

یادداشت پژوهشی

مقایسه رفتار لرزه‌ای قاب خمشی مرکب (RCS) و قاب بتنی تحت زلزله‌های حوزه نزدیک گسل

فرشته خراسانی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش زلزله،

دانشگاه سمنان

محسن گرامی (نویسنده مسئول)

دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

mgerami@semnan.ac.ir

علی خیرالدین

استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

چکیده

در این پژوهش به بررسی نیاز لرزه‌ای سازه‌های مرکب RCS و بتنی تحت زلزله‌های نزدیک گسل در مقایسه با زلزله‌های دور پرداخته شده است. به همین منظور تعداد پنج قاب خمشی RCS و بتنی با شکل پذیری متوسط و ۴، ۷، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه و ۵ دهانه طراحی شد و سپس تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی توسط نرم‌افزار OpenSees بر روی سازه‌ها انجام شده است و اثر تیر فولادی در قاب مرکب بررسی گردید. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که جابه‌جایی طبقات ناشی از رکورد دور از گسل و نزدیک گسل، در سازه‌های مرکب نسبت به جابه‌جایی طبقات سازه بتنی ناشی از همان رکورد، کمتر است؛ که با افزایش تعداد طبقات مقادیر این اختلاف افزایش می‌یابد. از طرفی، به نظر می‌رسد که ارزیابی سازه‌های بلند مرکب نسبت به سازه‌های بلند بتنی دارای پاسخ جابه‌جایی مطلوب‌تری است. در نهایت اثر تیر فولادی بر کاهش جابه‌جایی ناشی از دو نوع رکورد مشاهده می‌شود.

واژگان کلیدی: قاب خمشی مرکب (RCS)، زلزله‌های نزدیک گسل، تحلیل دینامیکی غیرخطی، قاب خمشی بتنی، اثر تیر فولادی.

۱- مقدمه

قاب‌های خمشی مرکب RCS سیستمی متشکل از ستون‌های بتنی و تیرهای فولادی می‌باشند. در این سیستم‌ها، تیر اصلی به صورت ممتد از درون ستون بتنی می‌گذرد که تأثیر مهمی در رفتار کلی قاب دارد و مشکلات ناشی از گسیختگی ناحیه اتصال کاهش می‌یابد. استفاده بهینه از خواص فشاری بتن و مقاومت خمشی فولاد سبب شده تا سازه تا سازه وزن کمتری نسبت به سازه‌های بتن آرمه داشته و در عین حال در مقایسه با قاب‌های خمشی فولادی و قاب‌های خمشی بتنی با دهانه‌های بزرگ‌تر، رفتار بهتری از خود نشان دهد. در سیستم RCS به دلیل استفاده مؤثر از مصالح نسبت به سیستم‌های فولادی و بتنی خالص، امکان ایجاد مقاومت و شکل‌پذیری اتصالات تیر-ستون در سیستم‌های RCS بیشتر از قاب‌های خمشی بتنی و فولادی متداول می‌باشد؛ بنابراین، به کار بردن آیین‌نامه‌های لرزه‌ای پیشنهاد شده و ارزیابی لرزه‌ای طراحی‌های حاصله، با استفاده از تحلیل غیرخطی برای ارزیابی عملکرد سازه و مطالعه تأثیر تغییر شکل‌های اتصال روی رفتار کلی قاب‌های RCS ضروری است.

۲- تاریخچه تحقیقات

در طول دهه ۱۹۸۰ حدود ۴۰۰ اتصال در ژاپن و ۱۷ اتصال در ایالات متحده آزمایش شد. خیلی از اتصالات آزمایش شده در ژاپن مشخصات خاصی توسط شرکت‌های ساختمانی ژاپنی با هدف اصلی اعتبارسنجی جزئیات اتصال خاص داشتند. علی‌رغم نتایج جالب از آزمایش‌ها، سازوکار انتقال نیروی داخلی مشخص نبود. البته گریفیس در سال ۱۹۸۶ [۱] به بررسی مزیت‌های قاب RCS پرداخت که بر اساس نتایج به دست آمده، قاب‌های RCS در حدود ۱۵٪ نسبت به قاب‌های بتنی و فولادی با در نظر گرفتن تمامی عوامل، اقتصادی‌تر می‌باشند. شیخ در سال ۱۹۸۸ [۲]، ۹

افزایش داد. مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج قاب‌های خمشی بتنی مشابه نشان داد که جایگزینی تیرهای بتنی با تیرهای فولادی، ظرفیت قاب را به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش داد.

اسکندریان در سال ۱۳۹۴ [۵] نیز به بررسی رفتار خطی و غیر خطی قاب‌های مهاربندی شده مرکب RCS پرداخت، برای دستیابی به این هدف با انجام تحلیل‌های خطی بر روی ساختمان‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه قاب‌های مرکب RCS با مهاربند ضربدری، به بررسی تأثیر مهاربند بر پارامترهای مختلفی مانند حداکثر جابه‌جایی سازه، دریافت، نیروی برشی وارد بر طبقات، اندرکنش بین قاب‌های خمشی مرکب و مهاربند فولادی، نکات تحلیلی برای این سیستم‌ها و اثر افزایش ارتفاع بر روی رفتار لرزه‌ای مورد بحث پرداخته شد و نتایج آن با قاب‌های بتنی و فولادی مشابه مقایسه شد و همچنین با تحلیل غیرخطی قاب‌های مرکب با و بدون مهاربند دو طبقه مقیاس ۱:۳ و مقیاس کامل با تعداد دهانه‌های ۱، ۲ و ۳، رفتار غیرخطی این سازه‌ها بررسی و با قاب‌های بتنی و فولادی مقایسه شد. بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیل خطی سازه‌ها، اضافه کردن مهاربند باعث افزایش برش پایه و کاهش جابه‌جایی طبقات شد. نتایج تحلیل غیرخطی نیز نشان داد که مهاربندها مقاومت تسلیم و مقاومت نهایی و سختی قاب‌های مرکب را به مقدار زیادی افزایش می‌دهند.

حسینی در سال ۱۳۸۳ [۶] به بررسی اتصالات و تحلیل لرزه‌ای قاب مرکب فولادی و بتنی (RCS) پرداخت، در تحقیق مذکور دو بخش عمده رفتار خطی و غیرخطی این قاب‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در بخش بررسی رفتار خطی قاب RCS، وزن، پیوند ارتعاشی، اشکال مودی، تغییر مکان و توزیع نیروی برشی در ارتفاع سازه مورد بررسی قرار گرفته و نتایج با قاب خمشی بتنی و قاب خمشی فولادی مورد مقایسه قرار گرفتند. در بخش بررسی غیرخطی، قاب RCS به کمک تحلیل غیرخطی رانشی (بارافزون) مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور مدل‌های مختلفی از قاب‌های ۲، ۳ و ۴ دهانه و با طول دهانه ۴، ۶ و ۸ متر با تعداد طبقات ۲ تا ۱۰ طبقه، به عنوان نمونه‌های مورد بررسی از این نوع سازه‌ها انتخاب شده و با در نظر گرفتن

اتصال مرکب تیر ممتد در ستون بدون دال با مقیاس ۲:۳ تحت آزمایش با بارگذاری رفت و برگشتی قرار داد. هدف بررسی اثر صفحات فشاری اطراف ستون در سازوکار برشی اتصال بود. با توجه به تغییر شکل‌های ناحیه اتصال مشخص شد که تغییر شکل برشی اتصال و چرخش جسم صلب تیر فولادی (به دلیل خرد شدن بتن ناحیه مجاور بال تیر تحت تنش‌های فشاری) درون چشمه اتصال رخ می‌دهد. نتیجه این بررسی، مشخص کردن دو نوع سازوکار گسیختگی اتصال (گسیختگی برشی و فشاری) بود. بوگیا و همکاران در سال ۲۰۰۰ [۳] ارزیابی قابلیت اجراء هزینه و رفتار لرزه‌ای تعدادی از قاب‌های RCS را در نواحی با خطر لرزه‌خیزی بالا نشان دادند. در این تحقیق قاب‌ها برای مقابله با بارهای دینامیکی باد طراحی شده و استفاده از بتن در ستون مختلط فولادی و بتنی باعث افزایش میرایی ذاتی سازه شده به طوری که منجر به بهبود عملکرد دینامیکی سازه تحت اثر بارگذاری باد می‌شد. در نتیجه، یک افزایش محسوس در سختی جانبی با استفاده از ستون‌های بتنی در مقایسه با ستون‌های فولادی با مقاومت خمشی معادل به دست آمد که سختی اضافه شده به ستون‌ها برای مقاومت در مقابل بارهای جانبی مفید خواهد بود، به خصوص در طراحی ساختمان‌های بلند که پاسخ تغییر شکل‌های ناشی از باد حاکم است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از قاب‌های خمشی RCS در مناطق با لرزه‌خیزی بالا باعث کاهش هزینه‌های اجراء و همچنین ایجاد حالت پایدار عملکرد چرخه‌ای در طی رفتار غیر الاستیک خواهد شد.

