

ارزیابی رفتار لرزه‌ای قاب‌های بتن مسلح با کامپوزیت‌های الیافی توانمند در نواحی اتصال تیر-ستون

محمدحسین تقفی *

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

علی گل افشار

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

چکیده

آسیب‌های ناشی از زلزله‌های گذشته و مطالعات آزمایشگاهی نشان داده است که اتصالات تیر-ستون در سازه‌های بتنی فاقد جزئیات لرزه‌ای ویژه در ناحیه هسته اتصال آسیب‌پذیر بوده و می‌تواند موجب فروریزش سازه گردد. در این پژوهش به ارزیابی رفتاری لرزه‌ای قاب‌های بتن مسلح که دارای کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند در نواحی مفاصل پلاستیک و اتصالات هستند، پرداخته شده و پس از صحت‌سنجی مدل‌های تحلیلی با نتایج آزمایشگاهی، بررسی رفتاری لرزه‌ای قاب‌های ۵ و ۱۰ طبقه که در آن‌ها از مصالح توانمند استفاده شده انجام گرفته و با قاب بتن معمولی مقایسه شده است. استفاده از مصالح توانمند در نواحی مفاصل پلاستیک تیرها و ستون‌ها، سبب تغییر مود شکست اتصالات از شکست برشی اتصال، به تشکیل مفاصل پلاستیک خمشی در المان‌های تیر و ستون و همچنین بهترین عملکرد لرزه‌ای در حالتی است که از مصالح توانمند، در نواحی مفاصل پلاستیک تیرها و ستون‌ها و نیز پای ستون‌های طبقه اول استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند (HPFRCC)، سخت‌شوندگی کرنش، اتصالات تیر به ستون، هسته اتصال، رفتار چرخه‌ای.

* نویسنده مسئول: mh.saghafi@semnaniau.ac.ir

۱- مقدمه

در بسیاری از مناطق با خطر لرزه خیزی زیاد، استفاده از سازه‌های بتن مسلح با شکل‌پذیری زیاد اجتناب‌ناپذیر است و عملکرد اتصالات تیر-ستون یک پارامتر اساسی در حفظ یکپارچگی سازه در قاب‌های خمشی بتنی است. یک طراحی مناسب برای اتصالات تیر-ستون در سازه‌ها نیازمند، رعایت الزامات مقاومت و شکل‌پذیری جهت جلوگیری از شکست ناگهانی است [۱]. تحت بارهای لرزه‌ای، اتصالات تیر-ستون تحت نیروهای برشی، کششی و فشاری بزرگی قرار می‌گیرند و تجمع این نیروها سبب می‌شود این اتصالات یکی از آسیب‌پذیرترین المان‌ها در ساختمان‌های قاب خمشی منظور شوند. کمیته [۲] ACI 318M-11، برای جلوگیری از گسیختگی برشی در ناحیه اتصال تیر-ستون، استفاده از آرماتور عرضی کافی در چشمه اتصال را توصیه می‌کند. وجود مقادیر زیاد آرماتور عرضی موجب تجمع فولاد و مشکل در بتن‌ریزی و متراکم کردن بتن می‌گردد [۳] که در اتصالات با شکل‌پذیری زیاد به دلیل حجم زیاد آرماتور در هسته اتصال عمدتاً آرماتورهای عرضی در هسته اجرا نمی‌گردد و یا در صورت اجرای آرماتور عرضی هسته امکان و بهره مناسب بتن وجود ندارد، در نتیجه این موضوع سبب کاهش مقاومت و تحمل تغییر شکل‌ها و در نتیجه افزایش آسیب‌پذیری اتصال هنگام زلزله می‌گردد. به دلیل خاصیت شکنندگی بتن، اتصالات ساخته‌شده از بتن معمولی و فاقد جزئیات آرماتورگذاری لرزه‌ای، در محدود کردن تشکیل ترک‌های برشی مؤثر واقع نشده و باعث لغزش زود هنگام میلگردهای تیر از داخل اتصال پیش از تسلیم خمشی آرماتورها می‌گردد که این موضوع سبب کاهش مقاومت، سختی و استهلاک انرژی در اتصالات تیر-ستون می‌شود. در نتیجه اتصالات تیر-ستون با جزئیات غیر لرزه‌ای تحت بارهای جانبی بسیار آسیب‌پذیر بوده و عملکرد کلی ساختمان را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهند و شکست آن‌ها تحت بار جانبی ممکن است سبب انهدام ساختمان گردد.

در شکل ۱ تخریب ساختمان در اثر گسیختگی اتصالات تحت زمین لرزه ۱۳۹۶ سرپل ذهاب استان کرمانشاه نشان داده شده است.



شکل ۱- تخریب ساختمان در اثر گسیختگی اتصالات تحت زلزله ۱۳۹۶ سرپل ذهاب استان کرمانشاه

طی ۲۵ سال گذشته، مطالعات بی‌شماری در خصوص بررسی و ارزیابی اثرات استفاده از بتن‌های الیافی^۱ (FRC) به‌منظور کاهش تراکم آرماتور و نیز بهبود عملکرد لرزه‌ای در اتصالات تیر به ستون انجام شده است [۳-۶]. باید توجه داشت مخلوط‌های بتن مسلح با الیاف فولادی^۲ (SFRC) هنگام افزایش درصد الیاف با مشکلاتی مانند فقدان کارایی، یکنواختی و گلوله شدن در مخلوط تازه SFRC مواجه‌اند. مصالح FRC علیرغم دستیابی به پاسخ کششی بسیار مطلوب در مقایسه با بتن معمولی، پس از اولین ترک خوردگی، پاسخ نرم شدگی کششی از خود نشان می‌دهند در صورتی‌که در کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند^۳ (HPFRCC)، رفتار سخت‌شوندگی کرنش با ایجاد ترک‌های مضاعف مشاهده می‌گردد (شکل ۲) [۷]. با توجه به اینکه مصالح FRC پس از اولین ترک خوردگی پاسخ نرم شدگی کششی نشان می‌دهند، علیرغم جلوگیری از آسیب‌دیدگی زودرس، این امر قابلیت تحمل تنش‌های کششی بزرگ را محدود می‌نماید و باعث می‌گردد که مصالح FRC معمولاً گزینه مناسبی برای حذف کلی آرماتورهای عرضی در اتصالات بتنی با تنش بالا نباشد. با توجه به پیشرفت طراحی لرزه‌ای سازه‌ها به سمت طراحی مبتنی بر عملکرد نیاز است که از سیستم‌ها و اعضای سازه‌ای جدید با ظرفیت تغییر شکل بالا و مقاومت مطلوب در برابر آسیب‌دیدگی و نیز جزئیات آرماتورگذاری ساده استفاده گردد. یکی از گزینه‌ها برای دستیابی به این هدف استفاده از کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند در اتصالات تیر به ستون است.

³ High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites

¹ Fiber Reinforced Concrete

² Steel Fiber Reinforced Concrete

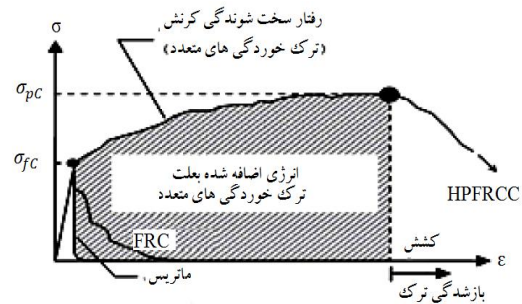
ارزیابی رفتار لرزه‌ای قاب‌های بتن مسلح با کامپوزیت‌های الیافی توانمند ...

