

آسیب‌های ناشی از زلزله در سازه‌های بتنی باعث شده است که روش‌های نوینی برای طراحی و ساخت سازه‌های بتنی مقاوم در برابر زلزله توسعه پیدا کنند اما زلزله‌های اخیر نشان داده‌اند که ساختمان‌های بتنی تحت اثر زلزله دچار آسیب‌هایی می‌شوند که تعمیر آنها را بسیار دشوار و حتی غیر ممکن می‌گرداند؛ لذا در این پژوهش به معرفی سیستم نوینی پرداخته شده است که با استفاده از سازوکار حرکت گهواره‌ای در دیوارهای برشی سازه، آسیب را به فیوزهای سازه منتقل می‌کند و باعث می‌شود سازه بتنی در حین زلزله و پس از آن ایمن باقی بماند و تعمیرپذیری بسیار ساده‌ای داشته باشد. جزئیات دقیق اتصالات و طراحی این سیستم در نرم‌افزار ABAQUS و تحلیل غیرخطی سازه‌های ۴ طبقه بتنی منظم مجهز به دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای در نرم‌افزار SAP و تحت هفت رکورد لرزه‌ای حوزه نزدیک گسل انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از سیستم دیوارهای برشی دارای حرکت گهواره‌ای در مقایسه با سازه‌های بتنی فاقد آن به طرز مؤثری آسیب وارده به سازه را در اثر اعمال رکوردهای لرزه‌ای کاهش داده و سازه بتنی مجهز به آن سالم باقی مانده است. همچنین سطوح عملکردی سازه مجهز به دیوارهای برشی دارای گهواره‌ای نیز در ناحیه خدمت‌رسانی بی‌وقفه باقی مانده است اما در سازه بتنی فاقد آن مفاصل پلاستیک حتی وارد ناحیه فروریزش شده است. بهبود رفتار لرزه‌ای سازه مجهز به دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای به میزان ۳۰ درصد بیشتر از سازه مشابه فاقد آن بوده است.

واژگان کلیدی: خسارت محدود، ساختمان تعمیرپذیر بتنی، دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای.

ارزیابی رفتار لرزه‌ای ساختمان خسارت محدود بتنی مجهز به دیوارهای برشی بتنی دارای حرکت گهواره‌ای

محسن رستمی (نویسنده مسئول)

دانشجوی دکتری سازه، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،
st_m_rostami@azad.ac.ir

زینب ولی‌پوری

دانشجوی دکتری سازه، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

فاطمه گرجی سینکی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زلزله، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

عبدالرضا سروقد مقدم

دانشیار، پژوهشکده مهندسی سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

۱- مقدمه

بیشتری از ساختمان‌ها بهره‌برداری کرد. یکی از روش‌های نوین برای بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی استفاده از سیستم‌هایی است که موجب محدود شدن خسارت در سازه می‌شود. از جمله این روش‌ها می‌توان به سیستم‌های دارای حرکت گهواره‌ای اشاره کرد. در این سیستم‌ها ساختمان اصلی به صورت الاستیک رفتار می‌کند به طوری که جذب انرژی و عملکرد غیرخطی تنها در قسمت‌های مشخصی از ساختمان که از قبل طراحی شده‌اند، رخ می‌دهد که در این پژوهش به معرفی و مدل‌سازی و تحلیل غیرخطی سازه‌های بتنی مجهز به دیوارهای برشی دارای حرکت گهواره‌ای پرداخته شده است.

سیستم‌های رایج مقاوم در برابر نیروی زلزله، اغلب رفتاری غیرخطی را در طی یک زلزله بزرگ، در سراسر سازه تجربه می‌کنند که نهایتاً تغییر شکل باقیمانده و خرابی توزیع شده در سازه را نتیجه می‌دهد، به طریقی که تعمیر این خرابی‌ها مقرون‌به‌صرفه نیست و برخی اوقات به تخریب سازه منجر می‌گردد، به همین دلیل پس از زلزله‌ای نسبتاً شدید، این ساختمان‌ها دچار خسارت و تخریب شده و به منظور استفاده مجدد از سازه احتیاج به صرف وقت و هزینه زیاد می‌باشد و این موضوع باعث ایجاد ایده جدیدی به منظور محدود کردن خسارت در نقاط مشخصی از سازه شده است. بدین وسیله می‌توان با تعویض المان‌های آسیب‌دیده با سرعت

۲- مروری بر پژوهش‌های انجام شده در زمینه حرکت گهواره‌ای

امروزه بسیاری از ساختمان‌ها نیاز دارند که پس از زلزله به سرعت به عملکرد و وظیفه اولیه خود بازگردند. یکی از روش‌هایی که پیشنهاد می‌شود استفاده از حرکت گهواره‌ای ساختمان در پایه خودش به وسیله سازوکار حرکت گهواره‌ای می‌باشد، در حقیقت در این سیستم از اثر وزن ساختمان در تمرکز و هدایت آسیب استفاده می‌شود، این سیستم از تسلیم شدن سازه‌های فلزی در اثر تغییر شکل‌های پسماند جلوگیری کرده و سازه بعد از چندین زلزله قابل استفاده می‌باشد [۱].

به طور کلی حرکت گهواره‌ای به چهار دسته زیر تقسیم می‌شود:

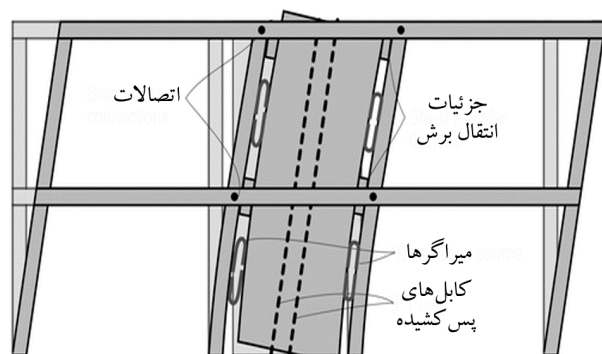
۱. ستون‌های دارای حرکت گهواره‌ای [۲]

۲. دیوارهای برشی دارای حرکت گهواره‌ای [۳]

۳. قاب‌هایی دارای حرکت گهواره‌ای [۴]

۴. ساختمان‌هایی با حرکت گهواره‌ای کل سازه

هجار و همکارانش [۵] در سال ۲۰۰۸ به مطالعه سیستم‌هایی با عملکرد بالا که به سازه اجازه می‌دهند به راحتی پس از زلزله تعمیر شوند پرداختند. آنها این کار را با استفاده از قاب‌های فولادی که به صورت گهواره‌ای کنترل شده‌اند انجام دادند. با استفاده از فیوزهای اتلاف انرژی قابل تعویض در این سیستم‌ها، تغییر مکان‌های ماندگار حذف شده و آسیب‌های سازه‌ای در المان‌های فیوز متمرکز می‌شوند. در شکل (۱) سیستم دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای دیده می‌شود.



