبقات ۳ متر در نظر گرفته شده است. دیوار برشی در مدل ۵ طبقه به طول ۲ متر و ضخامت ۰/۳ متر و در مدل ۱۰ طبقه به طول ۴ متر و ضخامت ۰/۴ متر و به صورت غیر باربر و به روش ستون معادل طراحی شد؛ به این صورت که یک ستون با مقطع دیوار برشی در section designer طراحی و در تراز هر طبقه نیز تیری صلب به طول دیوار در بالا و پایین دیوار

جدول (۱): خلاصه بارگذاری.

کاربری	بار مرده (کیلوگرم بر مترمربع)	بار زنده (کیلوگرم بر مترمربع)	بار معادل دیوار (کیلوگرم بر متر)
مسکونی	۶۰۰	۲۰۰	۸۴۰
بام	۵۰۰	۱۵۰	۳۰۰



شکل (۴): سیستم قاب خمشی و دیوار گهواره‌ای.

جدول (۲): مشخصات مصالح.

بتن	مقاومت فشاری (تن بر مترمربع)	وزن واحد حجم (تن بر مترمکعب)	مدول الاستیسیته (گیگاپاسکال)
	۲۵۰۰	۲/۵	۲۱/۵
میل‌گردهای فولادی	تنش تسلیم (تن بر مترمربع)	تنش نهایی (تن بر مترمربع)	مدول الاستیسیته (گیگاپاسکال)
	۴۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	۲۰۵/۹

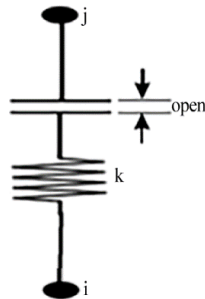
جدول (۳): جزئیات اجزای سازه‌ای.

مدل	شماره طبقه	تیر (متر در متر)	ستون (متر در متر)	آرماتورهای ستون	دیوار برشی (متر در متر)	آرماتورهای دیوار برشی
۵ طبقه	۱	۰/۴ * ۰/۴	۰/۴ * ۰/۴	۱۲Φ۲۰	۲ * ۰/۳	۲۸Φ۲۰
	۲	۰/۳ * ۰/۳	۰/۴ * ۰/۴	۱۲Φ۲۰		
	۳-۴	۰/۳ * ۰/۳	۰/۳۵ * ۰/۳۵	۸Φ۲۰		
	۵	۰/۳ * ۰/۳	۰/۳۵ * ۰/۳۵	۸Φ۲۰		
۱۰ طبقه	۱	۰/۵ * ۰/۵	۰/۵ * ۰/۵	۱۶Φ۲۲	۴ * ۰/۴	۴۴Φ۲۲
	۲-۳	۰/۴۵ * ۰/۴۵	۰/۵ * ۰/۵	۱۶Φ۲۲		
	۴	۰/۴ * ۰/۴	۰/۴۵ * ۰/۴۵	۱۲Φ۲۲		
	۵	۰/۴ * ۰/۴	۰/۴ * ۰/۴	۱۲Φ۲۲		
	۶-۱۰	۰/۴ * ۰/۴	۰/۴ * ۰/۴	۱۲Φ۲۲		

جدول (۴): معرفی نمونه‌ها.

شماره	مدل	گروه	اسم نمونه	پس کشیدگی (PT)	ابزار اتلاف کننده انرژی (ED)	نوع اتصال قاب و دیوار
۱	۵ طبقه	۱	1SW	-	-	صلب
۲			1RW	-	-	صلب
۳			1RW-PT	✓	-	صلب
۴			1RW-PT-HL	✓	-	مفصلی (HL)
۵	۱۰ طبقه	۲	2SW	-	-	صلب
۶			2RW	-	-	صلب
۷			2RW-PT	✓	-	صلب
۸			2SW-ED-HL	-	✓	مفصلی (HL)
۹			2RW-PT-HL	✓	-	مفصلی (HL)
۱۰			2RW-ED-HL	-	✓	مفصلی (HL)
۱۱			2RW-PT-ED-HL	✓	✓	مفصلی (HL)

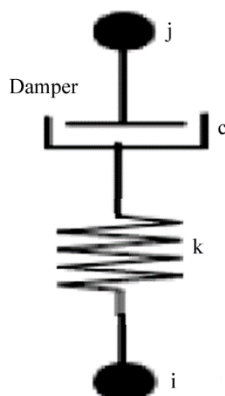
درجات آزادی ندارند [۱۲]. در اینجا برای شبیه‌سازی حرکت دیوار از دو گپ با سختی 10^6 کیلونیوتن بر متر در دو سمت دیوار استفاده شده تا حرکت گهواره‌ای دیوار را در رفت و برگشت کنترل کند.



شکل (۵): المان رابط غیرخطی Gap برای تغییر شکل‌های محوری.

۶- المان رابط غیرخطی Plastic-Wen

برای مدل‌سازی رفتار غیرخطی المان‌هایی نظیر میراگرهای اصطکاکی - دورانی باید از فنرهای غیرخطی استفاده کرد. این المان به خوبی می‌تواند رفتار غیرخطی نیرو و تغییر مکان میراگر اصطکاکی - دورانی را مدل‌سازی کند، شکل (۶). برای در نظر گرفتن میرایی غیرخطی می‌توان برای هر درجه آزادی مشخصات و مقادیر مستقل میرایی تعریف کرد مشخصات میرایی در این المان رابط غیرخطی بر اساس مدل ویسکوالاستیک ماکسول استوار بوده که شامل یک میراگر غیرخطی و یک فنر است که به صورت سری به یکدیگر متصل شده‌اند [۱۲]. در این تحقیق از میراگر اصطکاکی دورانی 300 کیلونیوتن به صورت قطری در فاصله بین قاب و دیوار استفاده شد [۱۵].



شکل (۶): شماتیک مدل اجزای محدود المان رابط میراگر برای تغییر شکل‌های تک‌محوره.

۴- تاندون‌های پر مقاومت پس کشیده

برای مدل‌سازی تاندون‌ها در دیوار گهواره‌ای از المان کابل در نرم‌افزار سپ استفاده شد. مدول الاستیسیته مفتول همانند فولاد معمولی 2100000 کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در نظر گرفته می‌شود. کابل هفت مفتوله از تابیده شدن شش مفتول حول مفتول میانی ساخته شده و طبق ASTM-A416 تحت عنوان Uncoated Seven-Wire Stress-Relieved Strand for Pre-stressed Concrete استاندارد می‌شوند. با توجه به سرخوردن مفتول‌ها روی یکدیگر در هنگام کشیده شدن، مدول الاستیسیته کابل اندکی از فولاد معمولی کمتر و مساوی 1860000 کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در نظر گرفته می‌شود [۱۳]. در اینجا از کابل هفت رشته‌ای Grade 270 به قطر $15/24$ میلی‌متر استفاده شد [۱۴]. پس کشیدگی کابل‌ها به صورت محافظه کارانه و با لحاظ افت‌های موجود با حداکثر 80 درصد نیروی حاصل از محاسبات انجام می‌شود. برای اعمال پس کشیدگی هم با توجه به تنش و مدول الاستیسیته کابل، کرنش محاسبه و اعمال شد. جانمایی کابل‌ها باید خارج از ناحیه بحرانی در پنجه دیوار و در فاصله‌ای نسبت به مرکز دیوار برای حصول حداکثر بازگرداندگی ممکن باشد. در هر دو مدل از سه کابل که یکی در مرکز و دو تای دیگر در طرفین آن قرار می‌گیرند، استفاده شده است. در مدل ۵ طبقه دو کابل کناری در فاصله $0/5$ متری نسبت به مرکز و در مدل ۱۰ طبقه در فاصله $1/5$ متری نسبت به مرکز قرار می‌گیرند.