نمونه‌های بتن معمولی، همراه با افزایش سختی بوده و باعث افزایش ظرفیت باربری و استهلاک انرژی می‌گردند. در سال ۲۰۱۶ سید و همکاران [۱۲] بررسی اثرات کامپوزیت سیمانی مهندسی^۲ (ECC) در رفتار اتصال خارجی تیر - ستون بتن مسلح تحت بارگذاری چرخه‌ای پرداختند. اتصال ECC سبب بهبود قابل توجهی در ظرفیت‌های برشی و خمشی و نیز رفتار تغییر شکل و تحمل خرابی، در مقایسه با نمونه بتن معمولی در مراحل نهایی و خرابی شده است.

ثقفی و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۱۶ به بررسی آزمایشگاهی و کاربرد کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند در مقاوم‌سازی اتصالات تیر به ستون پل‌های راه‌آهن با قاب‌های صلب پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که رفتار اتصالات تیر-ستون خارجی بهسازی شده با پانل‌های کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند سبب ۹۳٪ افزایش شکل‌پذیری، ۴۵٪ افزایش مقاومت جانبی نسبت به اتصال بتن معمولی، می‌گردد.

ثقفی و همکاران [۱۴] در سال ۲۰۱۸ شش اتصال خارجی تیر-ستون بتن معمولی و کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند را با مقیاس ۱/۲ ساخته و تحت بارگذاری چرخه‌ای مورد آزمایش قرار دادند. رفتار چرخه‌ای، شکل‌پذیری، سختی، استهلاک انرژی با مشخصات میرایی، الگوهای ترک خوردگی و رفتار برشی هسته اتصال نمونه‌های دارای کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و با رفتار چرخه‌ای نمونه‌های بتن معمولی با ضوابط لرزه‌ای ویژه و فاقد ضوابط لرزه‌ای ویژه در هسته اتصال مقایسه کردند. نتایج آزمایش حاکی از آن است که در مراحل پس از ترک خوردگی، اتصال‌های دارای کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند بهبود قابل توجهی در ظرفیت‌های برشی، خمشی و نیز رفتار تغییر شکل و تحمل خرابی، در مقایسه با نمونه بتن معمولی در مراحل نهایی از خود نشان داده‌اند. همچنین مود شکست نمونه‌های دارای کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند نسبت به بتن فاقد جزئیات لرزه‌ای از مود برشی به مود خمشی تغییر پیدا کرده است.

با توجه به مشکلات اجرایی ساخت اتصالات با جزئیات لرزه‌ای و نیز آسیب‌پذیر بودن اتصالات تیر-ستون با جزئیات غیر لرزه‌ای و



شکل ۲- نمونه پاسخ تنش - کرنش در کشش برای

کامپوزیت‌های HPRC [۸]

در سال ۲۰۰۵ پارا مونتسینوز و همکاران [۹] دو نمونه اتصال میانی تیر-ستون با ابعاد واقعی که در آنها هسته اتصال تیر-ستون و تیر در نواحی مفاصل پلاستیک با کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند جایگزین شده بود را مورد آزمایش قرار دادند. در این نمونه‌ها در نواحی هسته اتصال آرماتورهای برشی حذف و افزایش فواصل خاموت‌ها در نواحی مفصل پلاستیک تیر صورت گرفت. نتایج آزمایش آن‌ها نشان می‌دهد که این اتصالات قادرند در نیروهای برشی زیاد رفتار مناسب از خود نشان دهند. همچنین دیگر مشاهدات آن‌ها نشان می‌دهد، می‌توان آرماتورهای ناحیه هسته اتصال را حذف نمود و به مقاومت برشی لازم دست یافت. از دیگر مشاهدات مهار مناسب آرماتورهای طولی تیرها در حین بارگذاری بوده است.

در سال ۲۰۱۵، زهانگ و همکاران [۱۰] به منظور جلوگیری از تراکم آرماتور و کاهش میزان زیاد آرماتورهای عرضی در اتصالات خارجی تیر به ستون پل‌های راه‌آهن با قاب‌های صلب به استفاده از کامپوزیت‌های سیمانی مهندسی شده با الیاف پلی‌پروپیلن^۱ (PP-ECC) پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که PP-ECC در جایگزینی آرماتورهای عرضی در اتصالات تیر-ستون پل‌های راه‌آهن با قاب‌های صلب دارای تأثیر مثبت است.

در سال ۲۰۱۵ چیدام بارام و همکاران [۱۱] به بررسی رفتار اتصالات خارجی تیر-ستون با مصالح مختلف کامپوزیت سیمانی با استفاده از الیاف ترکیبی فولادی و الیاف پلی‌پروپیلن تحت بارگذاری چرخه‌ای پرداختند. نتایج آزمایش حاکی از آن است که استفاده از کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند در مقایسه با

² Engineered Cementitious Composites

¹ Poly Propylene Engineered Cementitious Composites

قرار گرفته است. ابعاد آرماتورهای طولی تیرها و ستون‌ها در تمام نمونه‌ها ثابت در نظر گرفته شد. پارامترهای مؤثر در آزمایش عبارت بودند از جزئیات خاموتگذاری در هسته اتصال و نیز الگوی و نوع مصالح بتن‌ریزی.

الگوهای متفاوت آرماتورگذاری عرضی شامل نمونه فاقد جزئیات لرزه‌ای، نمونه با جزئیات لرزه‌ای بافاصله خاموتگذاری $d/4$ و نمونه با جزئیات لرزه‌ای بافاصله خاموتگذاری $d/2$ مورد بررسی قرار گرفته است. (d ارتفاع مؤثر مقطع است). همچنین الگوی اتصال تیر-ستون فاقد جزئیات لرزه‌ای دارای عدم کفایت مقاومت برشی در هسته اتصال و بدون خاموت در هسته اتصال در نظر گرفته شده است. به جز آرماتورهای عرضی در هسته اتصال، آرماتورهای طولی و عرضی تیرها و ستون‌ها ضوابط لرزه‌ای -ACI 318M 11 را برآورده نموده است. به دلیل تمرکز پژوهش حاضر بر اتصالات فاقد جزئیات لرزه‌ای، در ادامه اعتبارسنجی پاسخ‌های مدل تحلیلی با نتایج آزمایشگاهی این اتصال پرداخته شده است.

جهت بررسی اثر استفاده از کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند به‌عنوان مصالحی برای حذف یا کاهش جزئیات آرماتورگذاری عرضی در هسته اتصال، سه الگوی بتن‌ریزی، با بتن معمولی و مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند مورد بررسی قرار گرفته است. الگوی اول (NC)، کل اتصال تیر-ستون با بتن معمولی بتن‌ریزی می‌شود، در الگوی دوم (C1)، مصالح HPFRCC در چشمه اتصال و در طولی معادل ۲ برابر عمق تیر استفاده شده و مابقی اتصال از بتن معمولی استفاده شده است. الگوی سوم (C2)، مصالح HPFRCC در ناحیه چشمه اتصال و در طولی معادل ۲ برابر عمق تیر در تیر و در طولی معادل ۲ برابر عمق ستون در ستون مورد استفاده قرار گرفته است و مابقی اتصال از بتن معمولی استفاده شده است. جزئیات کامل نمونه‌های اتصال تیر به ستون با انواع الگوی بتن‌ریزی در جدول ۱ ارائه شده است.