در سال ۲۰۱۳ فرهمندآذر و همکاران [۴] نیز به ارزیابی لرزه‌ای قاب RCS پرداختند. در این تحقیق سه قاب ۳، ۵ و ۱۰ طبقه سه دهانه ۷ متری با ارتفاع طبقه ۴ متر بر اساس عملکرد لرزه‌ای توسط آیین‌نامه FEMA 356 با نرم‌افزار OpenSees مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، قاب‌های RCS سطح عملکرد ایمنی جانی را برای سطح خطر ۱ تأمین می‌کنند. همچنین تأثیر رفتار اتصال بین تیر فولادی و ستون بتنی، روی رفتار کلی این قاب‌ها به وسیله مقایسه با اتصال صلب RCS، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج کلی این بررسی نشان داد که اتصال RCS، ظرفیت جانبی قاب را

۴- معرفی مدل‌ها

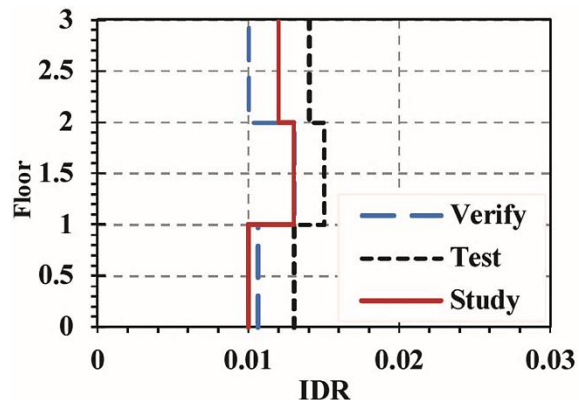
در این پژوهش تعداد پنج قاب خمشی مرکب و بتنی با شکل پذیری متوسط و در طبقات ۴، ۷، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ و با تعداد پنج دهانه ۵ متری طراحی شده است و تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار OpenSees [۹] تحت شتاب‌نگاشت‌های دور و نزدیک گسل بر روی مدل‌های مورد بررسی انجام می‌شود. در این تحقیق نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی و دینامیکی غیرخطی بر روی مدل‌های مورد بررسی ارائه می‌شوند و به منظور بررسی نیازهای لرزه‌ای قاب‌های خمشی مرکب تحت زلزله‌های دور و نزدیک گسل، نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل مقایسه می‌شوند. به همین منظور تعداد ۱۰ رکورد نزدیک گسل و ۱۰ رکورد دور از گسل بر روی سازه‌های انتخابی بررسی می‌شوند و نتایج به تفکیک ارائه خواهند شد. به منظور طراحی مقاطع بتنی از آیین‌نامه ACI 318-08 [۱۰] و مقاطع فولادی از آیین‌نامه AISC 360-05 [۱۱] و برای بارگذاری سازه مرکب از آیین‌نامه ASCE7-10 [۱۲] و برای سازه بتنی از آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ [۱۳]) استفاده شده است و فرضیه‌های طراحی شامل خاک نوع III و منطقه با خطر نسبی زیاد است. مقاطع مورد استفاده در این قاب‌ها شامل مقاطع مستطیلی بتنی با آرماتور آجدار برای ستون‌ها و تیر بتنی و تیر ورق برای تیرهای فولادی است. در جدول‌های (۱) تا (۵) مقاطع مورد استفاده برای سازه‌های مختلف ارائه شده است. همچنین مدل رفتاری مصالح در نرم‌افزار OpenSees، برای مقاطع بتنی از مصالح بتنی با جنس Concrete01 و برای مقاطع فولادی از مصالح فولادی با جنس Steel02 استفاده شده است؛ و همچنین فرض‌های زیر در نظر گرفته شدند:

- مقاطع سازه از جنس Fiber است.
- المان‌های سازه از نوع المان تیر ستون غیرخطی است.
- میرایی سازه ۵ درصد است و در عین حال فرآیند تحلیل غیرخطی از دستور میرایی رایلی به منظور محاسبه میرایی سازه در هر گام تحلیل استفاده می‌شود.

دستورالعمل‌های FEMA-273 و ATC-40 در مدل‌سازی و تحلیل غیرخطی، مورد تحلیل واقع می‌گردند. با تعیین برش پایه متناظر با تشکیل نخستین مفصل پلاستیک، حد جاری شدن و حد گسیختگی به محاسبه مقدار شکل پذیری و ضریب رفتار آنها پرداخته شده است. در پایان مقدار شکل پذیری قاب‌های خمشی مرکب ۲/۵ و مقدار ضریب رفتار آن ۵/۸۱ برآورد شده است.

۳- صحت‌سنجی

در سال ۲۰۰۴ چن و همکاران [۷] از مرکز تحقیقات زلزله تایوان به همراه کوردوا و دیرلین [۸] از دانشگاه استنفورد، نتایج آزمایش‌های قاب سه طبقه با مقیاس واقعی را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. البته این آزمایش مربوط به رساله دکتری کوردوا در دانشگاه استنفورد بوده است [۸]. در همین رساله اعتبارسنجی برای نتایج آزمایش قاب انجام گردید. لذا برای صحت‌سنجی این تحقیق از مشخصات قاب مورد آزمایش استفاده شد. طبق شکل نتیجه نسبت دریافت بین طبقه‌ای این صحت‌سنجی ارائه شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است نتایج از اعتبار کافی برخوردار است. لازم به توضیح است که المان فایبر اثر غیرخطی شدن مصالح را در نظر می‌گیرد. این در حالی است که در مدل آزمایشگاهی غیرخطی شدن هندسی ناشی از کمانش موضعی نیز وجود دارد که بخشی از این اختلاف می‌تواند ناشی از عدم در نظر گرفتن این کمانش باشد؛ و همچنین به دلیل عدم مدل‌سازی اتصال RCS در قاب مورد بررسی در این تحقیق، اختلاف نتیجه حاصل شده است.



شکل (۱): صحت‌سنجی قاب سه طبقه مورد آزمایش (حداکثر نسبت دریافت بین طبقه‌ای در هر طبقه تحت بارگذاری دینامیکی).

جدول (۴): مقاطع مدل ۱۵ طبقه.

قاب خمشی مرکب (RCS)			
ستون‌ها	طبقات	تیرها	طبقات
C40×70-24Ø20	۴-۱	PG54×0.8×20×2	۳-۱
C40×60-20Ø20	۸-۵	PG49×0.8×20×2	۶-۴
C40×50-16Ø20	۱۲-۹	PG48×0.8×15×1.5	۹-۷
C40×40-12Ø20	۱۵-۱۳	PG43×0.8×15×1.5	۱۲-۱۰
---	---	PG38×0.8×15×1.5	۱۵-۱۳
قاب خمشی بتنی (RC)			
ستون‌ها	تیرها	طبقات	
C40×70-24Ø22	B40×65	۴-۱	
C40×60-24Ø22	B40×60	۸-۵	
C40×50-20Ø22	B40×50	۱۲-۹	
C40×40-20Ø20	B40×50	۱۵-۱۳	

جدول (۵): مقاطع مدل ۲۰ طبقه.

قاب خمشی مرکب (RCS)		
ستون‌ها	تیرها	طبقات
C40×80-20Ø22	PG54×0.8×20×2	۴-۱
C40×70-20Ø20	PG49×0.8×20×2	۸-۵
C40×60-20Ø20	PG48×0.8×15×1.5	۱۲-۹
C40×50-16Ø20	PG43×0.8×15×1.5	۱۶-۱۳
C40×50-12Ø20	PG38×0.8×15×1.5	۲۰-۱۷
قاب خمشی بتنی (RC)		
ستون‌ها	تیرها	طبقات
C40×80-24Ø22	B40×70	۴-۱
C40×70-24Ø22	B40×65	۸-۵
C40×60-20Ø22	B40×55	۱۲-۹
C40×50-20Ø22	B40×55	۱۶-۱۳
C40×50-18Ø22	B40×50	۲۰-۱۷

۵- معرفی شتاب نگاشت‌ها

به منظور انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی از ۱۰ شتاب نگاشت نزدیک گسل و ۱۰ شتاب نگاشت دور از گسل مطابق جدول (۶) و جدول (۷) استفاده شده است. تمامی نگاشت‌های مورد استفاده که از سایت Peer [۱۴] دریافت شده است، دارای مشخصات مربوط به خاک نوع III بر اساس آیین نامه طراحی لرزه ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰) و یا خاک کلاس D بر اساس طبقه بندی دستورالعمل FEMA 356 [۱۵] است. برای ترسیم طیف پاسخ ارتجاعی مختلف از نرم افزار SeismoSignal [۱۶] استفاده شده

جدول (۱): مقاطع مدل ۴ طبقه.

قاب خمشی مرکب (RCS)			
ستون‌ها	طبقات	تیرها	طبقات
C40-12Ø20	۲ و ۱	PG38×0.8×15×1.5	۳-۱
C40-12Ø18	۴ و ۳	PG32×0.6×15×1	۴
قاب خمشی بتنی (RC)			
ستون‌ها	تیرها	طبقات	
C40×50-16Ø18	B40×45	۲ و ۱	
C40-12Ø18	B40×40	۴ و ۳	

جدول (۲): مقاطع مدل ۷ طبقه.