شکل (۱): سیستم دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای [۵].

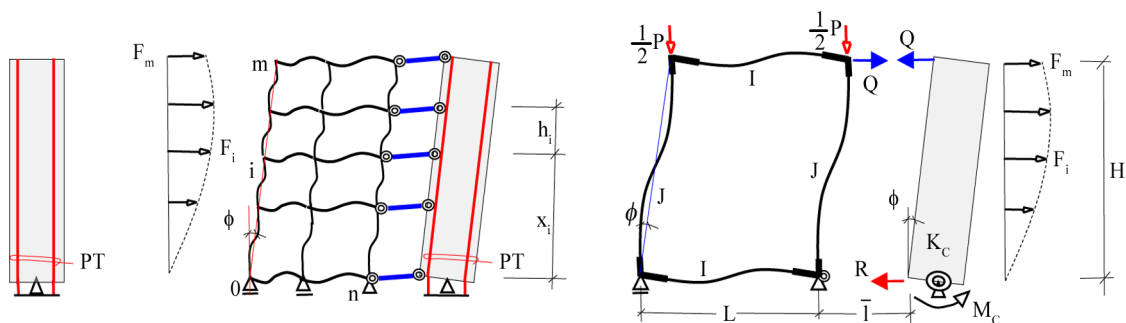
آزوهاتا و همکارانش [۶] در سال ۲۰۰۸ به منظور کاهش آسیب لرزه‌ای یک سیستم برگشت پذیر که از اعضای سازه‌ای گهواره‌ای تشکیل یافته را پیشنهاد کردند که در این سیستم قسمت‌هایی از سازه قابلیت بلندشدگی در هنگام زمین لرزه را داراست. پولینو و برونو [۷] در سال ۲۰۰۸ به تحلیل و بررسی پاسخ لرزه‌ای دینامیکی ستون‌های پل مهاربندی شده فولادی که قابلیت بلندشدگی و حرکت گهواره‌ای در فونداسیون خود را دارند، پرداختند. حرکت گهواره‌ای در ستون‌ها این امکان را ایجاد می‌کند که آسیب به قسمت محدودی هدایت شود که این المان‌های آسیب دیده قابل تعویض می‌باشند. در طول حرکت گهواره‌ای، همان گونه که ستون‌ها در حال چرخش از یک پایه به پایه دیگر هستند، ضربه و بلندشدگی فونداسیون، مدهای ارتعاشی عمودی را تحریک کرده و باعث افزایش برش پایه و افزایش نیروی محوری در پایه‌ها می‌شود. در این مقاله روشی ارائه کردند که مقدار افزایش نیروی دینامیکی به منظور تعیین ظرفیت المان‌های موجود مشخص می‌شود. سائوز و همکارانش [۸] در سال ۲۰۱۰ به مطالعه یک نوع جدیدی از قاب‌های فولادی مهاربندی شده هم محور پرداختند که ظرفیت تغییر مکان نسبی بیشتری قبل از آسیب دارد که منجر به تغییر شکل‌های ماندگار کمتری تحت بارگذاری زلزله می‌شوند. این قاب‌های برگشت پذیر با انگیزه کمتر کردن آسیب سازه‌ای تحت بارگذاری زلزله و فراهم آوردن ظرفیت جابه‌جایی نسبی غیرخطی و تغییر شکل ماندگار به کار گرفته شده است. ایترون و همکارانش [۹] در سال ۲۰۱۰ یک سیستم جدید سازه‌ای را توسعه دادند که در آن از قاب‌هایی با حرکت گهواره‌ای کنترل شده و فیوزهای سازه‌ای قابل تعویض استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها عملکرد مناسب سیستم گهواره‌ای کنترل شده را نشان می‌دهد. پولینو و برونو [۱۰] در سال ۲۰۱۵ در مقاله‌ای به ارائه روشی به عنوان سیستم‌های سازه‌ای برگشت پذیر و گهواره‌ای جدید به صورت قاب‌های فولادی مهاربندی شده گهواره‌ای پرداختند. در این روش انتقال نیروها با استفاده از ابزارهای جاذب انرژی منفعل تشریح شده و یک روش ساده شده به منظور



شکل (۲): دیوارهای برشی دارای حرکت گهواره‌ای در دانشگاه تی‌آی‌تی در پژوهش واد و همکاران [۱۲].

۳- معرفی سیستم نوین دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای و طراحی آن در نرم‌افزار ABAQUS

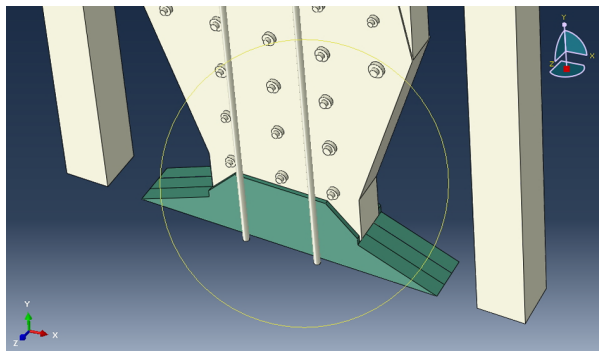
در این سیستم نوین که بر اساس تئوری‌های قبلی توسعه یافته است به جای قرارگیری مستقیم دیوار برشی بر روی فونداسیون و تماس بتن با بتن از یک غلاف مخصوص فولادی مطابق شکل (۴) استفاده شده است؛ همچنین این دیوار برشی در قسمت پایینی و قرارگیری بر روی فونداسیون دارای باریک‌شدگی قابل توجهی می‌باشد تا بلندشدگی دیوار برشی بسیار ساده‌تر انجام شود. اتصال دیوار برشی بتنی و غلاف فولادی توسط پیچ‌هایی با مقاومت بالا مطابق شکل انجام شده است. دیوار برشی بتنی در این روش در محدوده الاستیک باقی می‌ماند اما میراگرهای جاری شونده متصل به دیوار برشی در اثر بلندشدگی دیوار برشی قسمت عمده از نیروی لرزه‌ای وارده را مستهلک می‌نمایند.