۵- المان رابط غیرخطی Gap

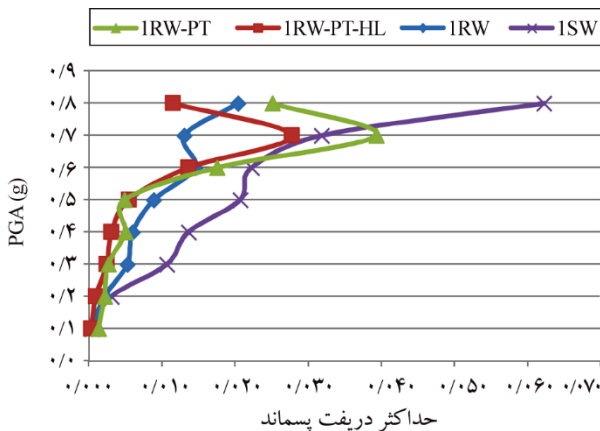
برای مدل‌سازی رفتار بلندشوندگی از پایه، از المان گپ استفاده شده است، شکل (۵). این المان دارای سختی زید تحت نیروهای فشاری می‌باشد، اما تحت اثر نیروهای کششی هیچ‌گونه سختی را از خود نشان نمی‌دهد. برای هر یک از درجات آزادی تغییر مکان یا دوران می‌توان مشخصات مستقلی برای المان رابط گپ (المانی که تنها توانایی تحمل نیروهای فشاری را دارد) تعریف کرد. همه تغییر شکل‌های داخلی، مستقل‌اند و باز و بسته شدن هر یک از گپ‌ها تأثیری بر رفتار یا تغییر مکان‌های دیگر

۲- روش تحلیل

با لحاظ اثر P-delta و به روش انتگرال گیری مستقیم روی هر مدل انجام شد. در جدول (۵) مشخصات رکوردهای انتخابی ارائه شده است.

جدول (۵): مشخصات رکوردهای انتخابی.

شماره	بزرگای گشتاوری (MW)	زلزله	نام ایستگاه	PGA (g)	مدت زمان (sec)
۱	۶/۷	نورثریج	NORTHR/MUL279	۰/۴۸	۲۹/۹۸
۲	۶/۷	نورثریج	NORTHR/LOS000	۰/۴۷	۱۹/۹۹
۳	۶/۹	کوجالی	KOCAELI/DZC180	۰/۳۶	۵۴/۳۶
۴	۷/۳	لندرز	LANDERS/YER270	۰/۲۴	۲۱/۹۹
۵	۶/۵	سوپرستیشن هیلز	SUPERST/B-POE270	۰/۴۵	۲۲/۲۹
۶	۶/۹	لوماپریتا	LOMAP/CAP000	۰/۵۳	۳۹/۹۹
۷	۶/۹	کوبه	KOBE/SHI090	۰/۲۳	۴۰/۹۵



شکل (۷): نمودار IDA نمونه‌های مختلف در مدل ۵ طبقه مربوط به دررفت پسماند.

۸- منحنی‌های IDA مدل ۵ طبقه

۸-۱- دررفت پسماند

طبق منحنی ارائه شده در شکل (۷) حداکثر دررفت پسماند در نمونه IRW-PT-HL تقریباً در همه شدت‌های شتاب اعمالی نسبت به بقیه کمتر است و در ISW از همه بیشتر که نشان می‌دهد دیوار گهواره‌ای با کابل‌های پس کشیده و اتصال مفصلی به قاب مجاور در کاهش دررفت پسماند سازه تأثیر به‌سزایی دارد. در نمونه‌های

تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA) نوعی تحلیل پارامتریک است که در سال‌های اخیر به‌منظور ارزیابی جامع و کامل رفتار سازه تحت اثر بارهای لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. در این شیوه تحلیل سازه مورد نظر تحت اثر یک یا چند رکورد زلزله قرار می‌گیرد و با اعمال ضرایب عددی به رکوردهای زلزله سعی می‌شود تا سازه تحت گستره مناسبی از شدت‌های زلزله قرار گیرد. این عمل منجر به تولید منحنی‌ای می‌گردد که پاسخ سازه را تحت شدت‌های مختلف رکوردهای زلزله نمایش می‌دهد که موسوم به منحنی IDA می‌باشد. در تحلیل IDA تحت یک رکورد زلزله خاص، سازه تحت اثر شدت‌های مختلف این رکورد تحلیل دینامیکی غیرخطی می‌شود. به‌ازای هر بار تحلیل سازه می‌توان معیار خرابی سازه را اندازه‌گیری نمود و به درک مناسبی از رفتار سازه در محدوده‌های خطی و غیرخطی رسید، در صورت استفاده از چندین رکورد برای نتیجه‌گیری بهتر می‌توان مقادیر معیار شدت را در برابر میانگین مقادیر معیار آسیب رسم نمود.

منحنی IDA حاصل ترسیم معیار شدت رکورد زلزله در مقابل معیار آسیب متناظر با آن می‌باشد. منحنی IDA می‌تواند در دو بعد یا چند بعد بسته به تعداد معیارهای شدت در نظر گرفته شده رسم گردد [۱۶]. بر اساس مطالب گفته شده بیشینه شتاب جنبش زمین (PGA) ^۹ به‌عنوان شاخص شدت و سه پارامتر حداکثر دررفت طبقات، حداکثر دررفت پسماند و حداکثر شتاب طبقات به‌عنوان شاخص خسارت انتخاب شد. دررفت پسماند برای ارزیابی عملکرد سازه‌ای و دررفت حداکثر و شتاب حداکثر به‌منظور ارزیابی رفتار غیر سازه‌ای انتخاب شد. منحنی IDA ارائه شده در این تحقیق منحنی IDA کلی و چندگانه است زیرا شاخص خسارت انتخابی حداکثر مقدار پارامتر مورد نظر است و مربوط به نقطه از پیش تعیین شده‌ای در سازه نبوده و تحلیل هم تحت رکوردهایی از چندین زلزله انجام شده است.