قاب خمشی مرکب (RCS)			
ستون‌ها	طبقات	تیرها	طبقات
C40×50-16Ø20	۴-۱	PG43×0.8×15×1.5	۳-۱
C40-12Ø20	۷-۵	PG38×0.8×15×1.5	۶-۴
---	---	PG32×0.6×15×1	۷
قاب خمشی بتنی (RC)			
ستون‌ها	تیرها	طبقات	
C40×60-20Ø22	B40×50	۳-۱	
C40×50-16Ø20	B40×45	۵ و ۴	
C40×40-12Ø20	B40×40	۷ و ۶	

جدول (۳): مقاطع مدل ۱۰ طبقه.

قاب خمشی مرکب (RCS)			
ستون‌ها	طبقات	تیرها	طبقات
C40×60-20Ø20	۳-۱	PG48×0.8×15×1.5	۴-۱
C40×50-16Ø22	۶-۴	PG43×0.8×15×1.5	۶ و ۵
C40×40-12Ø20	۱۰-۷	PG38×0.8×15×1.5	۹-۷
---	---	PG32×0.6×15×1	۱۰
قاب خمشی بتنی (RC)			
ستون‌ها	تیرها	طبقات	
C40×60-24Ø22	B40×55	۴-۱	
C40×50-20Ø22	B40×50	۷-۵	
C40×40-16Ø20	B40×45	۱۰-۸	

برای مقیاس‌سازی شتاب‌نگاشت‌ها نیز از روش مقیاس‌سازی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم [۱۳] استفاده شده است.

۶- مقایسه قاب خمشی مرکب RCS و بتنی تحت حوزه نزدیک گسل

در این بخش نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی مدل‌های مورد بررسی ارائه می‌شوند و به منظور بررسی

است و تمامی شتاب‌نگاشت‌ها قبل از مقیاس‌سازی، به مقدار حداکثر شتاب (PGA) خود هم‌پایه شده‌اند.

به منظور تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی قاب‌های مورد نظر از نرم افزار OpenSees استفاده شده و نتایج مربوط به جابه‌جایی و زاویه دررفت طبقات در ادامه ارائه شده است. رکوردهای انتخاب شده در این مطالعه، به مدل‌های مذکور اعمال شده و در نهایت میان پاسخ‌های به دست آمده میانگین گرفته شده است.

جدول (۶): مشخصات شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک گسل مورد استفاده در این مطالعه.

رکوردهای حوزه نزدیک گسل								
Magnitude	PGD [cm]	PGV [cm/sec]	PGA [g]	R [Km]	Station	Date [yy-mm-dd]	Earthquake	Num.
۷/۶۲	۵۹/۱۹	۴۱/۲	۰/۲۰	۷/۶۶	TCU051	۱۹۹۹/۹/۲۰	Chi-Chi, Taiwan,	1
۷/۶۲	۲۲/۰۲	۳۶/۸۷	۰/۲۱	۶/۳۶	TCU055	۱۹۹۹/۹/۲۰	Chi-Chi, Taiwan,	2
۶/۵۳	۴۰/۸۳	۷۹/۱۵	۰/۴۲	۰/۵۶	El Centro Array #7	۱۹۷۹/۱۰/۱۵	Imperial Valley-06	3
۶/۶۹	۲۴/۷۹	۷۲/۹۵	۰/۴۸	۴/۳۸	95 Erzincan	۱۹۹۲/۳/۱۳	Erzincan, Turkey	4
۶/۹۳	۶/۴۲	۳۱/۳۷	۰/۲۶	۱۰/۹۷	Gilroy - Historic Bldg.	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Loma Prieta,	5
۶/۹۳	۸/۵۴	۳۵/۱۰	۰/۳۵	۱۱/۰۷	Gilroy Array #2	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Loma Prieta,	6
۶/۶۹	۳۳/۴۳	۹۵/۰۷	۰/۶۴	۵/۱۹	DWP 75 Sylmar-Converter	۱۹۹۴/۱/۱۷	Northridge	7
۶/۶۹	۵۲/۳۵	۱۰۹/۳۸	۰/۷۱	۵/۳۵	DWP 74 Sylmar-Converter	۱۹۹۴/۱/۱۷	Northridge	8
۶/۹	۳۳/۰۶	۱۱۷/۱۴	۰/۶۵	۱/۴۷	Takatori	۱۹۹۵/۱/۱۶	Kobe, Japan	9
۶/۹	۱۸/۸۷	۷۷/۸۳	۰/۷۱	۰/۹۶	KJMA	۱۹۹۵/۱/۱۶	Kobe, Japan	10

جدول (۷): مشخصات شتاب‌نگاشت‌های حوزه دور از گسل مورد استفاده در این مطالعه.

رکوردهای حوزه دور از گسل								
Magnitude	PGD [cm]	PGV [cm/sec]	PGA [g]	R [Km]	Station	Date [yy-mm-dd]	Earthquake	Num
۷/۳۷	۴/۸۳	۱۴/۴۳	۰/۱۱	۹۳/۶۲	Tonekabun	۱۹۹۰/۶/۲۰	Manjil, Iran	1
۷/۳۷	۳/۳۶	۱۰/۸۹	۰/۱۳	۴۹/۹۷	Qazvin	۱۹۹۰/۶/۲۰	Manjil, Iran	2
۷/۶۲	۸/۱۰	۱۳/۶۶	۰/۱۰	۸۳/۴۳	CHY065	۱۹۹۹/۹/۲۰	Chi-Chi, Taiwan,	3
۷/۶۲	۹/۰۴	۱۹/۹۳	۰/۱۳	۱۰۹/۰۱	TAP095	۱۹۹۹/۹/۲۰	Chi-Chi, Taiwan,	4
۶/۹	۲/۳۱	۱۴/۸۱	۰/۱۴	۹۵/۷۲	HIK	۱۹۹۵/۱/۱۶	Kobe, Japan,	5
۷/۳۵	۷/۱۸	۷/۰۸	۰/۱۰	۹۱/۱۴	Ferdows	۱۹۷۸/۹/۱۶	Tabas, Iran,	6
۶/۶۹	۰/۶۶	۶/۵۸	۰/۱۰	۸۲/۳۲	Featherly Park - Maint	۱۹۹۴/۱/۱۷	Northridge,	7
۶/۹۳	۴/۸۰	۲۴/۵۲	۰/۲۸	۵۸/۶۵	SF Intern. Airport	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Loma Prieta	8
۶/۹۳	۵/۹۴	۲۷/۶۱	۰/۲۰	۷۲/۲۰	Oakland - Title & Trust	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Loma Prieta	9
۶/۹۳	۹/۶۰	۴۱/۸۶	۰/۲۸	۷۴/۲۶	Oakland - Outer Harbor Wharf	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Loma Prieta	10

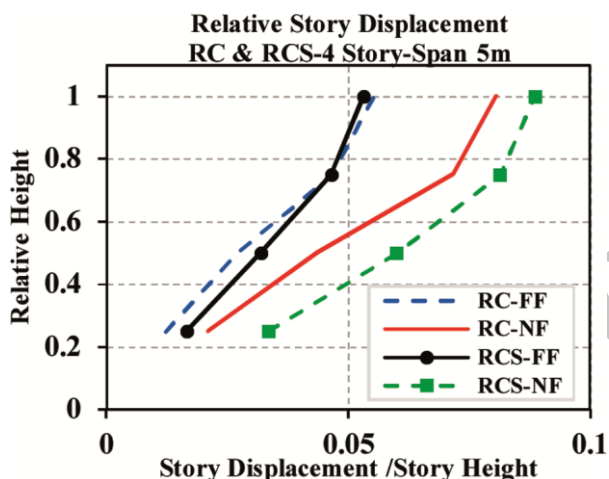
است. این در حالی است که اختلاف میان جابه‌جایی طبقات حاصل از زلزله‌های دور و نزدیک گسل با افزایش تعداد طبقات سازه‌های مختلف کاهش می‌یابد. همان‌طور که از نمودار جابه‌جایی طبقات مشخص است، جابه‌جایی طبقات ناشی از رکورد دور از گسل و نزدیک گسل در سازه‌های مرکب نسبت به جابه‌جایی طبقات سازه بتنی ناشی از همان رکورد، کمتر است؛ که با افزایش تعداد طبقات مقادیر این اختلاف افزایش می‌یابد.

بررسی نتایج حاصل از زاویه دررفت طبقات سازه‌های بتنی نشان می‌دهد که در طبقات میانی و تحتانی مقادیر زاویه دررفت

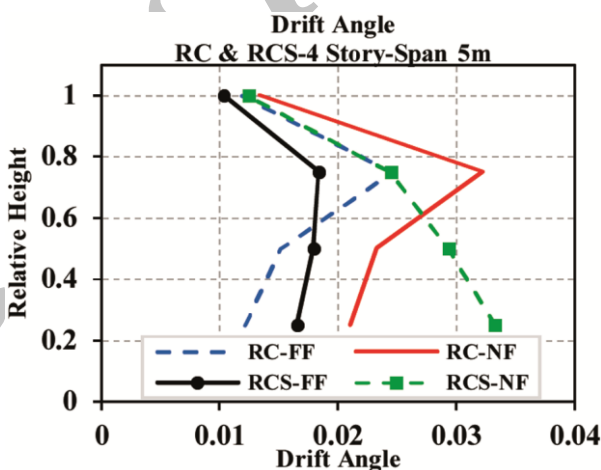
نیازهای لرزه‌ای قاب‌های خمشی مرکب و بتنی تحت زلزله‌های دور و نزدیک گسل، نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل مقایسه می‌شوند. قابل ذکر است که نتایج به‌دست آمده در حوزه سازه‌های مورد بررسی قابل استناد است.