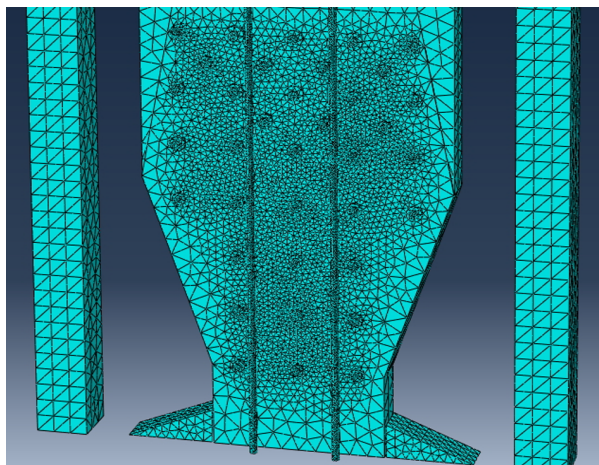
شکل (۳): استفاده از تاندون در المان دیوار گهواره‌ای با تکیه‌گاه مفصلی [۱۶].

اندازه‌گیری تغییر شکل بیشینه دینامیکی و نیروهای به وجود آمده پیشنهاد شده است. دیانتی و هوانگ [۱۱] در سال ۲۰۱۵ به ارزیابی عملکرد سیستم‌های برگشت‌پذیر به منظور افزایش ظرفیت جابه‌جایی نسبی سیستم‌های قاب مهاربندی شده قبل از بروز آسیب پرداختند. سیستم دارای اجزایی در پایه ستون است که اجازه بلندشدگی به ستون را در سطح مشخصی از لنگر واژگونی، در نتیجه‌ی نیروهای جانبی می‌دهد. همچنین مقاوم‌سازی دانشگاه تی‌آی‌تی ژاپن توسط دیوارهای برشی دارای حرکت گهواره‌ای در پژوهش واد و همکاران [۱۲] یک نمونه اجرایی واقعی از دیوارهای برشی دارای حرکت گهواره‌ای است و این یک پژوهش بسیار مهم کاربردی است زیرا این سیستم نوین را به صورت اجرایی در یک ساختمان میان‌مرتبه به کار برده است. در شکل (۲) دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای دیده می‌شود. همچنین می‌پامپاتسیکوس و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۲۰ به پژوهش در زمینه طراحی و مطالعه کابل‌های پس‌کشیده در دیوارهای برشی دارای حرکت گهواره‌ای پرداختند. گو و همکاران [۱۴] به مطالعه رفتار لرزه‌ای سازه‌های دارای دیوارهای برشی حرکت گهواره‌ای در رکوردهای لرزه‌ای حوزه نزدیک پالس‌دار پرداختند. نتیجه مطالعه آنان کارایی مناسب دیوارهای گهواره‌ای در بهبود رفتار لرزه‌ای است [۱۴]. نظری و سرتاران [۱۵] به بررسی اثرات میرایی‌های مختلف بر روی رفتار لرزه‌ای دیوارهای گهواره‌ای پرداخته‌اند.

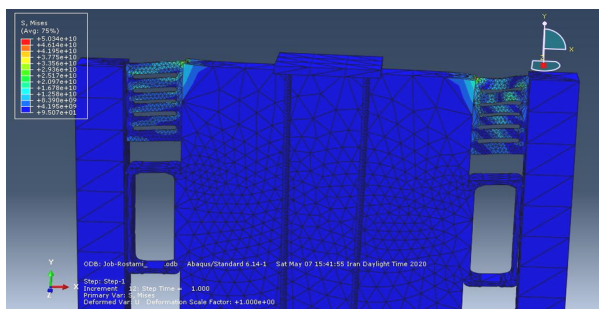
در شکل (۳) مدل مفهومی دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای در پژوهش گریگوریان و گریگوریان [۱۶] دیده می‌شود.



شکل (۵): نحوه اتصالات بای دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای.

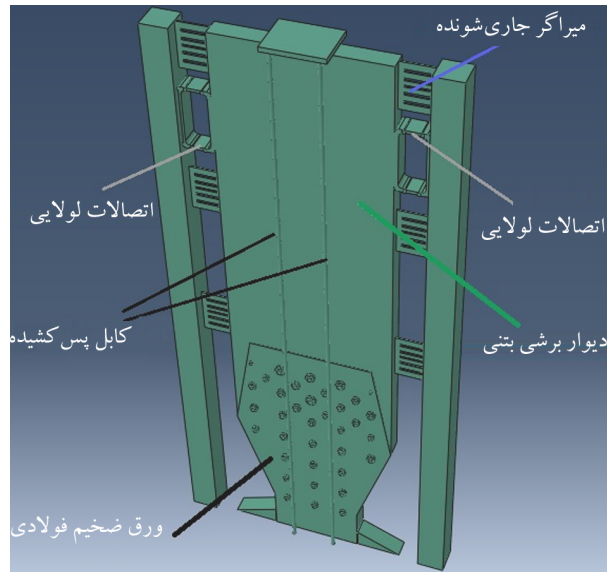


شکل (۶): مش بندی بهینه دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای و کابل های پس کشیده.



شکل (۷): خروجی تنش های فون میزس ایجاد شده در میراگرهای اطراف دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای.

خروجی های تحلیل در شکل (۷) نشان می دهند که عمده تنش ها در قسمت میراگرها رخ داده است و دیوار برشی بتنی در محدوده رفتار خطی باقی مانده است. در میانه نمودار شکل (۸) یک باریک شدگی در منحنی هیستریزس دیده می شود که برگشت پذیری به دلیل وجود کابل های پس کشیده رخ داده است.



شکل (۴): جزئیات دیوار برشی طراحی شده در نرم افزار ABAQUS.

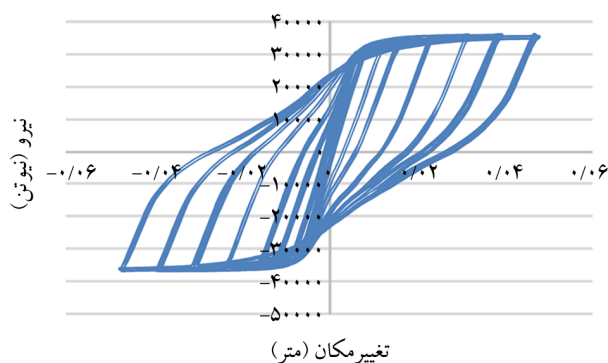
همچنین به وسیله کابل های پس کشیده برگشت پذیری سیستم تأمین می شود. توضیحات کامل این سیستم نوین در شکل (۴) نشان داده شده است. اتصالات لولایی به منظور مقابله با کمانش خارج از صفحه دیوار برشی طراحی شده اند و همگی پیچ ها از نوع M24 هستند و همچنین کابل های پس کشیده از نوع کابل هفت رشته ای استاندارد با نیروی پس کشیدگی ۱۰ تن می باشند.