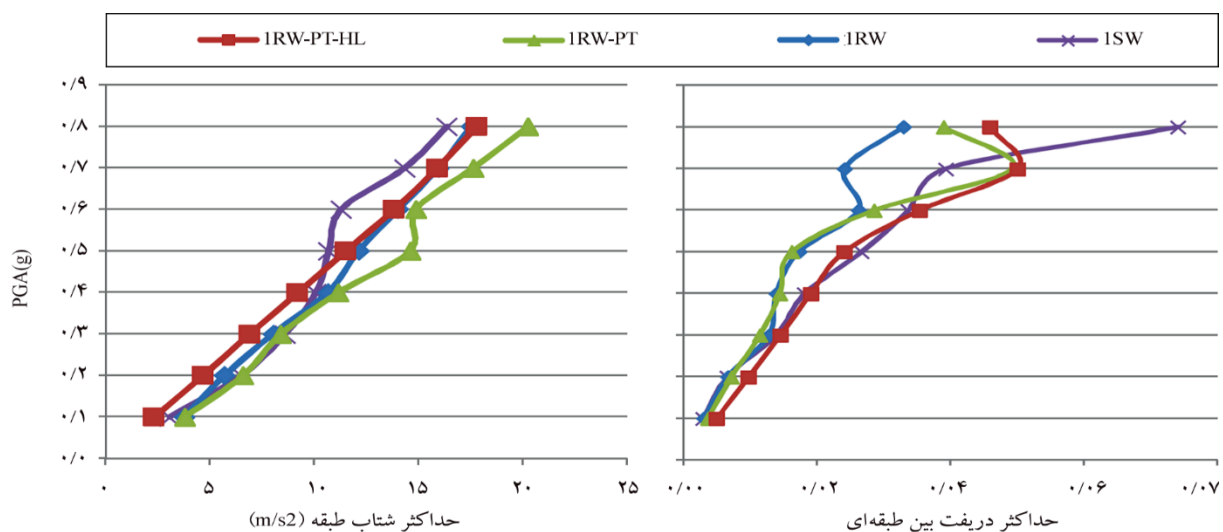
شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده از سایت PEER برداشت شد و هر یک از آنها به PGA رکورد مربوط به خود مقیاس گردید. هر یک از مدل‌ها تحت هشت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی از هر رکورد قرار گرفت و در مجموع ۵۶ تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

بی نهایت میل می کنند درحالی که به ازای شدت های بالاتر سازه پایداری خود را حفظ نموده و از حیظ ارتفاع خارج نمی شود [۱۶]. از طرفی حداکثر دریفت پسماند در نمونه IRW در همه شدت های شتاب اعمالی به سازه، نسبت به ISW کمتر است که نشان می دهد دیوار گهواره ای بدون کابل های پس کشیده و اتصال صلب به قاب مجاور نیز در کاهش دریفت پسماند سازه تأثیر به سزایی دارد. همین طور برای اطمینان از بروز خودمحموری با توجه به حد ۰/۲ درصد برای دریفت پسماند در زلزله طرح و ۰/۳ درصد در زلزله حداکثر چنان که در نمودار نیز مشخص است در نمونه IRW-PT-HL تا شتاب ۰/۴ g خودمحموری تأمین شده که بهترین حالت را نسبت به سه نمونه دیگر دارد. با این وجود در شتاب های بالاتر دریفت پسماند از حد مجاز فراتر است که نشان دهنده ی ضعف سیستم در تأمین خودمحموریت در شدت های بالای شتاب می باشد.

۸-۲- دریفت حداکثر و شتاب حداکثر

برای خلاصه کردن منحنی IDA در نمودار مربوط به شتاب حداکثر به دلیل پراکندگی نتایج حاصل از رکوردهای مختلف از میانه شاخص خسارت استفاده شد. همان طور که در نمودار شکل (۸) مشاهده می شود نمونه IRW دریفت حداکثر کمتری را نسبت به بقیه تجربه کرده و حداکثر شتاب ایجاد شده در آن نیز کمی بیش از ISW می باشد.

IRW-PT و IRW-PT-HL پس کشیدگی تا شتاب ۰/۶ g باعث کاهش دریفت پسماند نسبت به ISW می شود ولی با افزایش شتاب اعمالی به سازه، نمونه IRW-PT-HL نسبت به IRW-PT و ISW دریفت پسماند کمتری را تجربه کرده که نشان از عملکرد بهتر دیوار دارای کابل در حالت اتصال مفصلی نسبت به اتصال صلب تحت شتاب های بالاتر دارد. همچنین در نمونه های IRW-PT-HL, IRW-PT در شتاب ۰/۷ g به یکباره افزایش دریفت و سپس در ۰/۸ g کاهش دریفت دیده شد. علت این رفتار به پدیده احیای سازه مربوط می شود و نقطه متناظر با شتاب ۰/۷ g را در منحنی مربوط به این دو نمونه می توان نقطه احیای سازه دانست. در توجیه این پدیده باید دانست الگوی بار گذاری و زمان تأثیر است که اثر واقعی را در این مورد می گذارند. با به مقیاس در آوردن رکوردهای لرزه ای و زیاد کردن شدت آنها، سیکل های پاسخ ضعیف ممکن است به حدی بزرگ شوند که توانایی ایجاد خرابی در سازه را پیدا کنند. بنابراین خصوصیات دینامیکی سازه را برای سیکل های بعدی تغییر داده به طوری که در آنها عملاً سازه ای جدید ایجاد می شود. همچنین گمان می شود این امر به علت ازدیاد تناوب سازه در شدت های پایین تر به دلیل جاری شدن اتفاق می افتد. لیکن ازدیاد تناوب ممکن است منجر به پدیده ای تحت عنوان احیای سازه ای شود که در اثر این پدیده سازه در مقادیر خاصی از شدت دچار ناپایداری دینامیکی شده و پاسخ ها به سمت

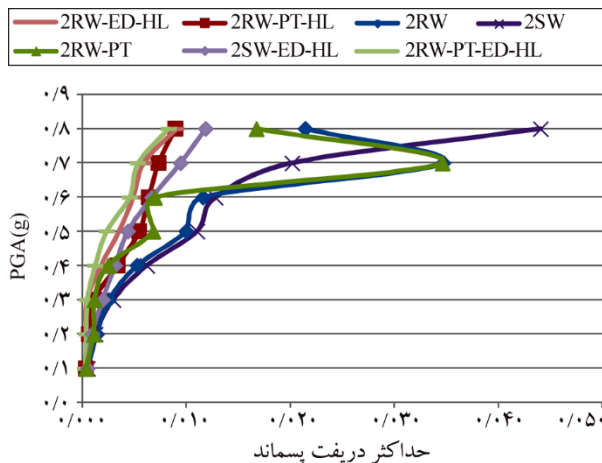


شکل (۸): نمودار IDA نمونه های مختلف در مدل ۵ طبقه مربوط به دریفت حداکثر و شتاب حداکثر.

۹- منحنی‌های IDA مدل ۱۰ طبقه

۹-۱- دررفت پسماند

قبل از هر چیز آنچه در منحنی دررفت پسماند مدل ۱۰ طبقه در شکل (۹) مشهود است تفاوت زیاد مقدار دررفت بین سه نمونه با اتصال صلب قاب به دیوار و سایر نمونه‌ها با اتصال مفصلی می‌باشد. اگرچه اجرای اتصال مفصلی به‌ویژه در سازه‌های بتنی جزئیات خاصی را می‌طلبد ولی با توجه به کاهش چشمگیر دررفت پسماند اجرای آن تنها در محل اتصال قاب به دیوار منطقی به نظر می‌رسد.