در شکل‌های (۲) تا (۱۱) نتایج جابه‌جایی و زاویه دررفت طبقات حاصل از شتاب‌نگاشت‌های دور و نزدیک از گسل برای سازه‌های مختلف ارائه شده است.

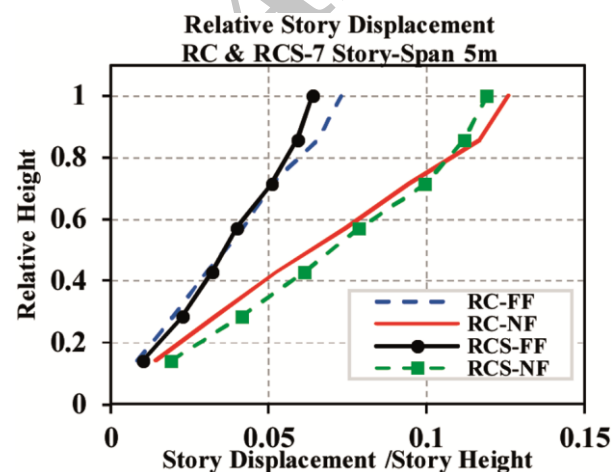
در همه سازه‌های مورد بررسی جابه‌جایی طبقات حاصل از زلزله‌های نزدیک گسل بیشتر از زلزله‌های دور از گسل



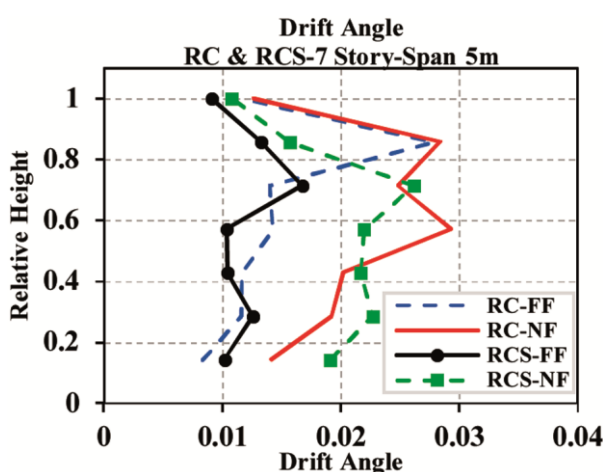
شکل (۳): جابه‌جایی طبقات سازه ۴ طبقه بتنی و مرکب.



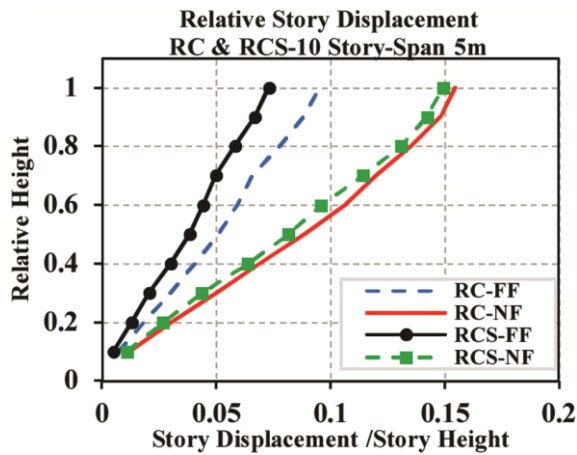
شکل (۲): زاویه دررفت طبقات سازه ۴ طبقه بتنی و مرکب.



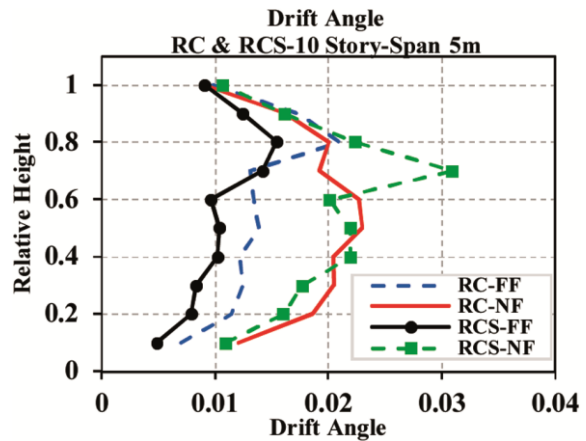
شکل (۵): جابه‌جایی طبقات سازه ۷ طبقه بتنی و مرکب.



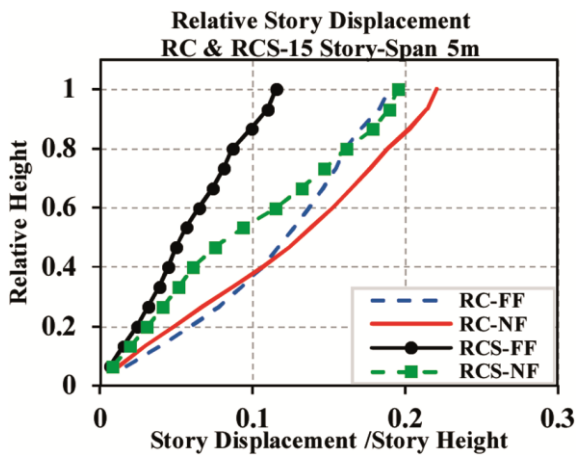
شکل (۴): زاویه دررفت طبقات سازه ۷ طبقه بتنی و مرکب.



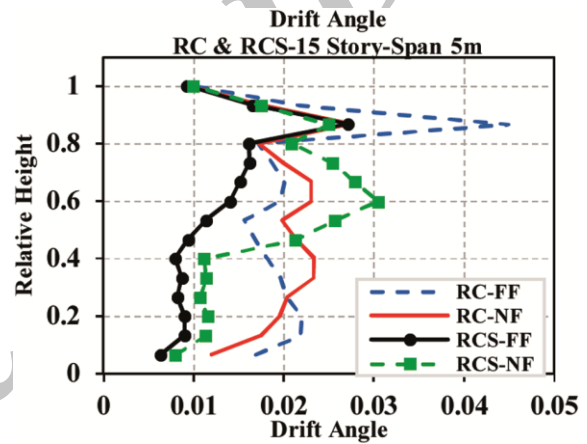
شکل (۷): جابه‌جایی طبقات سازه ۱۰ طبقه بتنی و مرکب.



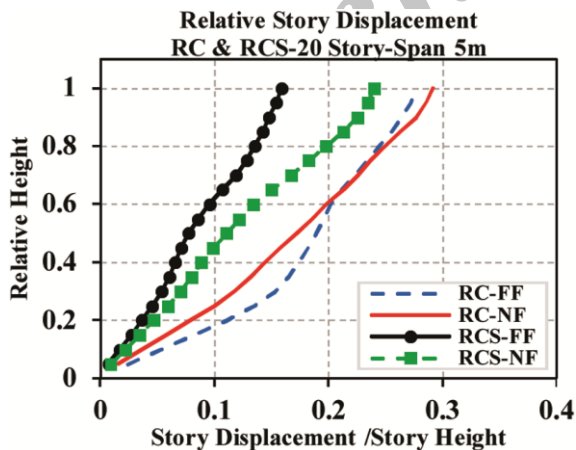
شکل (۸): زاویه دررفت طبقات سازه ۱۰ طبقه بتنی و مرکب.



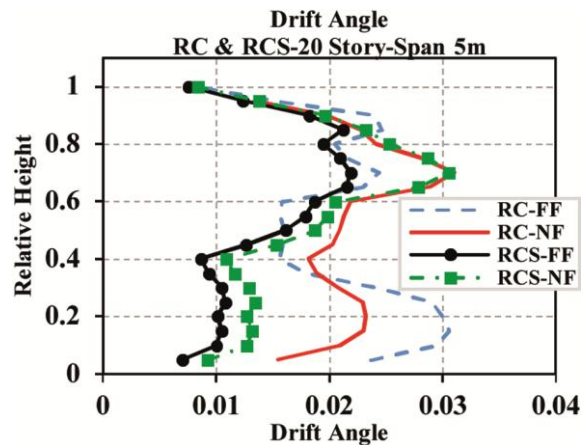
شکل (۹): جابه‌جایی طبقات سازه ۱۵ طبقه بتنی و مرکب.



شکل (۱۰): زاویه دررفت طبقات سازه ۱۵ طبقه بتنی و مرکب.



شکل (۱۱): جابه‌جایی طبقات سازه ۲۰ طبقه بتنی و مرکب.



شکل (۱۲): زاویه دررفت طبقات سازه ۲۰ طبقه بتنی و مرکب.