منحنی‌های رفتار چرخه‌ای اتصالات تیر به ستون مورد آزمایش در شکل ۳ ارائه شده است. نمونه بتن معمولی فاقد جزئیات لرزه‌ای، باریک‌شدگی^۱ قابل توجه و کاهش پیوسته سختی و مقاومت با افزایش زاویه دررفت را نشان می‌دهد. همچنین وقوع ترک‌های برشی در مراحل اولیه بارگذاری، باعث لغزش زود هنگام آرماتورهای طولی تیر

همچنین ویژگی‌های منحصربه‌فرد کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند در این تحقیق به ارزیابی رفتار لرزه‌ای قاب‌های بتن مسلح ساخته شده از کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند در نواحی اتصال تیر-ستون پرداخته شده است و تأثیر این مصالح توانمند در بهبود رفتار لرزه‌ای قاب‌های فاقد جزئیات آرماتورگذاری لرزه‌ای در ناحیه اتصال مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور با استفاده از نتایج آزمایشگاهی اتصالات خارجی تیر-ستون، مدل‌های تحلیلی در نرم‌افزار OpenSees مورد اعتبارسنجی قرار گرفته است. سپس به بررسی و مقایسه رفتار لرزه‌ای قاب‌های بتنی ۵ و ۱۰ طبقه فاقد جزئیات آرماتورگذاری لرزه‌ای در ناحیه هسته اتصال ساخته شده از بتن معمولی و کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند پرداخته شده است. به‌منظور تعیین پاسخ‌های لرزه‌ای قاب‌های مورد مطالعه، از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده شده است.

۲- اهمیت تحقیق

با توجه به اینکه اکثر مطالعات صورت گرفته بر روی شناخت ماهیت کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند، ترکیبات مختلف آن، نسبت‌های مختلف اختلاط مصالح و روابط حاکم بر منحنی تنش-کرنش بوده است و از این مصالح تنها در مطالعات آزمایشگاهی محدودی جهت بررسی رفتار زیر بخش‌هایی از سازه مانند اتصالات تیر-ستون، استفاده شده است و بررسی قاب‌های چندطبقه دارای کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند تاکنون انجام نگرفته است لذا نتایج این مطالعه جزء نوآوری‌ها و دستاوردهای جدید پژوهشی است.

۳- برنامه آزمایشگاهی

ثقفی و همکاران در سال ۲۰۱۸، به ساخت شش نمونه اتصال خارجی تیر-ستون با مقیاس ۱/۲ که همگی دارای ابعاد یکسان بودند در آزمایشگاه سازه دانشگاه فردوسی مشهد پرداختند و نمونه‌ها را تحت بارگذاری چرخه‌ای افزایشی شبه استاتیکی مورد آزمایش قرار دادند. اتصال تیر-ستون خارجی در حالت واقعی مربوط به یک ساختمان ۵ طبقه موجود به ارتفاع طبقه ۳/۵ متر و دهانه مؤثر تیر ۵ متر از قاب بوده که پس از جداسازی مورد بررسی

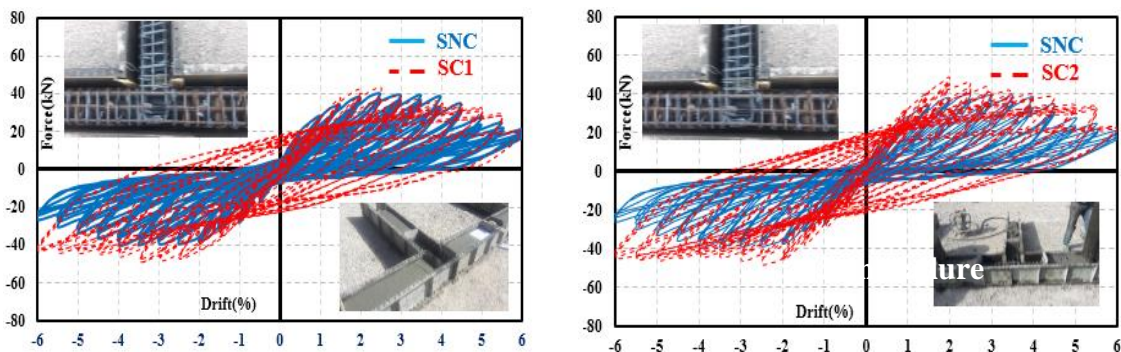
¹ Pinching

ارزیابی رفتار لرزه‌ای قاب‌های بتن مسلح با کامپوزیت‌های الیافی توانمند ...

و خردشدگی بتن در ناحیه اتصال می‌گردد که این امر موجب افزایش سطح حلقه‌های چرخه‌ای نسبت به نمونه بتن معمولی می‌گردد؛ گسیختگی برشی می‌گردد. پاسخ نمونه اتصال تیر-ستون با استفاده از کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند سبب بهبود ظرفیت باربری، استفاده در نواحی با خطر لرزه‌خیزی بالا مناسب است.

جدول ۱- جزئیات نمونه اتصال تیر به ستون خارجی

نام نمونه	الگوی بتن‌ریزی هسته اتصال	آرماتور عرضی هسته	آرماتور طولی تیر (%)	آرماتور عرضی تیر و ستون	آرماتور طولی ستون
SNC	NC	0	4Ø14 در بالا	Ø10@60 mm	8Ø14 =1/97% درصد آرماتور
SC1	C1		3Ø14 در پایین		
SC2	C2		1/96% درصد آرماتور		



شکل ۳- پاسخ چرخه‌ای نیرو - زاویه دررفت نمونه‌ها

یافته است. در این مدل، مقاومت فشاری بتن بر اساس روابط اصلاح‌شده Kent-Park ایجاد شده است و مقاومت کششی بتن صفر در نظر گرفته می‌شود. مدل سه‌بخشی اصلاح‌شده Kent-Park در شکل ۴ نشان داده شده است، همچنین رابطه تنش- کرنش تارهای مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند با استفاده از مدل ECC01 در نرم‌افزار OpenSees اختصاص یافته است [۱۷]. این ماده بر اساس مطالعات هان و همکاران^۴ در سال ۲۰۰۳ و بر مبنای رفتار کامپوزیت‌های سیمانی مهندسی‌شده^۵ ارائه شده است. در این مدل، بارگذاری مجدد در فشار و کشش به صورت خطی در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۵ رفتار تنش- کرنش این ماده در فشار و کشش نشان داده شده است [۱۸]. رابطه تنش-کرنش آرماتورهای فولادی با استفاده از مدل Steel02 [۱۷] نرم‌افزار OpenSees اختصاص یافته است. این مدل بر اساس روابط Menegotto-Pinto ایجاد شده است.

۴- مشخصات مدل تحلیلی

۴-۱- نرم‌افزار مورد استفاده اعتبارسنجی مدل سازی در نرم‌افزار OpenSees

به منظور مدل سازی قاب‌های بتنی مورد مطالعه، از نرم‌افزار اجزای محدود OpenSees^۱ استفاده شده است. نرم‌افزار OpenSees، یک برنامه کامپیوتری است که توسط محققین دانشگاه برکلی^۲، برای انجام تحلیل قاب‌های سازه‌ای دوبعدی و سه‌بعدی به روش المان محدود^۳، تهیه و ارائه گردیده است [۱۶]. این برنامه قابلیت انجام تحلیل‌های خطی، غیرخطی استاتیکی، تاریخچه زمانی و بار افزون را دارد. در واقع می‌توان مدل‌های ماکرو را در این نرم‌افزار با دقت بسیار بالا آنالیز نمود. با استفاده از وجود تنوع در انتخاب انواع روش‌های انتگرال‌گیری، می‌توان همگرا شدن نتایج تحلیل را تضمین نمود. رابطه تنش-کرنش تارهای بتن معمولی با استفاده از مدل Concrete01 [۱۷] نرم‌افزار OpenSees اختصاص

³ Finite Element

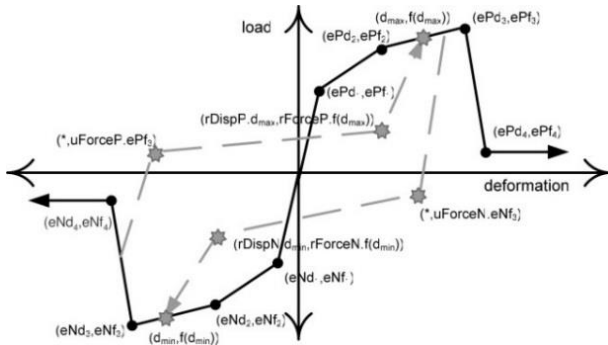
⁴ Han et al.