شکل (۹): نمودار IDA نمونه‌های مختلف در مدل ۱۰ طبقه مربوط به دررفت پسماند.

بین نمونه‌های دارای اتصال مفصلی قاب به دیوار نمونه 2RW-PT-HL بدون میراگر است. چنان‌که در نمودار نیز مشخص است این نمونه دارای دررفت پسماند کمتری نسبت به 2SW-ED-HL می‌باشد که این نشان‌دهنده‌ی عملکرد مناسب سیستم گهواره‌ای حتی بدون میراگر نسبت به سیستم‌های متداول با وجود میراگر در کاهش دررفت پسماند است.

با اضافه کردن میراگر به سیستم در نمونه 2RW-PT-ED-HL نسبت به 2RW-ED-HL دررفت پسماند کمتری مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی تأثیر کابل‌های پس کشیده در ایجاد نیروی بازگرداننده است. همچنین بین مدل‌های دارای اتصال صلب قاب به دیوار تفاوت چندانی بین سیستم دارای RW و سیستم دارای SW دیده نمی‌شود اگرچه پس کشیدگی دیوار در نمونه 2RW-PT تا شتاب 0.06g

نمونه 1RW-PT نسبت به 1RW-PT-HL دررفت حداکثر کمتری دارد (برخلاف آنچه در مورد دررفت پسماند دیده شد) درحالی‌که شتاب حداکثر نمونه 1RW-PT-HL نسبت به 1RW-PT کمتر است. همچنین نتایج نمودار حداکثر شتاب نشان می‌دهد شتاب حداکثر ایجاد شده در نمونه 1RW-PT-HL زیاد نیست و در شتاب‌های بالاتر از 0.04g فقط اندکی از 1SW بیشتر است. این مشاهده مؤید این واقعیت است که به‌طور کلی در سیستم‌های گهواره‌ای دارای کابل، در صورت اتصال مفصلی دیوار به قاب مجاور، سازه دررفت حداکثر بزرگ‌تری را نسبت به نمونه بدون کابل تجربه می‌کند ولی چون حداکثر شتاب طبقات نسبت به نمونه 1SW چندان زیاد نیست این دررفت حداکثر بزرگ‌تر مخرب نیست و با پیش‌بینی تمهیدات ویژه برای اجزای غیرسازه‌ای می‌توان از دررفت پسماند کمتر این نمونه بهره برد. همچنین در دو نمونه 1RW و 1RW-PT دررفت حداکثر و شتاب حداکثر در 1RW کمتر است.

می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت چنان‌که در نمودار مربوط به دررفت پسماند هم دیده شد، پس کشیدگی دیوار در حالت اتصال صلب قاب و دیوار گرچه باعث کاهش دررفت پسماند نسبت به 1SW شده ولی به دلیل افزایش شتاب مشاهده شده در این نمونه نسبت به سه نمونه دیگر، در صورت اتصال صلب دیوار گهواره‌ای به قاب مجاور، پس کشیدگی دیوار توصیه نمی‌شود. علاوه بر این مانند آنچه در نمودار دررفت پسماند دیده شد افزایش دررفت حداکثر در 0.07g و سپس کاهش آن در 0.08g در منحنی مربوط دو نمونه 1RW-PT و RW-PT-HL دیده می‌شود که در بخش مربوط به دررفت پسماند علت آن بیان شد.

بر اساس این مشاهدات می‌توان گفت در صورت پیش‌بینی تمهیدات ویژه برای اجزای غیرسازه‌ای مدل 1RW-PT-HL به دلیل دررفت پسماند کمتر و تأمین خودمحوریت نسبت به بقیه مناسب‌تر است در غیر این صورت مدل 1RW مناسب است.

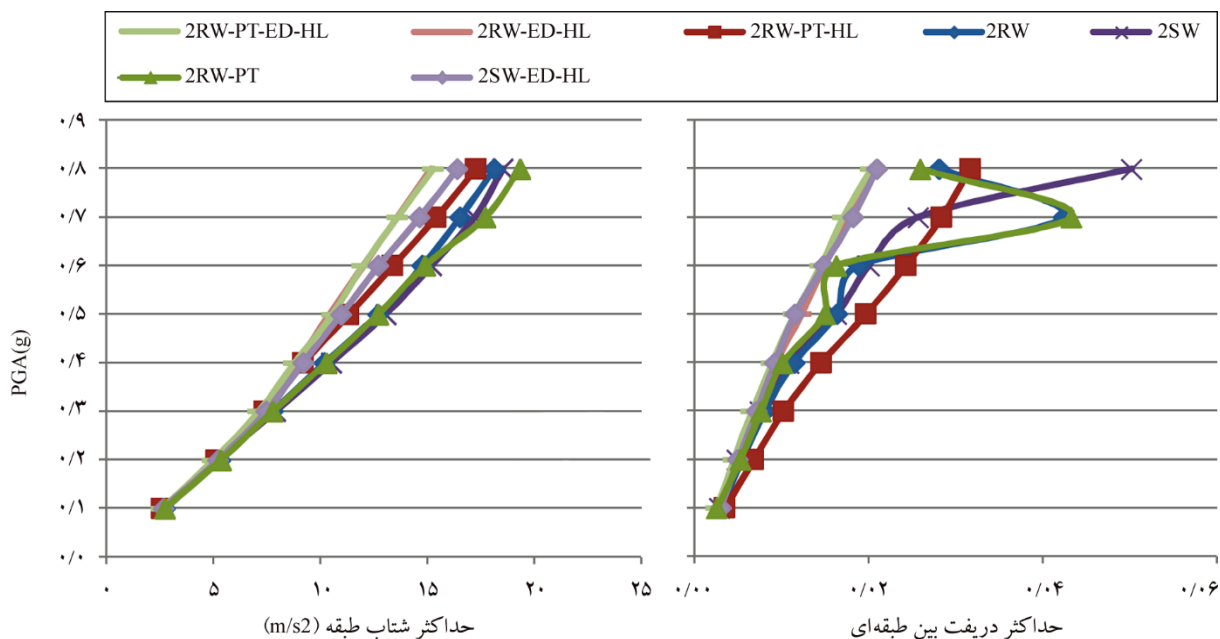
حداکثر نمونه‌های دارای میراگر دریافت حداکثر کمتری تجربه می‌کنند که با توجه به عملکرد میراگر این نتیجه دور از انتظار نیست و کاربرد میراگر باعث شده در نتایج دریافت حداکثر بین مدل‌های دارای RW و مدل‌های دارای SW تفاوت چندانی دیده نشود. در عوض در نمونه‌های بدون میراگر نمونه 2RW-PT-HL تقریباً در اکثر شدت‌های شتاب اعمالی به سازه، دارای دریافت حداکثر بزرگ‌تری نسبت به بقیه است ولی در نمودار شتاب حداکثر رفتار متفاوتی از این نمونه دیده می‌شود. این نمونه با وجود دریافت حداکثر بزرگ‌تر نسبت به سایر نمونه‌های هم‌ردیف خود شتاب کمتری را تجربه کرده است که مشابه همین رفتار در نمونه‌های متناظر در مدل ۵ طبقه هم دیده شد. به‌طور کلی در سیستم‌های گهواره‌ای بدون میراگر در صورت اتصال مفصلی دیوار به قاب مجاور، سازه دریافت حداکثر بزرگ‌تری را نسبت به نمونه‌های دارای اتصال صلب به قاب به دیوار تجربه می‌کند ولی چون حداکثر شتاب طبقات نسبت به نمونه 1SW چندان زیاد نیست این دریافت حداکثر بزرگ‌تر مخرب نیست و با پیش‌بینی تمهیدات ویژه برای اجزای غیرسازه‌ای می‌توان از دریافت پسماند کمتر این نمونه بهره برد.