یکی از موضوعات بسیار مهم در عملکرد این سیستم دیوار برشی نوین این است که کمانش خارج از صفحه نداشته باشد به همین دلیل از اتصالات لولایی خاصی استفاده شده است تا بتواند مانع کمانش خارج از صفحه دیوار برشی گردد. در ضمن عملکرد مناسب این سیستم به طراحی بسیار وابسته است. همچنین در محل اتصال نیز باید جزئیات خاص شکل (۵) برای بهبود و ایمنی حرکت گهواره ای انجام شود. قسمت سبز رنگ از فولاد ST-52 ساخته شده است و دیوار برشی نیز در درون یک غلاف فولادی که دارای بولت M24 است قرار گرفته است. در شکل (۵) جزئیات دقیق نشان داده شده است.

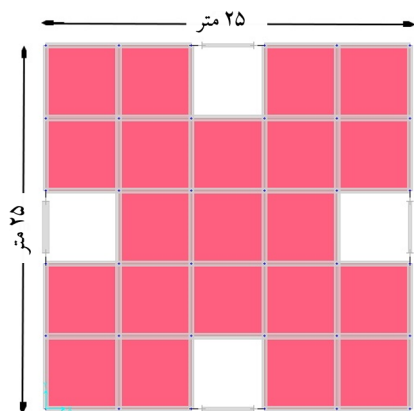
مش بندی به گونه ای بهینه انجام شده است تا در محل اتصالات و بلت ها مش های ریزتری اعمال شود تا دقت در تحلیل بالا رود. همان طور که در شکل (۶) دیده می شود مش بندی کابل ها نیز به صورت مناسبی انجام شده است.

جدول (۱): مشخصات سیستم‌های سازه‌ای مدل‌سازی شده.

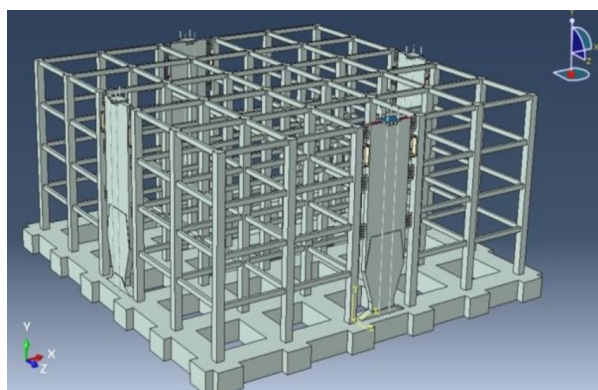
سیستم سازه‌ای	طبقه	ارتفاع هر طبقه (متر)	ارتفاع کل سازه (متر)	بعد طولی پلان (متر)	بعد عرضی پلان (متر)
حرکت گهواره‌ای	۶	۳/۳	۱۹/۸	۲۵	۲۵
قاب خمشی ویژه	۶	۳/۳	۱۹/۸	۲۵	۲۵
حرکت گهواره‌ای	۴	۳/۳	۱۳/۲	۲۵	۲۵
قاب خمشی ویژه	۴	۳/۳	۱۳/۲	۲۵	۲۵



شکل (۸): خروجی منحنی هیستریزس دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای و کابل‌های پس کشیده.



شکل (۱۰): پلان سازه‌های مدل‌سازی شده.



شکل (۹): سازه دارای دیوارهای برشی و حرکت گهواره‌ای مدل‌سازی شده در نرم‌افزار ABAQUS.

۴- بارگذاری سازه‌های مورد مطالعه

برای مقایسه بهتر سیستم‌های سازه‌ای، بارگذاری آنها بر طبق جدول (۲) و به صورت کاملاً مشابه انجام شده است. در اینجا به دلیل اختصار از آوردن جزئیات محاسبات بارگذاری خودداری شده است.

جدول (۲): جزئیات بارگذاری.

۳۰۰	بار مرده بام (کیلوگرم بر متر مربع)
۱۵۰	بار زنده بام (کیلوگرم بر متر مربع)
۳۰۰	بار دیوار پیرامونی بام (کیلوگرم بر متر)

۵- هم‌پایه‌سازی رکوردهای لرزه‌ای حوزه نزدیک

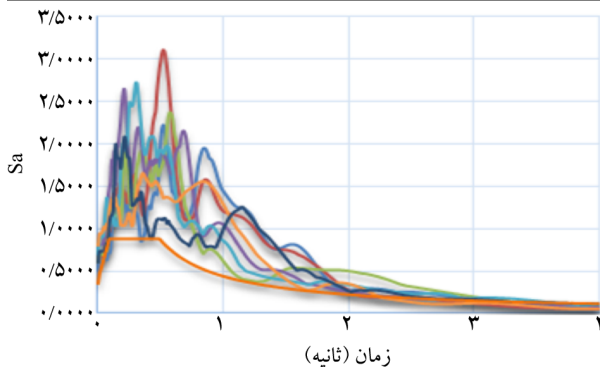
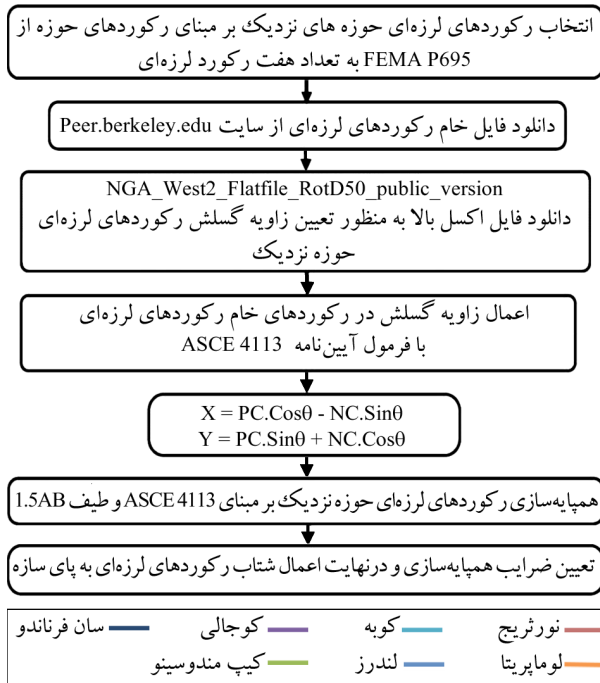
در این روش از دستورالعمل ASCE 4113 استفاده شده است. ابتدا مؤلفه‌های نرمال و موازی تعیین می‌گردند و اثر زاویه گسلسش در شتاب‌نگاشت‌ها اعمال می‌شود. در شکل (۱۱) اثر این گسلسش نشان داده شده است.