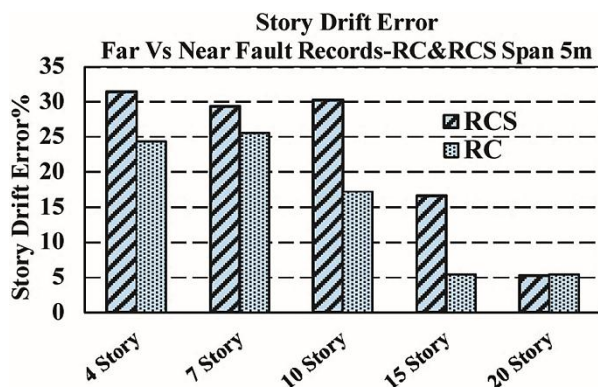
طبقات فوقانی و تحتانی سازه این اتفاق افتاده است (با افزایش ارتفاع سازه، در طبقات فوقانی و تحتانی، اثر زلزله دور از گسل

حاصل از زلزله‌های نزدیک گسل بیشتر از زلزله‌های دور از گسل می‌باشد. این در حالی است که در سازه‌های بلند مرتبه در

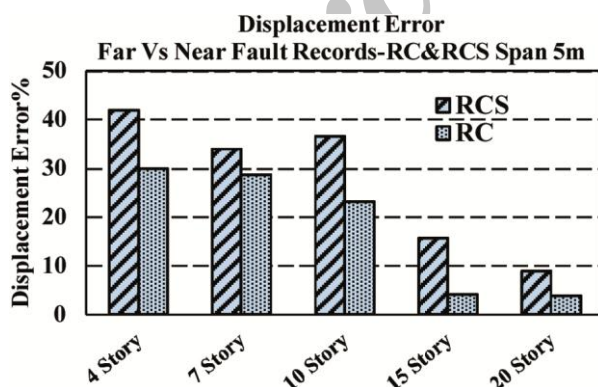
شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل نشان می‌دهد. به منظور محاسبه درصد خطای هر روش از رابطه (۱) استفاده می‌شود که توسط پینهو و همکاران [۱۷] معرفی شده است.

$$\text{Error}(\%) = \frac{100}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta_{i\text{Far Fault}} - \Delta_{i\text{Near Fault}}}{\Delta_{i\text{Far Fault}}} \right)^2} \quad (1)$$

در رابطه فوق، n تعداد طبقات سازه، $\Delta_{i\text{Near Fault}}$ حداکثر تغییر مکان نسبی یا مطلق در طبقه i حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی تحت رکوردهای نزدیک گسل، $\Delta_{i\text{Far Fault}}$ حداکثر تغییر مکان نسبی یا مطلق در طبقه i حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی تحت رکوردهای دور از گسل می‌باشد.



شکل (۱۲): اختلاف ناشی از رکوردهای نزدیک و دور از گسل در محاسبه زاویه دررفت طبقات در سازه‌های مورد مطالعه.



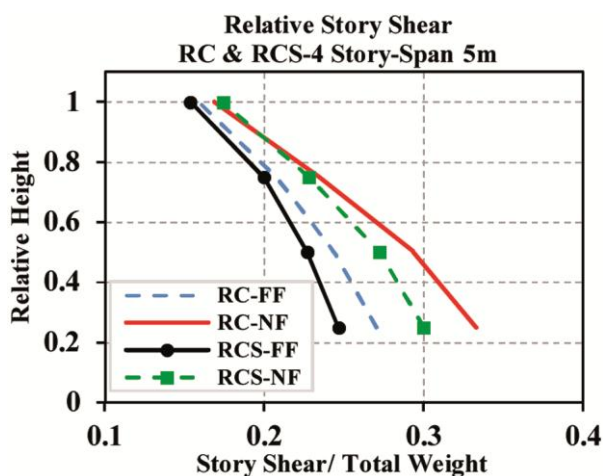
شکل (۱۳): اختلاف ناشی از رکوردهای نزدیک و دور از گسل در محاسبه جابه‌جایی طبقات در سازه‌های مورد مطالعه.

بررسی میزان اختلاف نتایج حاصل از رکوردهای دور و نزدیک نشان می‌دهد که با افزایش تعداد طبقات و دوره تناوب

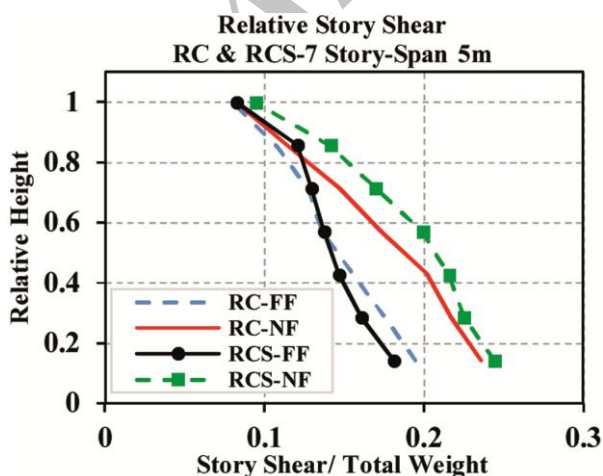
بیشتر از زلزله نزدیک گسل است). در سازه‌های مرکب زاویه دررفت حاصل از رکوردهای نزدیک گسل بیشتر از دور از گسل است که با افزایش تعداد طبقات در سازه مرکب این اثر کم می‌شود. در طبقات فوقانی در سازه‌های بتنی اثر نزدیک گسل کمتر از دور از گسل است ولی در سازه‌های مرکب اثر نزدیک بیشتر است. به دلیل بیشتر بودن انرژی ورودی به سازه در اثر زلزله‌های نزدیک گسل در همه سازه‌های مورد بحث جابه‌جایی ناشی از زلزله‌های نزدیک گسل بیشتر از جابه‌جایی ناشی از زلزله‌های دور از گسل می‌باشد. به همین دلیل زاویه دررفت طبقات فوقانی سازه‌های مورد بحث تحت زلزله‌های دور از گسل نزدیک به زلزله‌های نزدیک گسل است. این اثر با افزایش ارتفاع سازه افزایش می‌یابد به نحوی که در سازه ۴ طبقه بتنی در تمامی طبقات زاویه دررفت حاصل از زلزله‌های نزدیک گسل بیشتر از زلزله‌های دور از گسل می‌باشد؛ در سازه ۷ طبقه در دو طبقه فوقانی، زاویه دررفت حاصل از زلزله‌های دور از گسل برابر با زاویه دررفت حاصل از زلزله‌های نزدیک گسل می‌باشد؛ در سازه ۱۰ طبقه این برابری در ۳ طبقه فوقانی در سازه ۱۵ طبقه در ۴ طبقه فوقانی (البته اگر افزایش ناگهانی در یکی از طبقات فوقانی رخ ندهد. لازم به ذکر است که این افزایش ناگهانی به دلیل تیپ‌بندی مقاطع در طراحی سازه است زیرا در این طبقه به خاطر تیپ‌بندی، مقطعی استفاده شده است که بیش از نیاز همین طبقه می‌باشد، لذا نیروی بیشتری را جذب کرده و دررفت ناگهانی را منتج شده است) و در سازه ۲۰ طبقه نیز در ۴ طبقه فوقانی رخ می‌دهد. سازه‌های مرکب میان مرتبه و بلند مرتبه تحت زلزله دور از گسل بهتر جواب داده است (کمتر از سازه بتنی). از طرفی زاویه دررفت طبقات تحتانی سازه کوتاه مرتبه بتنی تحت زلزله دور از گسل کمتر از سازه مرکب است. به نظر می‌رسد که ارزیابی سازه‌های بلند مرتبه نسبت به سازه‌های بلند مرتبه بتنی دارای پاسخ جابه‌جایی مطلوب‌تری است.

شکل‌های (۱۲) و (۱۳)، مقادیر اختلاف زاویه دررفت و جابه‌جایی تحت رکوردهای دور از گسل را در مقایسه با

زلزله نزدیک گسل است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش تعداد طبقات اختلاف بین زاویه دررفت دو سازه تحت زلزله‌های دور رفته‌رفته بیشتر از همین اختلاف تحت زلزله نزدیک می‌شود. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شده بود اختلاف بین زاویه دررفت سازه‌های بلند مرکب و بتنی تحت زلزله دور از گسل نسبت به زاویه دررفت همین سازه‌ها تحت زلزله نزدیک گسل بیشتر است؛ به طوری که اختلاف بین دو نوع سازه به مقدار حدود ۳ درصد زاویه دررفت دور از گسل بیشتر از نزدیک گسل می‌باشد. در شکل‌های (۱۵) تا (۱۹) نتایج برش طبقات حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی مدل‌های مورد بررسی تحت زلزله‌های حوزه نزدیک گسل و دور از گسل ارائه می‌شوند.

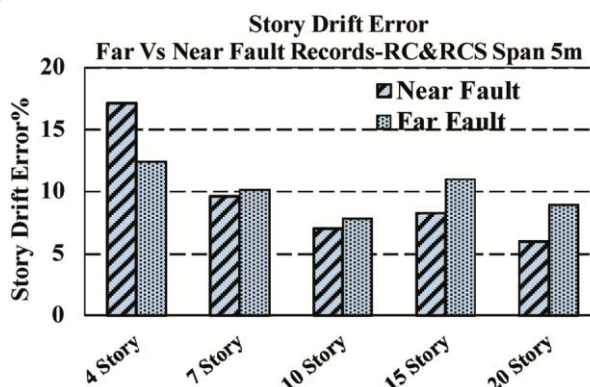


شکل (۱۵): برش طبقات سازه ۴ طبقه بتنی و مرکب.