منجر به کاهش مناسب دریافت پسماند شده است و در شتاب $0.7g$ به یک‌باره افزایش دریافت و سپس در $0.8g$ کاهش دریافت در هر دو نمونه 2RW و 2RW-PT نسبت به نمونه 2SW دیده شد. علت این رفتار به پدیده احیای سازه مربوط می‌شود که پیش‌تر راجع به آن توضیح داده شد و نقطه متناظر با شتاب $0.7g$ را در منحنی مربوط به این دو نمونه می‌توان نقطه احیای سازه دانست.

بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت بر خلاف مدل ۵ طبقه در صورت اجرای اتصال صلب قاب به دیوار، دیوار دارای کابل بهتر از دیوار بدون کابل در کاهش دریافت پسماند عمل می‌کند. همین‌طور برای اطمینان از بروز خودمحموری با توجه به حد 0.2 درصد برای دریافت پسماند در زلزله طرح و 0.3 درصد در زلزله حداکثر چنان‌که در نمودار نیز مشخص است در نمونه 2RW-PT-ED-HL تا شتاب $0.5g$ خودمحموری تأمین شده که بهترین حالت را نسبت به سایر نمونه‌ها دارد. با این وجود در شتاب‌های بالاتر دریافت پسماند از حد مجاز فراتر است که نشان‌دهنده ضعف سیستم در تأمین خودمحموریت در شدت‌های بالای شتاب می‌باشد.

۹-۲- دریافت حداکثر و شتاب حداکثر

مطابق با نمودار ارائه شده در شکل (۱۰) برای دریافت



شکل (۱۰): نمودار IDA نمونه‌های مختلف در مدل ۱۰ طبقه مربوط به دریافت حداکثر و شتاب حداکثر.

۱۰- عملکرد میراگرها

به دلیل تعدد مدل‌ها و تحلیل‌های صورت گرفته برای مشاهده میزان جذب انرژی میراگرها در این قسمت تنها منحنی رفتاری میراگر بالاترین طبقه از مدل ۱۰ طبقه تحت شتاب $0.6g$ رکوردها کوبه نشان داده شده است.

با توجه به منحنی‌های هیستریزس ارائه شده در شکل (۱۱) عملکرد میراگرها مطابق انتظار و درست ارزیابی می‌شود. در مدل گهواره‌ای جابه‌جایی بیشتری نسبت به مدل دیوار برشی متداول (شکل ۱۱-الف) در میراگر دیده می‌شود که با توجه به ماهیت حرکت گهواره‌ای این قضیه قابل پیش‌بینی بود. همچنین در مدل 2RW-PT-ED-HL (شکل ۱۱-پ) نسبت به 2RW-ED-HL (شکل ۱۱-ب) جابه‌جایی اندکی بیشتر است که این را می‌توان ناشی از اثر دوجانبه کابل در کنترل حرکت گهواره‌ای دانست.

۱۱- تاریخچه پاسخ تغییر مکان طبقه بام

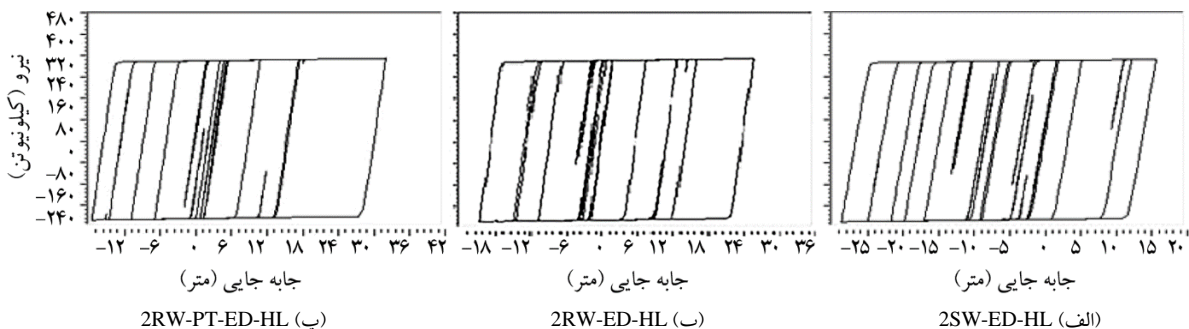
در این قسمت نیز برای نشان دادن پاسخ تاریخچه زمانی تغییر مکان طبقه بام و مقایسه آنها از نتایج رکوردها کوبه در شتاب $0.6g$ استفاده شده است. در نمودار تاریخچه پاسخ هر یک از مدل‌ها میزان تغییر مکان پسماند طبقه بام هم گزارش شده است.