⁵ Engineered Cementitious Composites (ECC)

¹ Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSees)

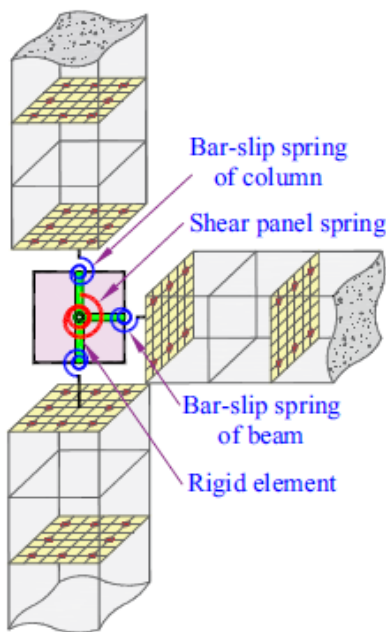
² Berkeley University

مطابق شکل ۶ مدل Pinching4 شامل پوش پاسخ چندخطی، مسیر سه خطی بارگذاری-باربرداری مجدد و سه قانون خسارت است. این قانون‌های خسارت شامل کاهش سختی باربرداری، کاهش سختی بارگذاری مجدد و کاهش مقاومت است.



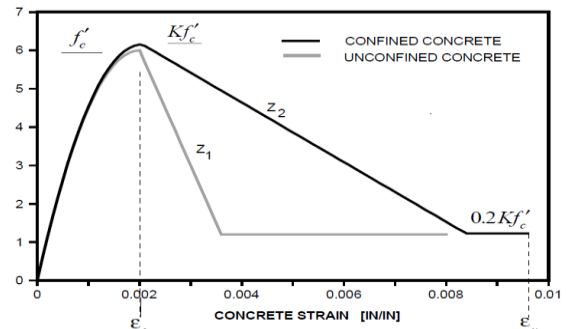
شکل ۶- مدل چرخه‌ای ماده Pinching4 مورد استفاده برای مدل‌سازی اتصال [۲۰]

در شکل ۷ مدل تحلیلی مورد استفاده برای مدل‌سازی اتصالات تیر-ستون بر اساس مطالعات سیفی و همکاران نشان داده شده است [۱۹].

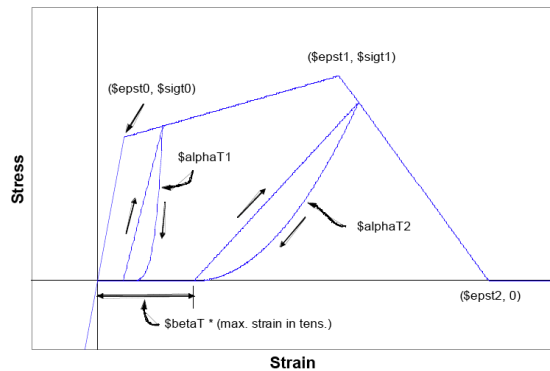


شکل ۷- مدل تحلیلی مورد استفاده برای مدل‌سازی اتصالات تیر-ستون [۱۹]

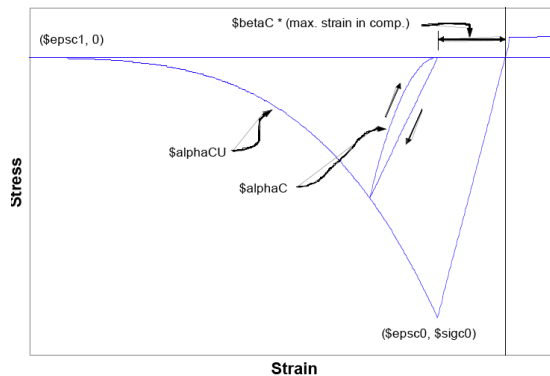
در شکل ۸ مقایسه بین رفتار چرخه‌ای و انرژی مستهلک شده اتصالات مدل تحلیلی ساخته شده در نرم‌افزار OpenSees و نتایج آزمایشگاهی ثقفی و همکاران نشان داده شده است.



شکل ۴- مدل تنش-کرنش Kent-Park برای بتن [۱۷]



الف) مدل تنش-کرنش کششی [۱۷]

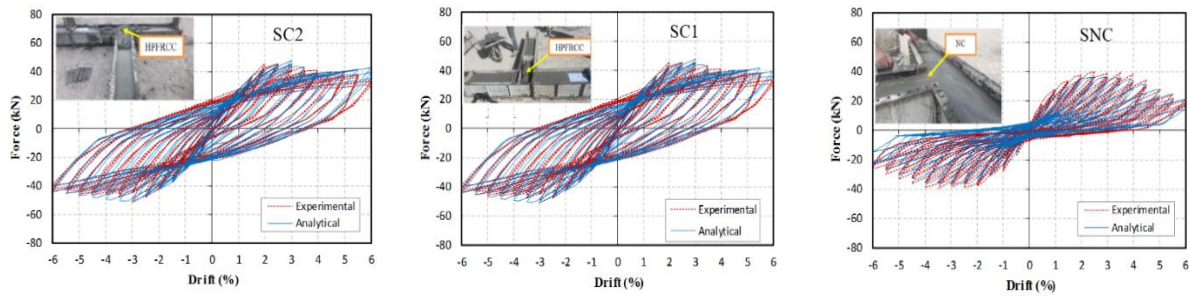


ب) مدل تنش-کرنش فشاری

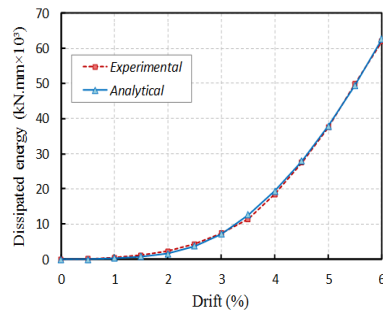
شکل ۵- مدل تنش-کرنش ماده ECC01 در فشار و کشش [۱۷]

جهت مدل‌سازی اعضای سازه از المان‌های غیرخطی dispBeamColumn با مقاطع فایبر در نرم‌افزار OpenSees استفاده شده است. در این حالت اعضا به رشته‌های طولی تقسیم شده و ضمن مشخص نمودن روابط تنش-کرنش محوری برای هر تار، روابط نیرو-تغییر شکل کلی هر مقطع با انتگرال‌گیری از تنش-کرنش تارهای آن مقطع به دست می‌آید. همچنین برای مدل‌سازی تغییر شکل‌های اتصال از یک فنر ZeroLength با مدل رفتاری Pinching4 استفاده شده است [۱۹].

ارزیابی رفتار لرزه‌ای قاب‌های بتن مسلح با کامپوزیت‌های الیافی توانمند ...