در شکل (۹) سازه ۴ طبقه مجهز به دیوارهای برشی دارای حرکت گهواره‌ای دیده می‌شود.

در این قسمت پس از طراحی اولیه در نرم‌افزار آباکوس، به بررسی و مقایسه سیستم نوین دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای با ابعاد هندسی و بارگذاری کاملاً مشابه در نرم‌افزار SAP2000 می‌پردازیم. لازم به ذکر است که در تمامی مدل‌سازی‌ها فرض بر این است که فاصله بین دیوارها با تیرها و ستون‌های سازه به گونه‌ای است تا اثر میانقاب‌ها حذف شود. همچنین اسکلت تمامی سازه‌ها بتنی هستند که در جدول (۱) ابعاد و مشخصات سازه‌های مدل‌سازی شده آورده شده است.

همان‌گونه که به وضوح مشخص است ابعاد پلان در تمامی سازه‌ها ۲۵ متر در ۲۵ متر بوده و ارتفاع طبقات نیز برابر ۳/۲ متر است. شکل (۱۰) تصویر پلان سازه‌های مدل‌سازی شده است که در تمامی سازه‌ها یکسان است.

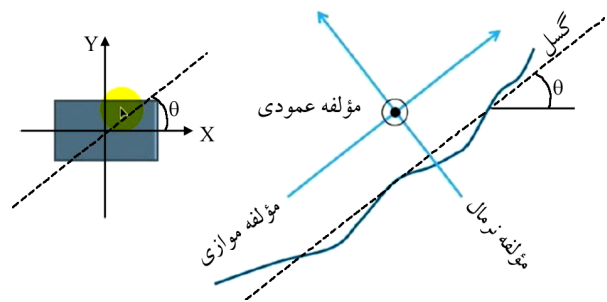
دیوار گهواره‌ای می‌باشد. در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) نیز مقایسه بین سیستم‌های دارای حرکت گهواره‌ای و فاقد آن دیده می‌شود.



شکل (۱۲): روند نمای طراحی و همپایه‌سازی رکوردهای لرزه‌ای حوزه نزدیک گسل.

جدول (۳): رکوردهای لرزه‌ای حوزه نزدیک مورد استفاده در تحلیل‌های غیرخطی.

رکورد لرزه‌ای	بزرگا	شماره ایستگاه ثبت رکورد	سال	ضرایب همپایه‌سازی
نورث‌ریچ	۶/۷	بورلی هیلز	۱۹۹۴	۱/۹۸
کوبه	۶/۹	نیشی آکاشی	۱۹۹۵	۲/۰۸
کوجالی	۷/۵	دوزجه	۱۹۹۹	۲/۳۷
لندرز	۷/۳	یرمو	۱۹۹۲	۲/۹۷
لوماپرتا	۶/۹	کاپیتولا	۱۹۸۹	۲/۵۷
کیپ مندوسینو	۷	ریودل اورپاس	۱۹۹۲	۱/۹۹
سان فرناندو	۶/۶	ال آ - استور	۱۹۷۱	۲/۵۱

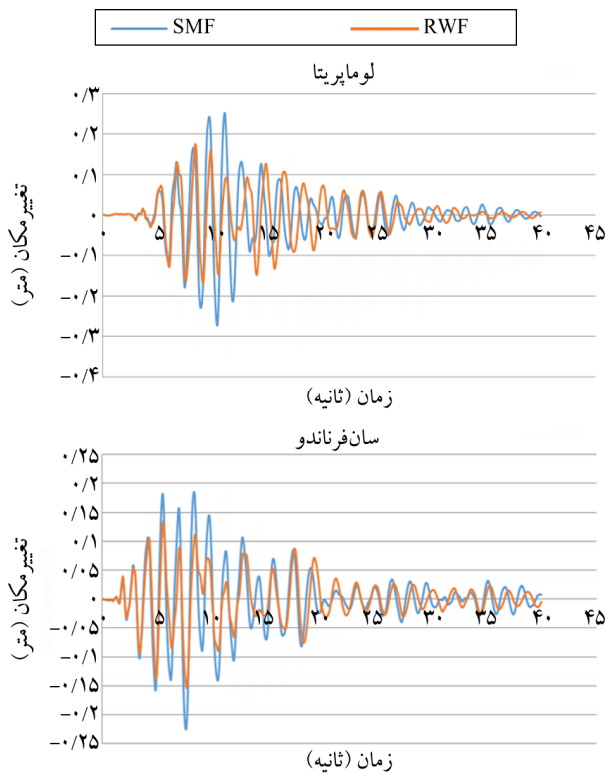


شکل (۱۱): همپایه‌سازی رکورد لرزه‌ای حوزه نزدیک.

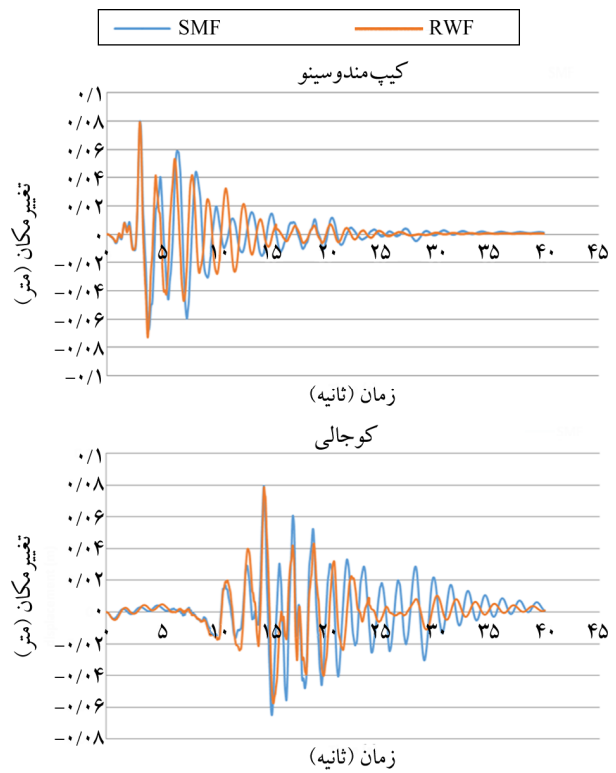
سپس طیف پاسخ به دست آمده با طیف 1/5 AB همپایه‌سازی و ضریب مقیاس هر زلزله تعیین می‌گردد. بر اساس مطالب ذکر شده و به منظور انجام تحلیل دینامیکی برای مقایسه با نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی معادل قاب‌های مورد نظر، از هفت رکورد لرزه‌ای حوزه نزدیک و دور از گسل استفاده شد. این زمین لرزه‌ها از پایگاه اطلاعاتی PEER استخراج گردیده‌اند. مبنای انتخاب این زمین لرزه‌ها، جدید بودن زمان وقوع آنها (زلزله‌های اخیر)، پر قدرت بودن آنها، نزدیک بودن محل ثبت نسبت به گسل و مشابه بودن نوع ساختگاه آنها بوده است. خلاصه اطلاعات مربوط به این زمین لرزه‌ها در جدول (۳) مشخص شده است. در شکل (۱۲) روند نمای همپایه‌سازی رکوردهای لرزه‌ای حوزه نزدیک گسل دیده می‌شود.