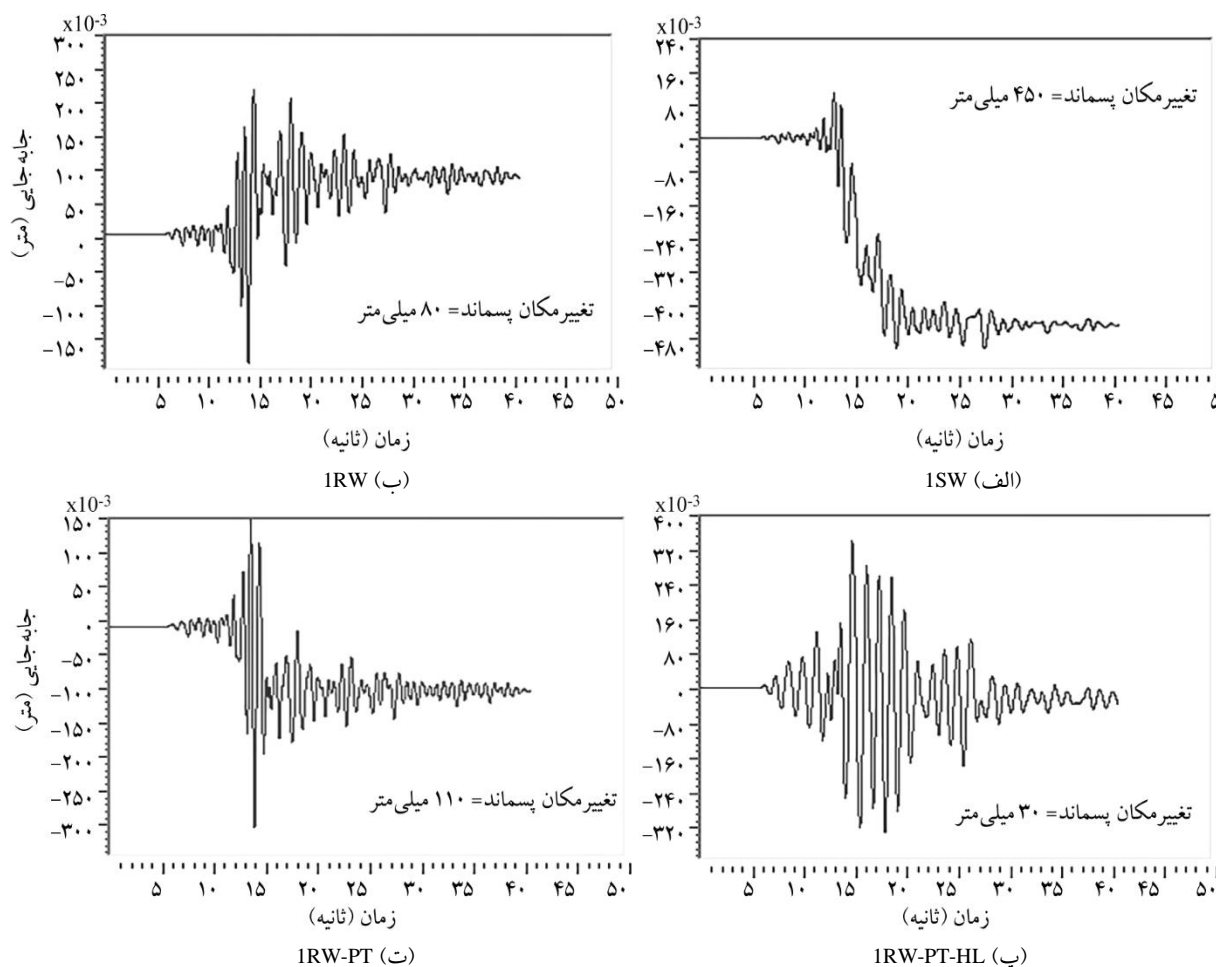
همان‌طور که در نمودارهای شکل (۱۲) ملاحظه می‌شود در مدل ۵ طبقه تاریخچه پاسخ تغییر مکان در نمونه 1SW نسبت به سه نمونه دیگر که دارای دیوار گهواره‌ای می‌باشند متفاوت است.

سه نمونه دیگر از بین مدل‌های بدون میراگر و با اتصال صلب قاب به دیوار رفتار متفاوتی نداشتند و تنها در نمونه 2RW-PT و 2RW همان‌طور که در نمودار دریافت پسماند مشاهده شد در شتاب $0.7g$ به یک‌باره افزایش دریافت سپس در $0.8g$ کاهش دریافت دیده شد. علت این رفتار به پدیده احیای سازه مربوط می‌شود و نقطه متناظر با شتاب $0.7g$ را در منحنی مربوط به این دو نمونه می‌توان نقطه احیای سازه دانست. در هر حال در این سه نمونه که عبارتند از 2RW، 2RW-PT و 2SW تفاوت معناداری بین مدل دارای SW و مدل دارای RW در دریافت حداکثر دیده نمی‌شود. در نمودار حداکثر شتاب طبقات بیشترین شتاب مربوط به نمونه 2RW-PT است. از طرفی دریافت حداکثر این نمونه نیز کاهش قابل ملاحظه‌ای نسبت به نمونه 2SW ندارد در این نمودار بین نمونه‌های مختلف تفاوت اندکی دیده می‌شود و مطابق انتظار نمونه‌های دارای میراگر، شتاب کمتری را تجربه کرده‌اند.

مشابه با مدل ۵ طبقه، چنان‌که در نمودار مربوط به دریافت پسماند هم دیده شد، گرچه پس کشیدگی دیوار در حالت اتصال صلب قاب و دیوار باعث کاهش دریافت پسماند نسبت به 2SW شد ولی به دلیل افزایش شتاب مشاهده شده در این نمونه نسبت به سه نمونه دیگر در صورت اتصال صلب دیوار گهواره‌ای به قاب مجاور، پس کشیدگی دیوار توصیه نمی‌شود.

بین نمونه‌های بدون میراگر نیز 2RW-PT-HL شتاب کمتر و پس از آن 2RW شتاب کمتری را نسبت به 2SW تجربه نموده است که این نشان از عدم وارد شدن خرابی قابل ملاحظه به اجزای غیر سازه‌ای در سیستم‌های گهواره‌ای دارد.