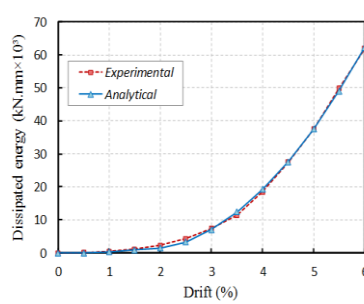


ج) پاسخ چرخه‌ای نیرو-زاویه دررفت SC2



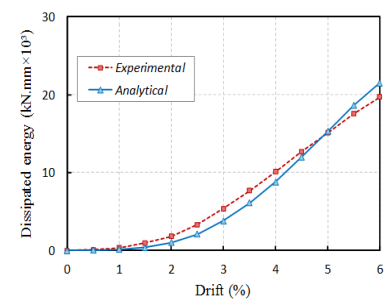
و) انرژی مستهلک شده SC2

ب) پاسخ چرخه‌ای نیرو-زاویه دررفت SC1



ه) انرژی مستهلک شده SC1

الف) پاسخ چرخه‌ای نیرو-زاویه دررفت SNC



د) انرژی مستهلک شده SNC

شکل ۸- مقایسه بین نتایج مدل‌های تحلیلی و آزمایشگاهی

لرزه‌ای برابر با بار مرده بعلاوه ۲۰ درصد بار زنده لحاظ گردیده است [۲۱]. مقاومت فشاری بتن معمولی و مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند به ترتیب برابر ۲۵ و ۳۵ مگاپاسکال و تنش جاری شدن آرماتورها برابر ۴۰۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. همچنین مقاومت کششی مصالح کامپوزیت سیمانی الیافی توانمند برابر ۳ مگاپاسکال و تنش کششی متناظر با اولین ترک خوردگی برابر ۲/۴ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. شکل ۹ پلان قاب‌های پنج و ده طبقه مورد مطالعه نشان داده شده است. جهت بررسی تأثیر مصالح کامپوزیت سیمانی الیافی توانمند در رفتار لرزه‌ای قاب‌های بتنی ۵ و ۱۰ طبقه، چهار الگوهای مختلف بتن‌ریزی در قاب‌های بتنی در نظر گرفته شده است که عبارت‌اند از الگوی (RC) که در کل قسمت‌های قاب شامل تیرها و ستون‌ها از بتن معمولی استفاده شده است. الگوی (RCH1) که از مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند در نواحی مفاصل پلاستیک در دو انتهای تیرها استفاده شده و سایر قسمت‌های قاب از بتن معمولی استفاده شده است. الگوی (RCH2) مانند RCH1 است با این تفاوت که علاوه بر نواحی مفاصل پلاستیک تیرها در نواحی پای ستون‌های طبقه اول نیز از مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند به‌اندازه دو برابر

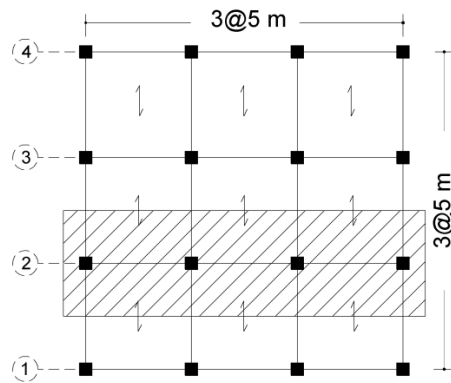
مشاهده می‌شود که نتایج آزمایشگاهی و نتایج مدل‌سازی در OpenSees انطباق مناسبی با یکدیگر دارند و بیشینه مقاومت به‌دست‌آمده از نتایج آزمایشگاهی و نتایج مدل‌سازی در OpenSees، به یکدیگر نزدیک بوده و کمتر از ۵٪ با یکدیگر اختلاف دارند. همچنین میزان باریک شدن حلقه‌های هیستریزس در دو حالت کاملاً به یکدیگر نزدیک است.

۴-۲- بررسی رفتار قاب‌های خمشی

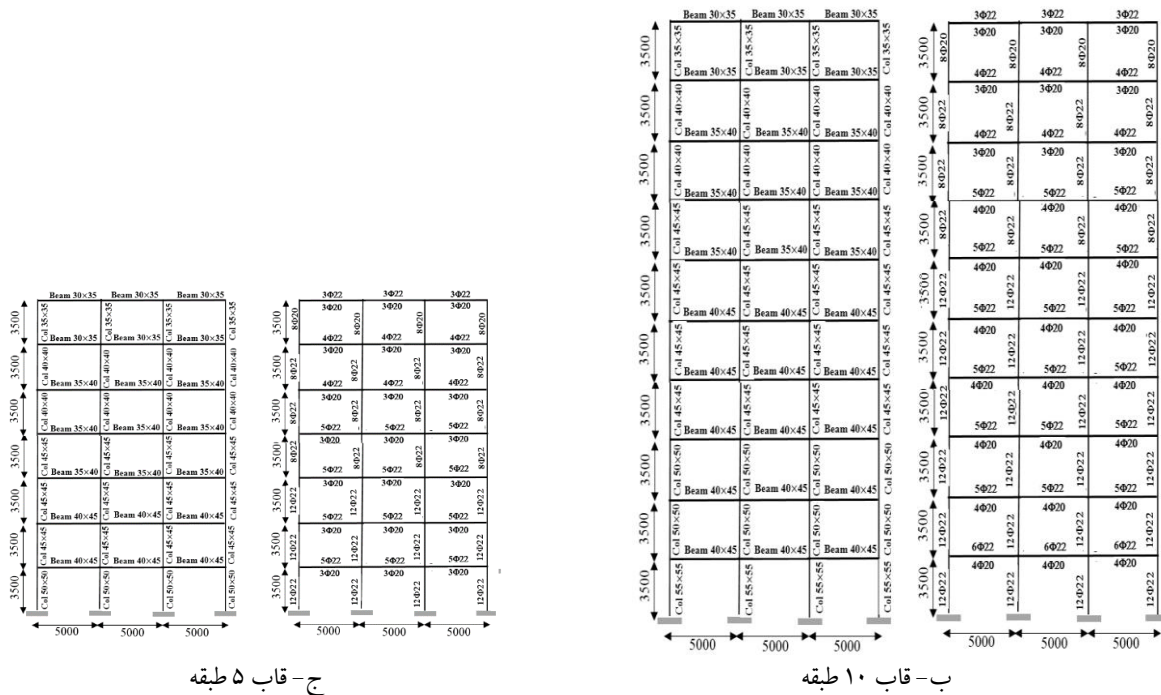
در این تحقیق، مدل اعتبارسنجی شده به‌دست‌آمده، برای تحلیل و بررسی رفتار قاب‌های ۵ و ۱۰ طبقه که بر اساس ضوابط ACI 318 طراحی شده به کارگیری شده است. ارتفاع طبقات در تمامی نمونه‌ها برابر ۳/۵ متر در نظر گرفته شده است. تعداد دهانه‌های قاب در تمامی نمونه‌ها برابر ۳ دهانه و طول هر دهانه ۵ متر است. همچنین کاربری سازه‌ها مسکونی بوده و در تهران و بر روی خاک تپ II استاندارد ۲۸۰۰ واقع شده‌اند. سیستم سازه‌ای از نوع قاب خمشی بتنی معمولی و کف صلب از نوع دال است. بار مرده و زنده طبقات به ترتیب برابر ۶ و ۲ کیلونیوتن بر متر مربع در نظر گرفته شده است. همچنین بار مرده و زنده بام به ترتیب برابر ۵/۵ و ۱/۵ کیلونیوتن بر متر مربع در نظر گرفته شده است. بار مؤثر

فوق به منظور انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی، رکوردهای زلزله برای شتاب زمین در زلزله طرح (دوره بازگشت ۴۷۵ سال) بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ مقیاس شده‌اند. با توجه به آنالیز مودال انجام شده در نرم‌افزار، زمان تناوب مود اول قاب ۵ و ۱۰ طبقه به ترتیب ۰/۸۶ و ۱/۳۵ ثانیه به دست آمده است و بر اساس زمان تناوب محاسباتی و میانگین طیف پاسخ شتاب هفت شتاب‌نگاشت انتخابی، ضریب مقیاس برای زلزله طرح برای قاب ۵ و ۱۰ طبقه برابر ۰/۵۲ و ۰/۵۸ انتخاب گردیده است. شتاب طیفی شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده به همراه میانگین آن‌ها جهت تحلیل تاریخچه زمانی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به استفاده از هفت رکورد زلزله، بر طبق ضوابط می‌توان برای تخمین پاسخ قاب‌ها از میانگین بیشینه پاسخ‌ها استفاده نمود.