۶- مقایسه تغییر مکان‌های ایجاد شده

در سیستم حرکت گهواره‌ای نوین اشاره شده در مقاله کابل‌های پس کشیده نقش بسیار مهمی در کنترل تغییر مکان‌های سازه‌ای دارند و می‌توانند قابلیت خودمحوری و برگشت پذیری سیستم به جای اولیه خود را ایفا کنند. همان گونه که در شکل (۱۳) دیده می‌شود در ابتدا تغییر مکان سیستم با حرکت گهواره‌ای اندکی بیشتر از سازه معمولی است اما استفاده از این سیستم میزان نیروی محوری در اعضای سازه‌ای را به میزان زیادی کاهش داده است و به دلیل وجود کابل‌های پس کشیده برگشت پذیری در سازه بتنی مجهز به دیوار برشی گهواره‌ای مشاهده می‌گردد؛ به همین دلیل در انتهای زلزله تغییر مکان سازه کمتر شده است. نمودار با رنگ آبی مربوط به سازه بتنی قاب خمشی مجهز به دیوار برشی بتنی است و نمودار نارنجی رنگ مربوط به سازه بتنی با



شکل (۱۵): تغییر مکان مرکز جرم بام سازه‌های بتنی با دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای و فاقد آن تحت زلزله‌های لوما پرتنا و سان فرناندو.

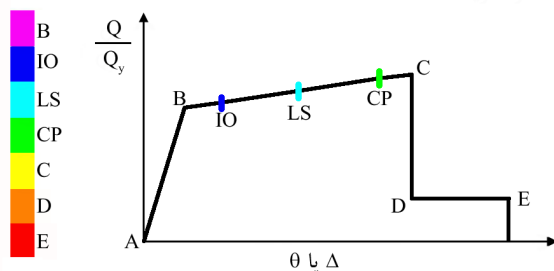


شکل (۱۳): تغییر مکان مرکز جرم بام سازه‌های بتنی با دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای و فاقد آن تحت زلزله‌های کیپ مندوسینو و کوجالی.

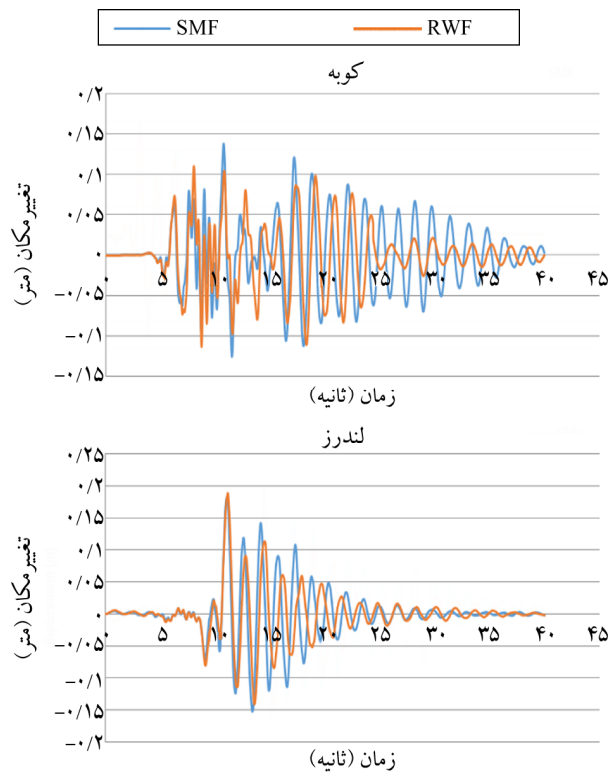
۷- مقایسه سطوح عملکرد بین سیستم دارای حرکت گهواره‌ای و سیستم دیوار برشی معمولی

در شکل (۱۶) منحنی نیرو-تغییر شکل تعمیم یافته برای اعضا و اجزای بتنی دیده می‌شود که بر اساس این منحنی و جداول مربوطه در نشریه ۳۶۰ محاسبات دستی مربوط به مفاصل پلاستیک انجام شده و سپس در نرم‌افزار SAP 2000، این مفاصل در تیرها در ۵ درصد ابتدا و انتهای طول تیر و در ستون‌ها در ابتدا و انتهای طول عضو تعریف شده است.

IO: سطح استفاده بی وقفه LS: سطح ایمنی جانی CP: آستانه فروریزش



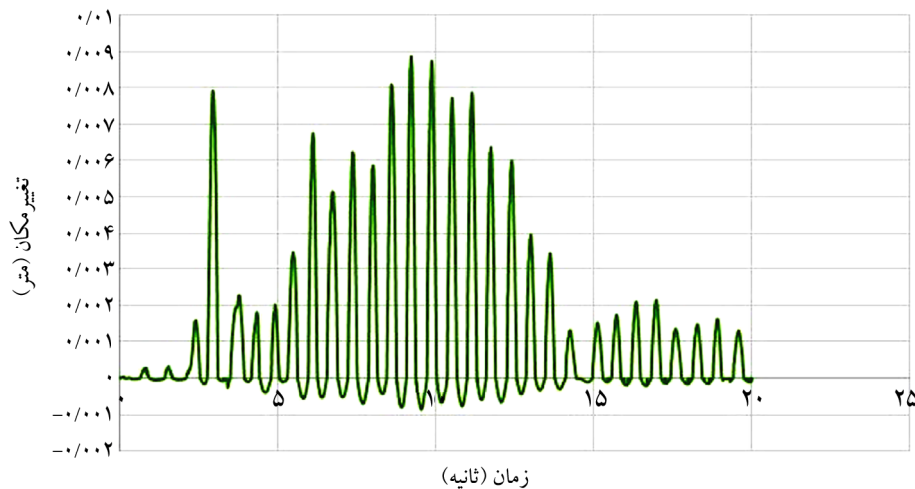
شکل (۱۶): منحنی نیرو و تغییر شکل تعمیم یافته برای اعضا و اجزای بتنی.