شکل (۱۶): برش طبقات سازه ۷ طبقه بتنی و مرکب.

سازه، مقدار اختلاف دررفت و جابه‌جایی ناشی از رکورد دور از گسل و نزدیک گسل عمدتاً کاهش پیدا می‌کند. از طرفی اختلاف ناشی از رکوردهای نزدیک و دور از گسل در محاسبه جابه‌جایی و دررفت طبقات در سازه‌های بتنی به مراتب کمتر از این اختلاف در سازه‌های مرکب است. این امر نشان می‌دهد که اثربخشی رکوردهای نزدیک گسل بر سازه‌های مرکب بیشتر از سازه‌های معمول بتنی است. بیشترین اختلاف ناشی از رکوردهای نزدیک و دور از گسل در محاسبه زاویه دررفت و جابه‌جایی طبقات سازه مرکب به ترتیب حدود ۳۲ و ۴۲ درصد و برای سازه بتنی حدود ۲۶ و ۳۰ درصد مربوط به سازه‌های کوتاه‌مرتبه می‌باشد. کمترین اختلاف ناشی از رکوردهای نزدیک و دور از گسل در محاسبه زاویه دررفت و جابه‌جایی طبقات سازه مرکب به ترتیب ۵ و ۹ درصد و برای سازه بتنی حدود ۵ و ۴ درصد برای سازه‌های بلند مرتبه است. شکل (۱۴) این بار اختلاف زاویه دررفت طبقات بین سازه مرکب و بتنی تحت رکوردهای نزدیک و دور از گسل را نشان می‌دهد.



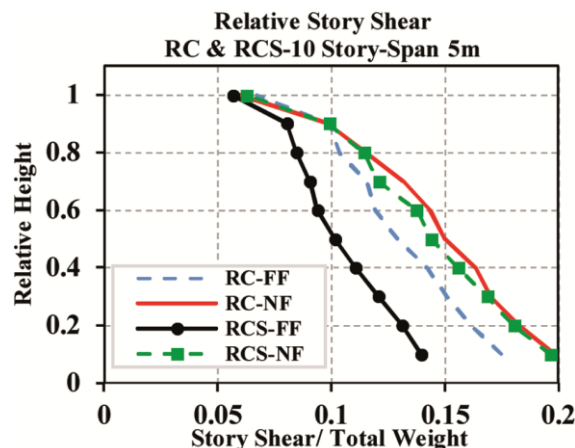
شکل (۱۴): اختلاف زاویه دررفت طبقات بین سازه مرکب و بتنی تحت رکوردهای نزدیک و دور از گسل.

همان‌طور که از شکل (۱۴) ملاحظه می‌شود اختلاف زاویه دررفت بین سازه‌های مرکب و بتنی با افزایش تعداد طبقات کاهش می‌یابد و این در حالی است که اختلاف زاویه دررفت بین سازه‌های میان‌مرتبه و بلند مرتبه مرکب و بتنی تحت رکوردهای دور از گسل به مراتب بیشتر از همین اختلاف تحت

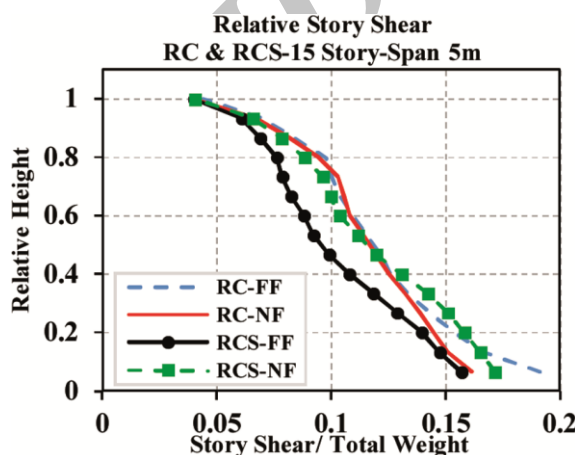
طبقات ناشی از زلزله‌های دور از گسل است که این تفاوت در پایین سازه بیشتر است. البته در سازه‌های ۱۵ و ۲۰ طبقه بتنی در پایین سازه برش طبقات ناشی از زلزله دور از گسل کمی بیشتر از برش طبقات ناشی از زلزله نزدیک گسل شده است. با افزایش تعداد طبقات برش طبقات سازه بتنی ناشی از رکوردهای نزدیک گسل رفته‌رفته به برش ناشی از رکوردهای دور از گسل نزدیک می‌شود. این نشان می‌دهد که افزایش تعداد طبقات تأثیر بیشتری بر کم شدن اختلاف برش طبقات ناشی از رکورد نزدیک گسل و رکورد دور از گسل در سازه‌های بتنی دارد. برش پایه ناشی از رکورد نزدیک گسل در تمام سازه‌های مرکب بیشتر از برش پایه ناشی از رکورد دور از گسل است. از آنجاکه ناحیه شتاب ثابت و تغییر مکان ثابت در طیف نزدیک گسل پهن‌تر می‌شود، بنابراین هرچه ناحیه شتاب ثابت طیف پهن‌تر باشد، تعداد مودهای بیشتری در این ناحیه واقع شده و لذا مقدار برش پایه الاستیک و تغییر مکان‌های بین طبقاتی افزایش پیدا می‌کند؛ که با افزایش ارتفاع سازه میزان این اختلاف کاهش می‌یابد. برش پایه ناشی از زلزله‌های نزدیک گسل در قاب بتنی در سازه‌های کوتاه‌مرتبه و میان‌مرتبه بیشتر از زلزله‌های دور از گسل است، این در حالی است که برش پایه ناشی از رکوردهای دور از گسل در سازه‌های بلند بتنی بیشتر از برش پایه تحت زلزله‌های نزدیک گسل است. این نشان می‌دهد که در سازه‌های بلند مرتبه بتنی از نقطه نظر برش پایه، زلزله‌های دور از گسل حاکم هستند.

شکل (۲۰) مقادیر اختلاف برش تحت رکوردهای دور از گسل را در مقایسه با شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل نشان می‌دهد. به منظور محاسبه درصد خطای هر روش از رابطه (۱) استفاده می‌شود.

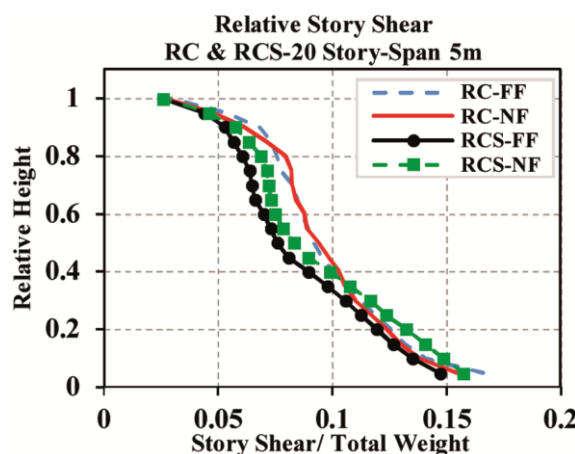
همان‌طور که از اختلاف ناشی از رکوردهای نزدیک و دور از گسل در محاسبه برش طبقات در سازه‌های بتنی پیداست، با افزایش ارتفاع طبقات این اختلاف رو به کاهش است؛ اما اختلاف برش طبقات بین رکوردهای دور و نزدیک گسل در سازه‌های مرکب بیشتر از همین اختلاف در سازه‌های بتنی می‌باشد.



شکل (۱۷): برش طبقات سازه ۱۰ طبقه بتنی و مرکب.



شکل (۱۸): برش طبقات سازه ۱۵ طبقه بتنی و مرکب.



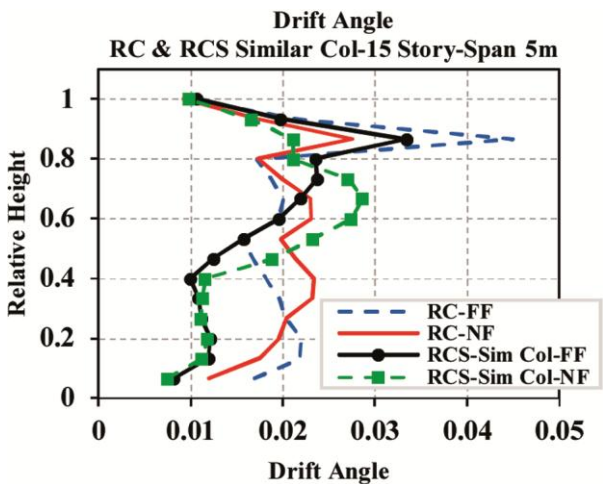
شکل (۱۹): برش طبقات سازه ۲۰ طبقه بتنی و مرکب.