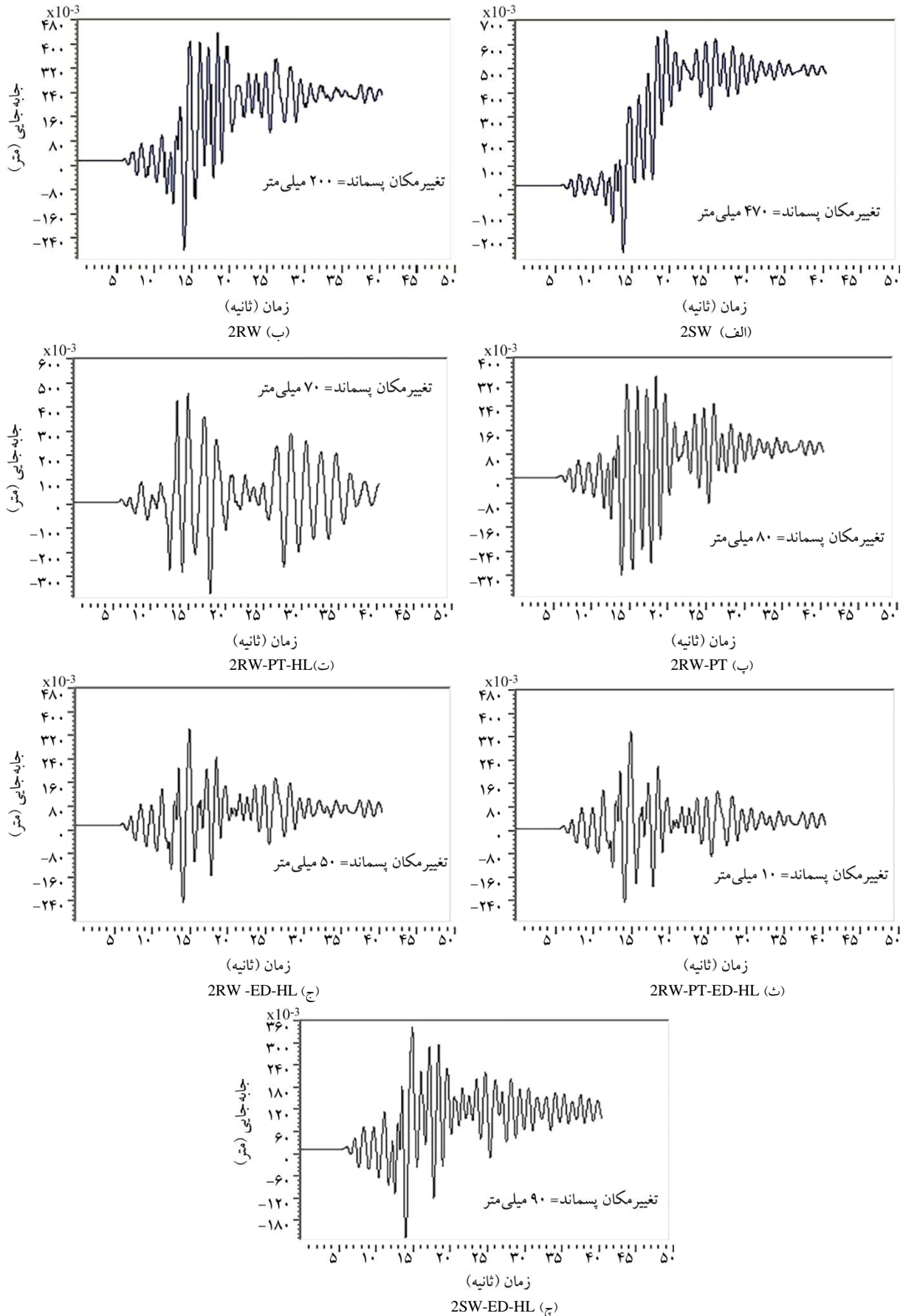


شکل (۱۲): تاریخچه پاسخ تغییر مکان طبقه بام و تغییر مکان پسماند در مدل ۵ طبقه در شدت $0.6g$ رکورد کوبه.

رکورد و تنها در یک شدت نمی‌تواند به صورت دقیق مبنای مقایسه در مورد رفتار نمونه‌های مختلف باشد و قضاوت راجع به عملکرد این سیستم‌ها نیازمند بررسی بیشتر تحت رکوردهای متفاوت است که در حوصله این مقاله نمی‌گنجد.

در مورد مدل ۱۰ طبقه نیز با توجه به نمودارهای شکل (۱۳) بیشترین تغییر مکان پسماند در طبقه بام مربوط به نمونه 2SW می‌باشد. همچنین در مقایسه بخش (ب) با (پ) و (ث) در شکل (۱۳) پس کشیدگی در دیوارهای گهواره‌ای تغییر مکان پسماند را به وضوح کاهش داده است. دامنه جابه‌جایی در بخش (الف) تا (ث) شکل (۱۳) مربوط به نمونه‌های بدون میراگر تفاوت چندانی با هم ندارد و در نمونه‌های دارای میراگر نیز تغییر مکان پسماند و دامنه جابه‌جایی در مدل‌های دارای دیوار گهواره‌ای کمتر از مدل 2SW-ED-HL می‌باشد.

در این نمونه جابه‌جایی طبقه بام با تغییر جهت شتاب اعمالی به صورت محدود تغییر جهت داده و عمده جابه‌جایی معطوف به یک جهت است که این را می‌توان ناشی از سختی دیوار برشی که در یک طرف قاب متمرکز شده دانست. همچنین تغییر مکان پسماند ISW از سه نمونه دیگر بسیار بیشتر است. دامنه جابه‌جایی در نمونه IRW-PT-HL نسبت به بقیه بیشتر و تغییر مکان پسماند همین نمونه از سه نمونه دیگر کمتر می‌باشد. بنابراین در بررسی تاریخچه پاسخ تغییر مکان طبقه بام، نمونه IRW-PT-HL از نظر دریافت پسماند رفتار قابل قبولی داشته ولی چنانکه در قسمت‌های قبل نیز توضیح داده شد جابه‌جایی زیادی را تجربه می‌کند که در صورت عدم پیش‌بینی تمهیدات ویژه نمونه IRW هم مناسب ارزیابی می‌شود. روشن است که نتایج گزارش شده بر مبنای یک



شکل (۱۳): تاریخچه پاسخ تغییر مکان طبقه بام و تغییر مکان پسماند در مدل ۱۰ طبقه در شدت $0.6g$ رکورد کوبه.

۱۲- نتیجه گیری

- بر اساس این مشاهدات می توان گفت در مدل ۵ طبقه در صورت پیش بینی تمهیدات ویژه برای اجزای غیرسازه ای مدل IRW-PT-HL یعنی دیوار دارای اتصال مفصلی به قاب مجاور و مجهز به کابل به دلیل دررفت پسماند کمتر و تأمین خودمحموریت در زلزله طرح مناسب است در غیر این صورت مدل IRW دارای اتصال صلب به قاب مجاور و بدون کابل می تواند باعث کاهش قابل توجه دررفت پسماند شده ولی به لحاظ تأمین خودمحموریت جوابگو نیست.

- همچنین توصیه می شود در سازه های بلند حتماً از دیوار پس کشیده در مدل گهواره ای استفاده شود. چنان که در نتایج و نمودارها نیز مشخص است برای مدل ۱۰ طبقه بهترین گزینه نمونه 2RW-PT-ED-HL و در صورت عدم کاربرد میراگر در سازه با پیش بینی تمهیدات ویژه برای اجزای غیر سازه ای و اجرای اتصال مفصلی بین قاب و دیوار نمونه 2RW-PT-HL گزینه مناسبی می باشد.

- همچنین به دلیل افزایش شتاب طبقه، استفاده از کابل در صورت اتصال صلب دیوار به قاب مجاور توصیه نمی شود.

- در مورد وضعیت مفاصل ایجاد شده در نمونه ها نیز باید گفت تفاوت معناداری بین مدل های گهواره ای و دیوار برشی متداول دیده نمی شود. اگر چه مدل های دارای میراگر وضعیت بهتری دارند که این از مزایای سیستم های مجهز به میراگر محسوب می شود.

با این وجود باید گفت اساساً دیوارهای گهواره ای نه بر ترتیب تشکیل مفاصل پلاستیک اثر گذارند و نه از ایجاد آنها جلوگیری می کنند [۱۷] و مهم ترین مزیت این دیوار را می توان در کاهش دررفت پسماند دانست.

و در آخر باید گفت برای حصول یک طرح ایده آل به لحاظ تأمین خودمحموریت و یک سیستم با خسارت محدود مدل پیشنهادی نیاز به اصلاحاتی دارد که اجتناب ناپذیر است. این اصلاحات می تواند شامل تغییراتی در جانمایی کابل های پس کشیده، تعداد آنها و یا میزان پس کشیدگی آنها باشد. از این رو مطالعه و بررسی بیشتر برای حصول یک طرح بهینه ضروری به نظر می رسد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از جناب آقای دکتر سید علی مؤید علایی مدیرعامل محترم شرکت بهسازاندیشان تهران و مهندس آرشی رایگانی به خاطر راهنمایی ها و در اختیار قرار دادن وقت با ارزششان کمال تشکر و قدردانی را دارند. همچنین از راهنمایی های مهندس وحید محسنیان و مهندس محسن رستمی سپاسگزاری می شود.