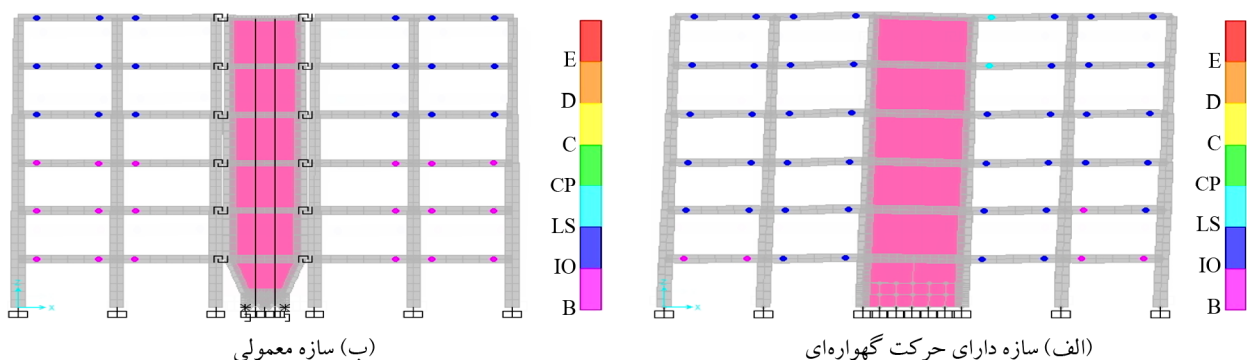
شکل (۱۴): تغییر مکان مرکز جرم بام سازه‌های بتنی با دیوار برشی دارای حرکت گهواره‌ای و فاقد آن تحت زلزله‌های کوبه و لندرز.

Grade 270 می باشد یک میراگر جاری شونده از نوع المان لینک فنر غیرخطی قرار داده شده است تا در هنگامی که نیروی محوری زیادی در کابل ها ناشی از حرکت گهواره ای ایجاد می شود در ابتدا میراگر جاری شده و سپس کابل دچار جاری شدگی گردد. البته باید به این موضوع توجه بسیار زیادی شود که تحت هیچ شرایطی نباید کابل دچار گسیختگی گردد زیرا این موضوع می تواند مشکلاتی نظیر تغییر مکان های بیش از حد را برای سازه و عدم خود محوری را در سیستم ایجاد کند. در شکل (۱۸) محل تشکیل مفاصل پلاستیک در هر دو سازه دیده می شود. به وضوح قابل مشاهده است که در سیستم حرکت گهواره ای مفاصل پلاستیک در ناحیه خدمت رسانی بی وقفه هستند اما در سازه بتنی فاقد حرکت گهواره ای مفاصل پلاستیک در ناحیه ایمنی جانی می باشند. پس استفاده از سیستم حرکت گهواره ای منجر به افزایش سطح ایمنی در سازه گردیده است.

مطابق با شکل (۱۷) هر چقدر که رفتار سازه به سمت سطح استفاده بی وقفه حرکت کند مناسب تر است زیرا سطوح عملکردی در سازه به سمت ایمنی بیشتر متمایل می گردد. همچنین یکی از موارد بسیار مهمی که در بحث حرکت گهواره ای کنترل شده باید مد نظر قرار گیرد میزان تغییر مکان های قائم در ستونی است که دارای حرکت گهواره ای می باشد زیرا اگر میزان این تغییر مکان های قائم بسیار زیاد باشد (بیشتر از ۵ سانتی متر) می تواند اثرات نامطلوبی را بر روی سیستم سازه ای بگذارد. لذا در این پژوهش با در نظر گرفتن تمامی موارد اشاره شده طراحی حرکت گهواره ای کنترل شده در سازه به گونه ای انجام شده است که تغییر مکان قائم ستون دارای حرکت گهواره ای به میزان ۱ سانتی متر محدود گردد. شکل (۱۷) میزان تغییر مکان قائم دیوار برشی دارای حرکت گهواره ای را نشان می دهد که به میزان ۱ سانتی متر تغییر مکان قائم محدود شده است. در زیر هر یک از رشته کابل های سازه که دارای



شکل (۱۷): نمودار تغییر مکان قائم دیوار برشی بتنی دارای حرکت گهواره ای.



شکل (۱۸): نحوه توزیع مفاصل پلاستیک در سازه.

۸- بحث و نتیجه‌گیری

پس کشیده تأمین شده است.
 - بهبود رفتار لرزه‌ای با استفاده از سیستم حرکت گهواره‌ای به میزان ۳۰ درصد در مقایسه با سازه مشابه فاقد حرکت گهواره‌ای بوده است.

مراجع

- Kim, J. (2008) Seismic Performance of Twisted Diagrid Building. *International Journal of High-rise Building*, 3(3), 222-230.
- PEER (2010) *Report 2010/05, TBI, Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings*.
- Kim, J., Y. Jun, and Y. Ho Lee, (2010) "Seismic Performance Evaluation of Diagrid System Buildings", Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea, *International Journal of High-rise Building*, 15(5), 112-130.
- Moon, K. (2009) Design and Construction of Steel Diagrid Structures. *International Journal of High-rise Building*, 4(3), 122-130.
- Hajjar, J., Eatherton, M., and Deierlein, G. (2009) Controlled rocking of steel frames as a sustainable new technology for seismic resistance in buildings. *Engineering Structures*, 28, 232-221.
- Azuhata, T., Midorikawa, M., and Ishihara, T. (2008) Earthquake damage reduction of buildings by self-centering systems using rocking mechanism. *The 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China.
- Pollino, M. and Bruneau, M. (2015) Dynamic seismic response of controlled rocking bridge steel-truss piers. *Engineering Structures*, 34(3), 247-262.
- Sause, R., Ricles, M., Roke, D.A., and Chancellor, N.B. (2010) Seismic performance of a self-centering rocking concentrically-braced frame. *Structural Engineering*, ASCE.
- Eatherton, M., Hajjar, J., Xiang, Ma. (2008) Seismic design and behavior of steel frames with controlled rocking – part I: concepts and quasi-static subassembly testing. *The 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China.