نتایج بررسی برش طبقات تحت رکوردهای دور از گسل و نزدیک گسل نشان می‌دهد که برش طبقات در سازه‌های مورد بررسی ناشی از زلزله‌های نزدیک گسل به مراتب بیشتر از برش

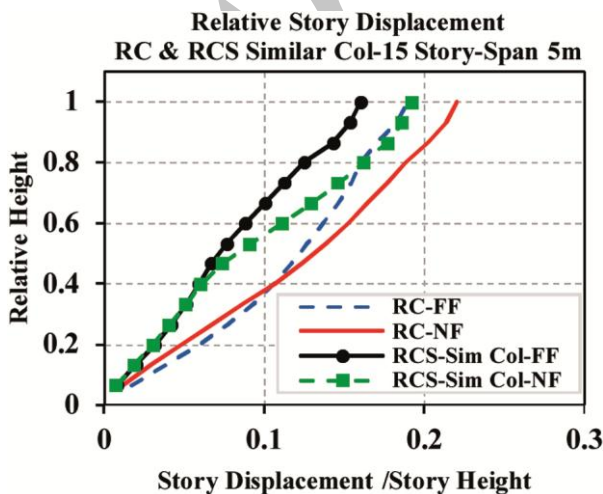
۷- اثر تیر فولادی در سازه‌های مرکب نسبت به سازه بتنی

به منظور مطالعه اثر تیر فولادی در قاب‌های مرکب، ستون‌های قاب مرکب در سازه‌های ۱۵ و ۲۰ طبقه با ستون‌های قاب بتنی جایگزین می‌شود و در نهایت نتایج سازه جدید تحت شتاب‌نگاشت‌های دور و نزدیک گسل مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت با مقایسه نتایج حاصل از سازه جدید با قاب‌های خمشی بتنی ۱۵ و ۲۰ طبقه اثرات تیر فولادی بررسی می‌شود.

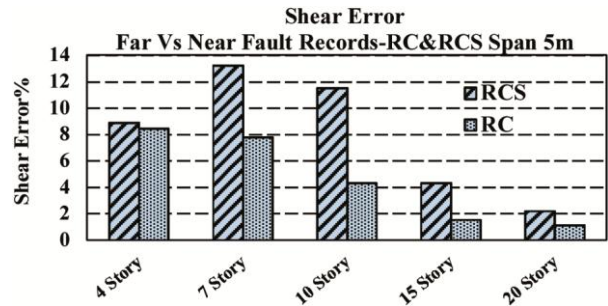
در شکل‌های (۲۲) تا (۲۵) نتایج جابه‌جایی و زاویه دررفت طبقات حاصل از شتاب‌نگاشت‌های دور و نزدیک از گسل برای سازه‌های دهانه ۵ متری ارائه شده است.



شکل (۲۲): اثر تیر فولادی بر زاویه دررفت طبقات سازه ۱۵ طبقه بتنی و مرکب.



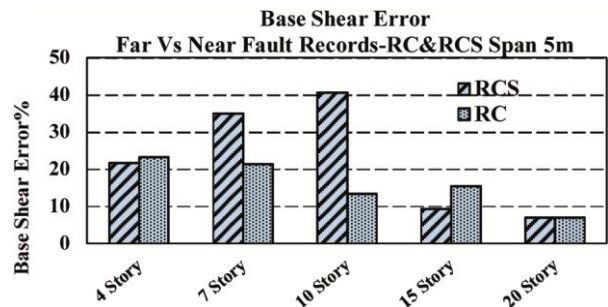
شکل (۲۳): اثر تیر فولادی بر جابه‌جایی طبقات سازه ۱۵ طبقه بتنی و مرکب.



شکل (۲۰): اختلاف ناشی از رکوردهای نزدیک و دور از گسل در محاسبه برش طبقات در سازه‌های مورد مطالعه.

بیشترین اختلاف برش طبقات ناشی از رکوردهای دور و نزدیک گسل مربوط به سازه مرکب حدود ۱۳ درصد و سازه بتنی حدود ۸ درصد مربوط به سازه‌های کوتاه‌مرتبه است و کمترین اختلاف برش طبقات ناشی از رکوردهای دور و نزدیک گسل مربوط به سازه مرکب تقریباً ۲ درصد و سازه بتنی حدود ۱ درصد مربوط به سازه‌های بلند مرتبه است.

شکل (۲۱) مقادیر اختلاف برش پایه تحت رکوردهای دور از گسل را در مقایسه با شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل نشان می‌دهد. به منظور محاسبه درصد خطای هر روش از رابطه (۱) استفاده می‌شود.

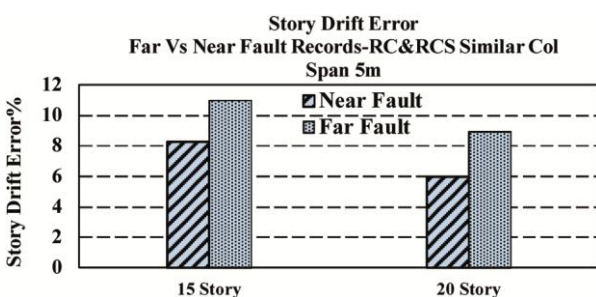


شکل (۲۱): اختلاف ناشی از رکوردهای نزدیک و دور از گسل در محاسبه برش پایه در سازه‌های مورد مطالعه.

از شکل (۲۱) می‌توان مشاهده کرد که اثر زلزله نزدیک گسل بر برش پایه در سازه‌های کوتاه‌مرتبه مرکب بیشتر از سازه‌های بتنی است، به نحوی که کمترین اختلاف برش پایه در سازه‌ها در حدود ۷ درصد در سازه بلند مرتبه است.

است که در قاب‌های مرکب با افزایش ارتفاع سازه اختلاف زاویه دریفت و جابه‌جایی ناشی از رکوردهای دور و نزدیک گسل کمتر شده است. این نشان می‌دهد که تیر فولادی موجب شده است که با افزایش ارتفاع اثربخشی رکورد نزدیک گسل بر زاویه دریفت و جابه‌جایی سازه مرکب کمتر شود. به‌نوعی در حوزه نزدیک و دور از گسل از نقطه‌نظر زاویه دریفت و جابه‌جایی، با افزایش ارتفاع سازه، سازه بتنی بحرانی‌تر عمل می‌کند.

شکل (۲۶) این بار اثر تیر فولادی بر اختلاف زاویه دریفت طبقات بین سازه مرکب و بتنی تحت رکوردهای نزدیک و دور از گسل را نشان می‌دهد.

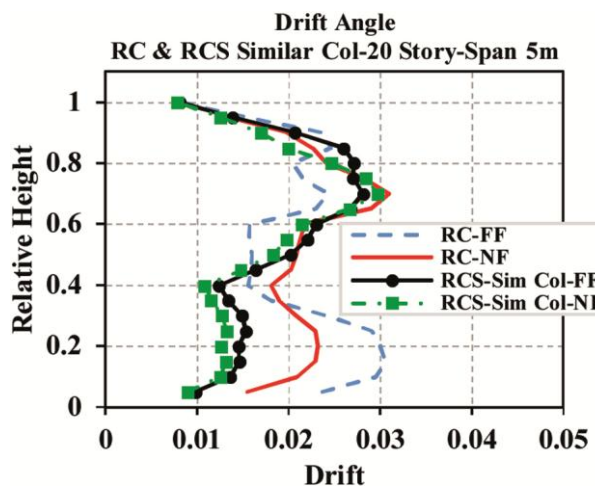


شکل (۲۶): اثر تیر فولادی بر اختلاف زاویه دریفت طبقات بین سازه مرکب و بتنی تحت رکوردهای نزدیک و دور از گسل.

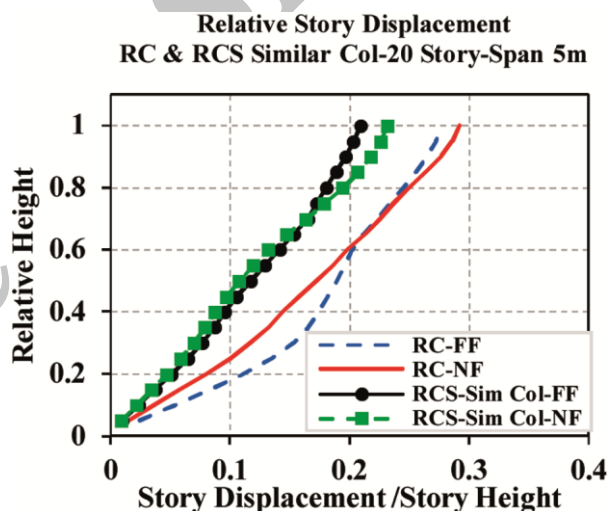
با افزایش تعداد طبقات اثر تیر فولادی کاهش می‌یابد که این اثر تحت زلزله‌های نزدیک گسل بیشتر است. بررسی مقادیر اختلاف زاویه دریفت نشان می‌دهد اثر تیر فولادی در قاب‌های مرکب تحت زلزله‌های دور از گسل بیشتر از زلزله‌های نزدیک گسل است.

در شکل (۲۷) و (۲۸) نتایج برش طبقات حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی مدل‌های مورد بررسی تحت زلزله‌های حوزه نزدیک گسل و دور از گسل ارائه می‌شوند.