ارتفاع ستون استفاده شده است. الگوی (RCH3) که از مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند در نواحی مفاصل پلاستیک دو انتهای تیرها و ستون‌های طبقات و پای ستون‌های طبقه اول استفاده شده است. در جدول ۲ مشخصات و نحوه نام‌گذاری قاب‌های مختلف ارائه شده است. بررسی رفتار قاب‌ها از طریق تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی انجام شده است. به منظور انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی برای تخمین پاسخ سازه‌های مورد مطالعه، از هفت رکورد شامل رکوردهای دور از گسل کرن کانتی، سن‌فرناندو، لندرز، نورث‌ریج، طبس، آوج و بم استفاده گردیده است. تمامی شتاب‌نگاشت‌ها بر روی خاک نوع II استاندارد ۲۸۰۰ ثبت شده‌اند. در جدول ۳ مشخصات رکوردهای مورد مطالعه ارائه شده است. جهت استفاده از شتاب‌نگاشت‌های



الف- پلان طبقات سازه مورد بررسی و قاب انتخاب شده از پلان



ج- قاب ۵ طبقه

ب- قاب ۱۰ طبقه

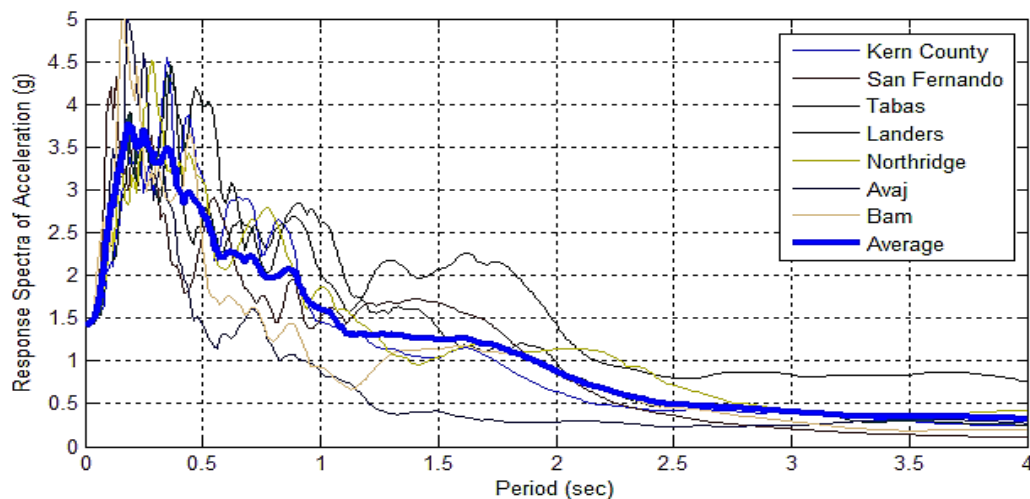
شکل ۹- پلان سازه و قاب انتخاب شده

جدول ۲- فرضیات و جزئیات مدل‌سازی قاب‌ها

تعداد طبقات	قاب بتنی معمولی	قاب بتنی ترکیبی با مصالح HPFRCC در دو انتهای تیرهای طبقات	قاب بتنی ترکیبی با مصالح HPFRCC در دو انتهای تیرهای طبقات و پای ستون‌های طبقه اول	قاب بتنی ترکیبی با مصالح HPFRCC در دو انتهای تیر و ستون‌های طبقه اول
۵ طبقه	5-RC	5-RCH1	5-RCH2	5-RCH3
۱۰ طبقه	10-RC	10-RCH1	10-RCH2	10-RCH3

جدول ۳- شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده برای تحلیل تاریخیچه زمانی

No.	Earthquake	Year	Magnitude	Recording Station	Epicentral Distance (km)	Site Class	Data Source
			(Ms)				
1	Kern County	1952	7.36	USGS 1095 Taft Lincoln School	43.49	II	PEER
2	San Fernando	1971	6.61	USGS 262 Palmdale Fire Station	31.61	II	PEER
3	Tabas	1978	7.35	70 Boshrooyeh	74.66	II	PEER
4	Landers	1992	7.28	CDMG 12149 Desert Hot Springs	27.33	II	PEER
5	Northridge	1994	6.69	USC 90020 LA - W 15th St	29.59	II	PEER
6	Avaj	2002	6.5	NEIC 2769-2 Darsejin	48	II	NEIC
7	Bam	2003	6.7	NEIC 3162-1 Mohamad Abad	49	II	NEIC



شکل ۱۰- متوسط‌گیری طیف پاسخ شتاب شتاب‌نگاشت‌ها

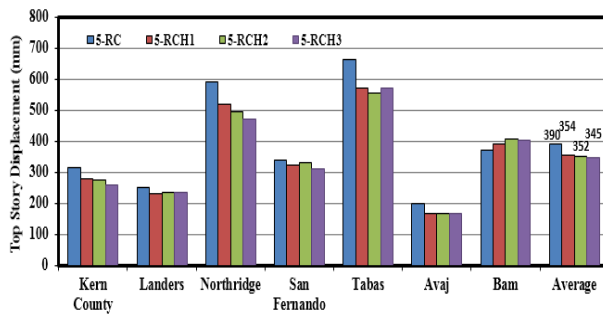
۴-۲-۱- بیشینه برش پایه و جابجایی بام

در شکل ۱۱ مقایسه بین بیشینه برش پایه و جابه‌جایی بام برای قاب‌های مختلف انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین بیشینه جابجایی بام تحت رکوردهای انتخابی برای قاب‌های ۵ طبقه با مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند، 5-RCH1، 5-RCH2، 5-RCH3 و 5-RC نسبت به قاب ۵ طبقه بتن معمولی 5-RC به ترتیب ۹٪، ۱۰٪ و ۱۲٪ کاهش مشاهده شده است به طوری که در قاب 5-RCH1 بیشترین درصد کاهش جابجایی بام، مربوط به زمین‌لرزه آوج با ۱۵٪ کاهش و کمترین آن مربوط به زمین‌لرزه بم با ۶٪ افزایش بوده است. در قاب 5-RCH2 بیشترین درصد

کاهش جابجایی بام، مربوط به زمین‌لرزه آوج با ۱۵٪ کاهش و کمترین آن مربوط به زمین‌لرزه بم با ۶٪ افزایش بوده است. در قاب 5-RCH2 بیشترین درصد

۳۹٪ کاهش و کمترین آن مربوط به زمین لرزه بم با ۹٪ کاهش بوده است. در قاب 10-RCH3 بیشترین درصد کاهش جابجایی بام، مربوط به زمین لرزه آوج با ۴۱٪ کاهش و کمترین آن مربوط به زمین لرزه های بم و لندرز با ۱۲٪ کاهش بوده است.