مراجع

1. Wiebe, L. (2008) *Mitigation of Higher Mode Effects in Self-Centering Walls by Using Multiple Rocking Sections*. An Individual Study Submitted for the Master Degree, University of Pavia.
2. Wada, A. (2012) Pin-supported walls for enhancing the seismic performance of building structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **41**, 2075-2091.
3. Filiatrault, A. (2004) Development of self-centering earthquake resisting systems. *13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 3393.
4. Wada, A. (2010) Seismic retrofit of existing SRC frame using rocking walls and steel dampers. *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*. **5**(3), 259-266.
5. Makris, N. and Aghagholizadeh, M. (2017) The dynamics of an elastic structure coupled with a rocking wall. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **46**, 945-962. DOI: 10.1002/eqe.2838.
6. 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**, 995-1006, DOI: 10.1002/tal.1101.
7. Grigorian, C.E. and Grigorian, M. (2015) Performance Control and Efficient Design of Rocking-Wall Moment Frames. *Journal of Structural Engineering*, DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001411.
8. Henry, S.R. (2016) Residual drift analyses of realistic

- | | | |
|--|--|--|
| Uplift | ۲- بلندشدگی | self centering concrete wall systems. <i>Earthquakes and Structures</i> , DOI: 10.12989/eas.2016.10.2.409. |
| Precast Seismic Structural Systems Program | ۳- برنامه هماهنگ تحقیقاتی روی سازه‌های لرزه‌ای پیش ساخته | 9. Qingzhi, L. (2016) <i>Study on Interaction between Rocking-Wall System and Surrounding Structure</i> . A Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy, University Of Minnesota. |
| Hinged Wall | ۴- دیوار با تکیه‌گاه مفصلی | 10. ACI (2008) <i>Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary</i> . ACI Committee 318, Farmington Hills, MI. |
| Fixed Base | ۵- تکیه‌گاه گیردار | 11. Saqayean, A. and Nateghi, E.F. (2010) Comparison of different modeling methods in predicting nonlinear behavior of shear walls. <i>Journal of Seismology and Earthquake Engineering</i> , International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran (in Persian). |
| Precast Wall with End Columns (Pre WEC) | ۶- دیوار پیش ساخته با ستون‌های انتهایی | 12. SAP2000, Version 14.00 (Copyright 1976-2009) (1995) A product of Computers and Structures University Ave, Berkeley, California. |
| Strand | ۷- رشته | 13. Hashemian, B. (2014) Study on the influence of post-tensioned cables on the behavior of steel rocking structures using pushover analysis. <i>Second National Conference on Structural Engineering</i> , Amirkabir University, Tehran (in Persian). |
| Connector | ۸- بست | 14. <i>Pars PBL Group</i> [Online]. Available: www.parspblco.com/downloads/catalogue/catalogue_e.pdf [2017, October 17]. |
| Peak Ground Acceleration (PGA) | ۹- بیشینه شتاب جنبش زمین | 15. <i>Behsaz Andishan Tehran</i> [Online]. Available: www.behsazandishan.com [2017, November 2] (Personal Communication). |
| | | 16. Vamvatsikos, D. and Cornell, C.A. (2002) Incremental Dynamic Analysis. <i>Earthquake Engng. Struct. Dyn.</i> |
| | | 17. Grigorian, C.E. and Grigorian, M. (2016) An introduction to the structural design of rocking wall-frames with a view to collapse prevention, self-alignment and reparability. <i>The Structural Design of Tall and Special Buildings</i> , 25 , 93-111, DOI: 10.1002/tal.1230. |

واژه‌نامه

۱- بلندشدگی آزادانه Free-Standing

Performance Evaluation of Rocking Wall Moment Frame Using Incremental Dynamic Analysis (IDA)

Nader Khaje Ahmad Attari¹ and Zahra Rahimi Sojasi^{2*}

1. Associate Professor, Road Housing and Urban Research Center, Tehran, Iran

2. M.Sc. Student in Earthquake Engineering, Road Housing and Urban Research Center, Tehran, Iran,

*Corresponding Author, email: zahra.rahimi@bhrc.ac.ir

Conventional seismic lateral force resisting systems dissipate seismic energy through distributed damage to primary structural elements and residual drifts, which can result in significant socio-economic losses due to repair costs and business downtime after an earthquake event. Although these systems have low primary cost in the construction process, the recent recommendation of seismic design guidelines, which was minimizing the horrible seismic consequences of an earthquake led to the wide range of analytical and experimental research on the new generation of seismic structure system called low-damaged system. One of these low-damaged systems is Rocking wall.

Like a traditional structural wall, a base-rocking system acts as a vertical cantilever to transfer lateral building loads to the foundation through shear and bending moments in the wall. The system is not capable of transmitting tension to the foundation; however, it is not rigidly tied to it as a traditional wall. Base bending moments are resisted by the restoring moment available due to the gravity loads acting on the wall, and once that effect is exceeded, a gap opens at the base of the wall. Because no elements yield during this process, the nonlinear behavior of the structure is not associated with permanent deformations. Reports of retrofitting projects indicate that there are significant economic costs in the foundation of the shear walls due to the large reaction forces at the base of the wall. Therefore, it is expected to economize the cost of construction by extending the details of the design of the rocking systems.

On the other word, rocking walls can rock on the foundation during the earthquake by releasing the rotational constraint at the base, and they reduce residual drift by returning the attached structure to the original position.

In this research, the behavior of the Reinforce Concrete frame with rocking wall is investigated using nonlinear Incremental Dynamical Analysis in two 2D models with 5-storey and 10-storey.

Far field record set of the FEMA-p695 were used for IDA analysis and the structure response was compared with the corresponding frame response with conventional shear wall. There are 11 samples in total, four samples were designed for the 5-story model and seven samples for the 10-storey model, and 56 non-linear time histories analysis was performed on the each sample. Seven pairs of far field records, which are horizontal components were selected in proportion of record selection criteria of FEMA-p695. One of each pair of the records with larger peak ground acceleration was selected and they were scaled first to the gravity acceleration and second to the weight coefficient of intensity. Analysis and design of models are performed using SAP2000-v14 software.

Rocking walls are modeled such as pre-stress reinforce concrete wall with unbounded post-tensioned cables. Rocking movement is modeled using gap element and hinge constraint at the bottom of the wall. Rigid beams are used to connect the frame to the wall.

The results show that the rocking wall in both 5 and 10 storey models has a significant reduction in residual drift, and by equipping them with post-tensioned cables and dampers in 10-story model, can insure of the behavior of non-structural components during the earthquake. The connection of the frame to the wall was also investigated in different models, and hinge connection of the frame to the wall was evaluated well for the proper behavior of the rocking system.

Although the design and construction of such systems is still not common in the worldwide due to the high uncertainties, further study and research in this field can lead to applied design and evolution in the current constructions.

The purpose of this study is first to become more familiar with rocking walls and then to survey the behavior and performance of these walls in combination with concrete moment frame. However, simplification has been done in the software for simulation of this system, which will definitely affect the results. The general view obtained by these results will be effective in the study process on these systems.

Keywords: Self-Centering Dual System, Rocking Wall, Residual Drift, IDA Analysis.