- استفاده از سیستم دیوار برشی بتنی دارای حرکت گهواره‌ای کنترل شده به میزان قابل توجهی نیروی محوری در اعضای سازه‌ای را کاهش می‌دهد.
 - میزان تغییر مکان قائم در قسمت‌های کناری دیوار گهواره‌ای که حرکت گهواره‌ای دارند باید در یک محدوده منطقی باشد که در این پژوهش میزان کمتر از ۵ سانتی متر تغییر مکان قائم پیشنهاد می‌گردد که با افزایش ارتفاع سازه‌ها این میزان تغییر مکان قائم نیز باید کمتر گردد.
 - با استفاده از سیستم حرکت گهواره‌ای می‌توان به طرز مؤثری سطح ایمنی در سازه را افزایش داد و سطح ایمنی را در سازه‌های بتنی از LS به IO رساند. این موضوع تنها با ایجاد جزئیات خاص در پای دیوار برشی و استفاده از میراگرهای جاری شونده و کابل پس کشیده ایجاد تأمین شده است.
 - کابل‌های پس کشیده در سیستم حرکت گهواره‌ای تأثیری بیش از ۷۰ درصدی در کاهش تغییر شکل‌های سازه دارند و بعد از آن میراگر جاری شونده قرار می‌گیرد.
 - خروجی‌های حاصله از تحلیل دینامیکی غیرخطی در نرم‌افزار ABAQUS نشان می‌دهند که اتصالات لولایی و جزئیات اتصالات پایینی مانع از کمانش دیوار برشی در خارج از صفحه دیوار شده‌اند و نیز تمرکز تنش‌ها نیز در میراگرهای جاری شونده رخ داده است و در کابل‌های پس کشیده نیز تنش‌ها در محدوده مجاز بوده‌اند. به همین علت دیوار برشی طراحی شده مناسب عمل نموده است.
 - نتایج تحلیل‌های تاریخچه زمانی رکوردهای لرزه‌ای مورد بررسی نشان می‌دهد که در ابتدا تغییر مکان دیوار گهواره‌ای اندکی بیشتر از سازه قاب خمشی بتنی است اما در نهایت به دلیل وجود کابل‌های پس کشیده و تمرکز خسارت در میراگرهای جاری شونده در دیوار گهواره‌ای سازه بتنی خسارت بسیار کمتری دیده و در نتیجه سازه مجهز به دیوار گهواره‌ای تغییر مکان‌های کمتری نسبت به سازه قاب خمشی بتنی دارد و برگشت‌پذیری نیز با استفاده از کابل‌های

10. Pollino, M. and Bruneau, M. (2015) Bidirectional seismic behavior of controlled rocking four-legged bridge steel truss piers. *Structural Engineering, ASCE*.
11. Dyanati, M. and Huang, Q. (2015) Seismic demand models and performance evaluation of self-centering and conventional concentrically braced frames. *Engineering Structures*, **22**, 232-221.
12. Zhao, W.B. and Lu, X. (2018) Dynamic behavior of upgraded rocking wall-moment frames using an extended coupled-two-beam model. *ELSEVIER*, 211-227.
13. Mpampatsikos, V., Egidio Bressanelli, M., Belleri, A., and Nascimbene, R. (2020) A non-dimensional parametric approach for the design of PT tendons and mild steel dissipaters in precast rocking walls. *ELSEVIER*, 103-117.
14. Guo, G., Qin, L., Yang, D., and Liu, Y. (2020) Dimensional response analysis of rocking wall-frame building structures with control devices subjected to near-fault pulse-like ground motions. *ELSEVIER*, 58-62.
15. Nazari, M. and Sriharan, S. (2020) Influence of different damping components on dynamic response of concrete rocking walls. *ELSEVIER*, 19-11.
16. Grigorian, M. and Grigorian, C. (2012c) Performance control: A new elastic-plastic design procedure for earthquake resisting moment frames. *J. Struct. Div.*, 10.1061/(ASCE).

Evaluation of Seismic Behavior of Low Damage Concrete Building via RC Rocking Shear Wall

Mohsen Rostami^{1*}, Zeinab Valipouri², Fatemeh Gorji Sinaki³ and Abdolreza S. Moghadam⁴

1. Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran, *Corresponding Author, email: st_m_rostami@azad.ac.ir
2. Ph.D. Candidate of Earthquake Engineering, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
3. M.Sc. Graduate, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran
4. Associate Professor, Structural Engineering Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran

Earthquake damage in concrete structures has led to the development of new methods for the design and construction of earthquake resistant concrete structures. However, recent earthquakes have shown that concrete structures are damaged by earthquakes, making them very difficult and even impossible to repair. For this reason, after relatively severe earthquakes, these buildings have been damaged and destroyed, and in order to reuse the structure, it is necessary to spend a lot of time and money due to the extent of damage to the structure, and this issue creates a new idea to limit damage to specific points of the structure. In this way, buildings can be exploited more quickly by replacing damaged elements. One of the new methods to improve the seismic performance of concrete buildings is the use of systems that limit damage to the structure. Among these methods, we can mention systems with rocking motion. In these systems, the main building behaves elastically so that the energy absorption and the nonlinear performance occur only in certain parts of the building that have been predicted. Therefore, in this study, a new system has been developed that transmits damage to fuses by using Rocking shearwall system, and make the concrete structure safe during and after the earthquake by making a very easy repair. Details of connections and design of this system are done in ABAQUS software and nonlinear analysis of the structure equipped with rocking shear wall has been performed in SAP2000 software under seven seismic near field records. The solid element was used to model the rocking system in Abaqus and concrete damage plasticity model was used for modeling the concrete, which is used to model the nonlinear behavior of concrete. The contact between the steel bolts and the concrete shear wall is simulated using contact element. The concrete shear wall in this method remains in the elastic range, but the dampers connected to the shear wall due to the elevation of the shear wall absorb most of the seismic force. The results shown that the use of rocking shear wall compared to the concrete structure without it has effectively reduced the damage to the structure due to seismic records and the concrete structure equipped with it has remained intact. Also, the functional levels of the structure equipped with rocking shear wall has remain in immediate occupancy but in the concrete structure without it, plastic hinges have even entered the collapse area. Improving the seismic behavior of a structure equipped with rocking shear wall about 30 percent more than a similar structure without it. The use of a controlled rocking motion system significantly reduces axial force in structural members by about 25 percent and post-tensioned cables in the cradle drive system have a more than 70% effect in reducing the deformation of the structure and then the yielding damper is placed. The amount of vertical displacement on the sides of rocking concrete shear walls should be less than 5 cm. The use of a new repairable shear wall with rocking motion has caused the vibration mode to dominate the structure of the first vibration mode and the distance between the torsion mode and the first and the second modes are very large.

Keywords: Low Damage Building, Concrete Repairable Building, Rocking Shear Wall.