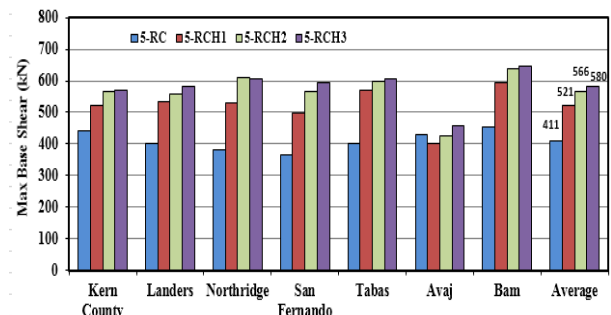
همچنین میانگین بیشینه برش پایه تحت رکوردهای انتخابی برای قاب ۵ طبقه با مصالح کامپوزیت های سیمانی الیافی توانمند، 5-RCH1، RCH2 و 5-RCH3 نسبت به قاب بتن معمولی 5-RC به طور متوسط به ترتیب ۲۷٪، ۳۸٪ و ۴۱٪ افزایش نشان داده است و میانگین بیشینه برش برای قاب ۱۰ طبقه با مصالح کامپوزیت های سیمانی الیافی توانمند، 10-RCH1، 10-RCH2 و RCH3 نسبت به قاب بتن معمولی 10-RC به طور متوسط به ترتیب ۲۸٪، ۳۶٪ و ۴۰٪ افزایش نشان داده است.



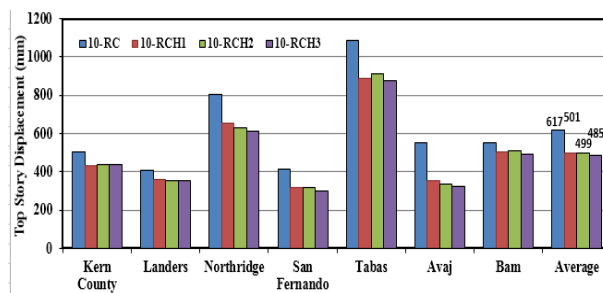
ب-بیشینه جابجایی بام قاب های ۵ طبقه در حالات مختلف مدل سازی

کاهش جابجایی بام، مربوط به زمین لرزه طبس با ۱۷٪ کاهش و کمترین آن مربوط به زمین لرزه بم با ۱۰٪ افزایش بوده است. در قاب 5-RCH3 بیشترین درصد کاهش جابجایی بام، مربوط به زمین لرزه نورثریج با ۲۰٪ کاهش و کمترین آن مربوط به زمین لرزه بم با ۸٪ افزایش بوده است.

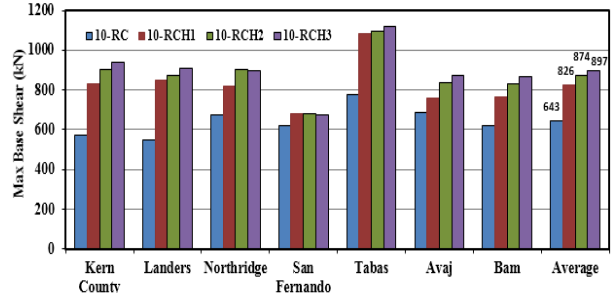
همچنین میانگین بیشینه جابجایی بام در قاب های ۱۰ طبقه با مصالح کامپوزیت های سیمانی الیافی توانمند، 10-RCH1، 10-RCH2 و 10-RCH3 نسبت به قاب ۱۰ طبقه بتن معمولی 10-RC به ترتیب ۱۹٪، ۲۰٪ و ۲۱٪ کاهش پیدا کرده است، به نحوی که در قاب 10-RCH1 بیشترین درصد کاهش جابجایی بام، مربوط به زمین لرزه آوج با ۳۵٪ کاهش و کمترین آن مربوط به زمین لرزه بم با ۸٪ کاهش بوده است و در قاب 10-RCH2 بیشترین درصد کاهش جابجایی بام، مربوط به زمین لرزه آوج با



الف-بیشینه برش پایه قاب های ۵ طبقه در حالات مختلف مدل سازی



د-بیشینه جابجایی بام قاب های ۱۰ طبقه در حالات مختلف مدل سازی



ج-بیشینه برش پایه قاب های ۱۰ طبقه در حالات مختلف مدل سازی

شکل ۱۱- مقایسه بیشینه برش پایه و جابجایی بام قاب های ۵ و ۱۰ طبقه HPRCC و بتن معمولی

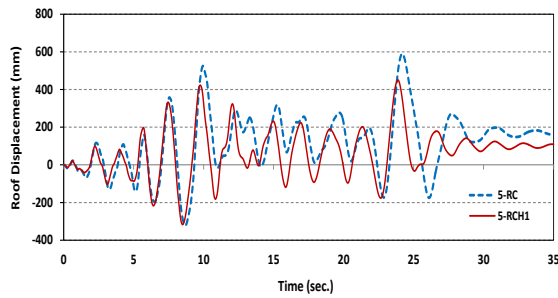
۴-۲-۳- زاویه دررفت طبقات

زاویه دررفت بین طبقات یک پارامتر مهندسی مهم برای تعیین عملکرد و آسیب اجزای سازه ای و غیر سازه ای است. در شکل ۱۳ میانگین بیشینه زاویه دررفت طبقات برای قاب های مختلف مورد مطالعه نشان داده شده است.

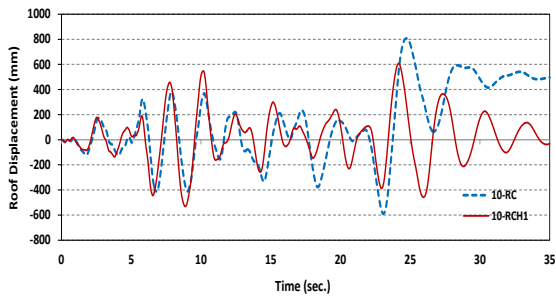
۴-۲-۲- تاریخچه جابه جایی بام

در شکل ۱۲ تاریخچه جابجایی بام قاب های ۵ طبقه و ۱۰ طبقه، تحت زمین لرزه نورثریج به عنوان نمونه ارائه شده است. نتایج نشان می دهد، استفاده از مصالح کامپوزیت های سیمانی الیافی توانمند علاوه بر کاهش جابجایی بام، میزان تغییر مکان ماندگار در قاب ها را کاهش داده است.

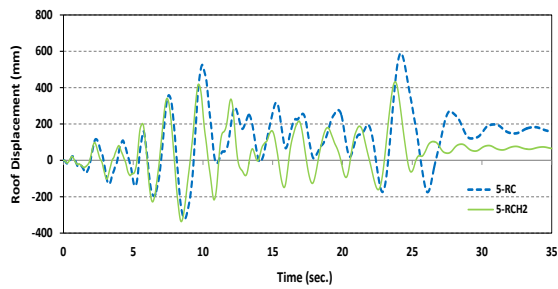
ارزیابی رفتار لرزه‌ای قاب‌های بتن مسلح با کامپوزیت‌های الیافی توانمند ...