برش طبقات تحت رکوردهای نزدیک و دور از گسل سازه مرکب جدید در طبقات تحتانی از سازه بتنی بیشتر است و با افزایش ارتفاع سازه این اختلاف کمتر شده است. برش پایه ناشی



شکل (۲۴): اثر تیر فولادی بر زاویه دریفت طبقات سازه ۲۰ طبقه بتنی و مرکب.



شکل (۲۵): اثر تیر فولادی بر جابه‌جایی طبقات سازه ۲۰ طبقه بتنی و مرکب.

زاویه دریفت قاب مرکب جدید تحت زلزله دور از گسل و نزدیک گسل در طبقات تحتانی کمتر از زاویه دریفت قاب بتنی است و در طبقات فوقانی نزدیک یا برابر با هم هستند. جابه‌جایی قاب بتنی تحت زلزله نزدیک و دور از گسل در تمام طول طبقات کمتر از جابه‌جایی قاب بتنی است که با افزایش ارتفاع سازه این اختلاف بیشتر نیز شده است. در قاب‌های بتنی با افزایش ارتفاع سازه اختلاف زاویه دریفت و جابه‌جایی ناشی از رکوردهای دور و نزدیک گسل بسیار ناچیز است. این در حالی

است؛ به نحوی که در سازه ۲۰ طبقه در طبقات تحتانی و فوقانی زاویه دررفت دور از گسل بیشتر از نزدیک گسل است.

- نتایج حاصل از زاویه دررفت زلزله‌های نزدیک گسل نشان می‌دهد که با افزایش تعداد طبقات مقادیر حاصل از قاب‌های مرکب در مقایسه با قاب‌های بتنی کمتر است.

- زاویه دررفت و جابه‌جایی سازه‌های مرکب حاصل از رکوردهای نزدیک گسل بیشتر از زاویه دررفت ناشی از زلزله‌های دور از گسل است ولی با افزایش ارتفاع این اختلاف کاهش می‌یابد.

- زاویه دررفت در سازه‌های بلند مرتبه مرکب در زلزله نزدیک گسل و در سازه‌های بلند مرتبه بتنی زلزله دور از گسل بحرانی‌تر است؛ و در سازه‌های کوتاه مرتبه بتنی و مرکب زلزله نزدیک گسل تعیین کننده است.

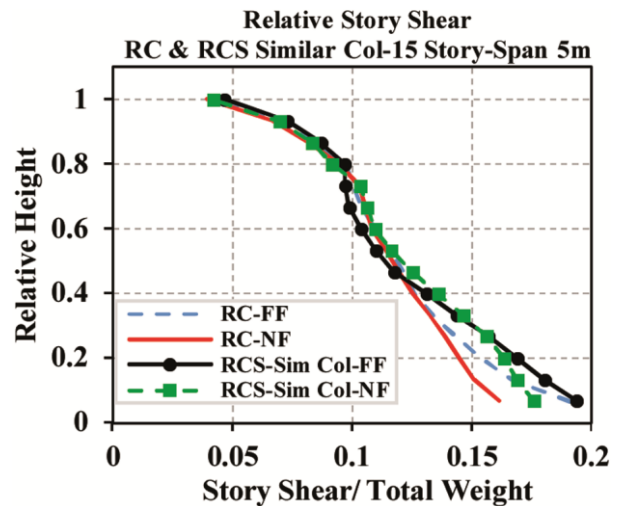
- برش پایه حاصل از زلزله نزدیک گسل در قاب مرکب در همه سازه‌ها بیشتر از برش پایه ناشی از زلزله دور از گسل است؛ و با افزایش ارتفاع سازه میزان این اختلاف کاهش می‌یابد.

- برش پایه حاصل از زلزله‌های نزدیک گسل در قاب‌های بتنی در سازه‌های کوتاه مرتبه و میان مرتبه بیشتر از زلزله‌های دور از گسل است.

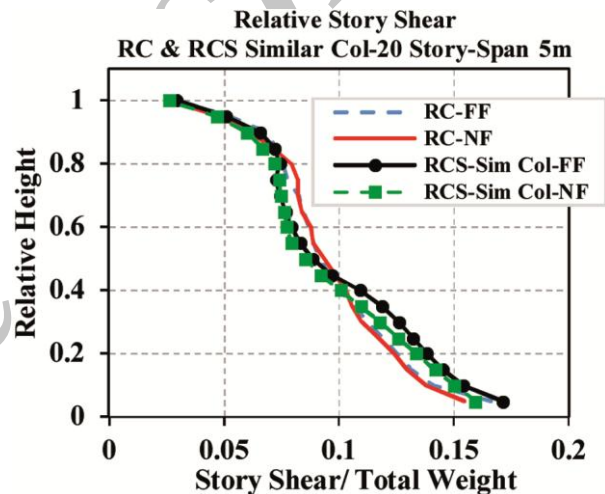
- تیر فولادی موجب شده است که با افزایش ارتفاع اثر بخشی رکورد نزدیک گسل بر زاویه دررفت و جابه‌جایی سازه مرکب کمتر شود. به نوعی در حوزه نزدیک و دور از گسل از نقطه نظر زاویه دررفت و جابه‌جایی، با افزایش ارتفاع سازه، سازه بتنی بحرانی‌تر عمل می‌کند.

- برش پایه ناشی از رکوردهای دور از گسل در سازه مرکب جدید و بتنی با هم برابرند این در حالی است که تحت زلزله‌های نزدیک گسل برش پایه سازه مرکب جدید از بتنی بیشتر است.

- افزایش ارتفاع سازه به همراه افزایش طول دهانه باعث شده است که جابه‌جایی سازه مرکب که ستون‌هایش شبیه به سازه بتنی شده است، تحت زلزله نزدیک گسل کمترین مقدار را



شکل (۲۷): اثر تیر فولادی بر برش طبقات سازه ۱۵ طبقه بتنی و مرکب.



شکل (۲۸): اثر تیر فولادی بر برش طبقات سازه ۲۰ طبقه بتنی و مرکب.

از رکوردهای دور از گسل در سازه مرکب جدید و بتنی با هم برابرند. این در حالی است که تحت زلزله‌های نزدیک گسل برش پایه سازه مرکب جدید از بتنی بیشتر است و با افزایش ارتفاع سازه این دو مقدار با هم برابر شده‌اند.

۸- نتیجه‌گیری

- زاویه دررفت حاصل از رکوردهای نزدیک گسل در سازه‌های بتنی بیشتر از زاویه دررفت ناشی از رکوردهای دور از گسل است، ولی با افزایش ارتفاع سازه زاویه دررفت ناشی از رکوردهای دور از گسل بیشتر از زلزله‌های نزدیک گسل

Structural Concrete and Commentary. Portland Cement Association. American Concrete Institute.

11. AISC 360-05 (2005) *Specification for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction, A ANSI. Inc: Chicago, IL.
12. ASCE 7-10 (2010) *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers, ISBN: 9780784410851.
13. Permanent committee for revising the Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings. (Ed.) (2014) *Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings*. Buildings and Housing Research Center (in Persian).
14. <http://ngawest2.berkeley.edu/> [Online].
15. FEMA-356 (2000) *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. ASCE (Funded by Federal Emergency Management Agency).
16. <http://seismosoft.com/en/download.aspx> [Online].
17. Lopez-Menjivar, M.A. and Pinho, R. (2004) *A Review of Existing Pushover Methods for 2-D Reinforced Concrete Buildings*. Pavia (Italy): Rose School.

داشته باشد؛ لذا بحرانی بودن زلزله نزدیک گسل در جابه‌جایی سازه مرکب با افزایش طول دهانه و ارتفاع سازه از بین رفته است.

مراجع

1. Griffis, L.G. (1986) Some design considerations for composite-frame structures. *Engineering Journal*, **23**(2), 59-64.
2. Sheikh, T.M. (1988) *Moment Connections Between Steel Beams and Concrete Columns*. University of Texas at Austin.
3. Bugeja, M., Bracci, J.M., and Moore, Jr. W.P. (2000) Seismic behavior of composite RCS frame systems. *Journal of Structural Engineering*, **126**(4), 429-436.
4. Azar, B.F., Ghaffarzadeh, H., and Talebian, N. (2013) Seismic performance of composite RCS special moment frames. *KSCE Journal of Civil Engineering*, **17**(2), 450-457.
5. Eskandarian, F. (2016) *Assessment of Linear and Nonlinear Behavior of RCS Braced-Frames*. Master's Thesis, University of Semnan (in Persian).
6. Hosseini, S.A. (2005) *Evaluation of Connections and Seismic Analysis of Composite Frame (RCS)*. Master's Thesis, University of Gilan (in Persian).
7. Chen, C.H., Lai, W.C., Cordova, P., Deierlein, G.G., and Tsai, K.C. (2004) Pseudo-dynamic test of full-scale RCS frame: Part I – Design, Construction, and Testing. *Accepted in NCRE Workshop Proceedings*.
8. Cordova, P. and Deierlein, G.G. (2005) *Validation of the Seismic Performance of Composite RCS Frames: Full-Scale Testing, Analytical Modeling, and Seismic Design*. The John A. Blume Earthquake Engineering Center Dept. of Civil and Environmental Engineering Stanford University.
9. OpenSees (2009) <http://opensees.Berkeley.edu>, *Open System for Earthquake Engineering Simulation*.
10. ACI 318-08 (2008) *Building Code Requirements for*