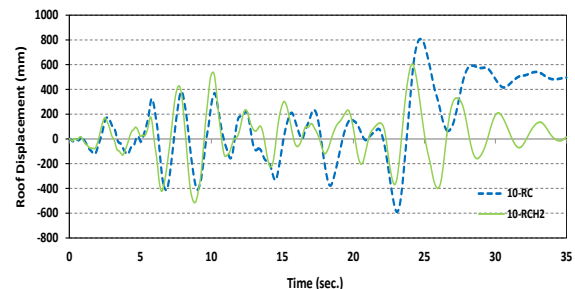
ب- 5-RCH1



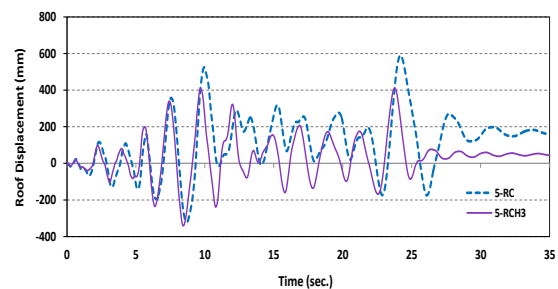
الف- 10-RCH1



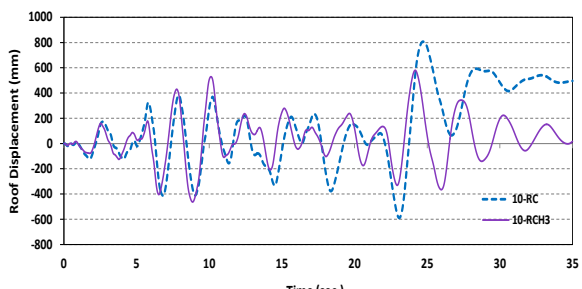
د- 5-RCH2



ج- 10-RCH2



و- 5-RCH3



ه- 10-RCH3

شکل ۱۲- تاریخچه جابجایی بام قاب‌های ۵ و ۱۰ طبقه HPRCC و بتن معمولی

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند، به بررسی تأثیر این مصالح در پاسخ جانبی قاب‌های خمشی بتنی پرداخته شده است. بدین منظور با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی، نسبت به ساخت مدل‌های تحلیلی و کالیبره کردن نتایج آزمایشگاهی در نرم‌افزار OpenSees اقدام شده است. پس از کالیبره کردن نتایج آزمایشگاهی، به بررسی و مقایسه رفتار قاب‌های بتنی ۵ و ۱۰ طبقه پرداخته شده است. قاب‌های مورد مطالعه در چهار الگوی مختلف مورد بررسی واقع شده‌اند. قاب (RC) که در کل قسمت‌های قاب شامل تیرها و ستون‌ها از بتن معمولی استفاده شده است. قاب (RCH1) که از مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند در نواحی مفاصل پلاستیک در دو انتهای تیرها استفاده شده و سایر قسمت‌های قاب از بتن معمولی استفاده شده است. قاب (RCH2)

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشینه زاویه دررفت در قاب‌های ساخته شده از مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند نسبت به قاب‌های بتنی معمولی کاهش محسوسی یافته است به نحوی که میانگین بیشینه زاویه دررفت در قاب‌های ۵ طبقه با مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند، 5-RCH1، 5-RCH2 و 5-RCH3 نسبت به قاب ۵ طبقه بتن معمولی 5-RC به ترتیب ۳۵٪، ۳۱٪ و ۳۸٪ کاهش یافته است. همچنین این پارامتر در قاب‌های ۱۰ طبقه با مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند، 10-RCH1، 10-RCH2 و 10-RCH3 نسبت به قاب ۱۰ طبقه بتن معمولی 10-RC به ترتیب ۴۴٪، ۴۱٪ و ۴۹٪ کاهش یافته است که این کاهش، مرتبط با افزایش میرایی چرخه‌ای در قاب‌های با مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند به علت تغییر مود رفتاری از شکست برشی اتصالات به تشکیل مفصل خمشی در تیرها و ستون‌ها است.

توانمند نسبت به بتن معمولی مشاهده نمی گردد که این امر نیز تغییر مود شکست از حالت برشی به خمشی را نشان می دهد.

۶- مراجع

- [1]. Bindhu, K. and K. Jaya, Strength and behaviour of exterior beam column joints with diagonal cross bracing bars. *Asian journal of civil Engineering (Building and Housing)*, 2010. 11(3): p. 397-410.
- [2]. 318, A.C. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11M) and Commentary. 2011. American Concrete Institute.
- [3]. Henager, C., Steel Fibrous-Ductile Concrete Joint for Seismic-Resistant Structures. Special Publication, 1977. 53: p. 371-386.
- [4]. Ganesan, N., P. Indira, and R. Abraham, Steel fibre reinforced high performance concrete beam-column joints subjected to cyclic loading. *ISET Journal of Earthquake Technology*, 2007. 44(3-4): p. 445-456.
- [5]. Abdul Ghani, K.D. and N.H. Hamid. Comparing the Seismic Performance of Beam-Column Joints with and without SFRC when subjected to Cyclic Loading. in *Advanced Materials Research*. 2013. Trans Tech Publ.
- [6]. Tehrani, F.M., Performance of steel fiber-reinforced concrete in beam-column connections. 2008: University of California, Los Angeles.
- [7]. Naaman, A.E., Engineered steel fibers with optimal properties for reinforcement of cement composites. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 2003. 1(3): p. 241-252.
- [8]. Reinhardt, H. and A. Naaman, High performance fiber reinforced cement composites (HPFRCC3). 1999.
- [9]. Parra-Montesinos, G.J., S.W. Peterfreund, and S.-H. Chao, Highly damage-tolerant beam-column joints through use of high-performance fiber-reinforced cement composites. *ACI Structural Journal*, 2005. 102(3).
- [10]. Zhang, R., et al., Application of PP-ECC in beam-column joint connections of rigid-framed railway bridges to reduce transverse reinforcements. *Engineering Structures*, 2015. 86: p. 146-156.
- [11]. Chidambaram, R.S. and P. Agarwal, The confining effect of geo-grid on the mechanical properties of concrete specimens with steel fiber under compression and flexure. *Construction and Building Materials*, 2014. 71: p. 628-637.
- [12]. Said, S.H. and H.A. Razak, Structural behavior of RC engineered cementitious composite (ECC) exterior beam-column joints under reversed cyclic loading. *Construction and Building Materials*, 2016.

که مانند RCH1 است با این تفاوت که علاوه بر نواحی مفصل پلاستیک تیرها در نواحی پای ستون‌های طبقه اول نیز از مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند به اندازه دو برابر ارتفاع ستون استفاده شده است. قاب (RCH3) که از مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند در نواحی مفاصل پلاستیک دو انتهای تیرها و ستون‌های طبقات و پای ستون‌های طبقه اول استفاده شده است. به منظور تعیین پاسخ‌های سازه، از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی بهره‌گیری شده است و پاسخ‌های سازه شامل بیشینه جابجایی بام، زاویه دررفت طبقات، برش پایه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. بررسی نتایج نشان می‌دهد میانگین بیشینه جابجایی بام تحت رکوردهای انتخابی برای قاب‌های ۵ و ۱۰ طبقه با مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند، نسبت به قاب ۵ و ۱۰ طبقه بتن معمولی به ترتیب ۱۰/۳۳٪ و ۲۰٪ کاهش نشان داده است. همچنین میانگین بیشینه زاویه دررفت در قاب‌های ۵ و ۱۰ طبقه با مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند، نسبت به قاب ۵ و ۱۰ طبقه بتن معمولی به ترتیب ۳۴/۶۶٪ و ۴۴/۶۶٪ کاهش یافته است. میانگین بیشینه برش پایه تحت رکوردهای انتخابی برای قاب ۵ طبقه با مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند، 5-RCH1 و 5-RCH2 و 5-RCH3 نسبت به قاب بتن معمولی 5-RCH2 به طور متوسط به ترتیب ۲۷٪، ۳۸٪ و ۴۱٪ افزایش نشان داده است و میانگین بیشینه برش پایه برای قاب ۱۰ طبقه با مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند، 10-RCH1 و 10-RCH2 و 10-RCH3 نسبت به قاب بتن معمولی 10-RCH2 به طور متوسط به ترتیب ۲۸٪، ۳۶٪ و ۴۰٪ افزایش نشان داده است. با توجه به تفاوت قاب‌های مورد مطالعه در مصالح مورد استفاده در نواحی مفاصل پلاستیک و اتصالات اعضا ملاحظه می‌گردد میزان استهلاک انرژی در هنگام استفاده از مصالح کامپوزیت‌های سیمانی الیافی توانمند نسبت به بتن معمولی بسیار بالاتر بوده و این خاصیت استهلاک انرژی موجب افزایش میرایی سازه و در نتیجه کاهش تغییر مکانها و زاویه دررفت طبقات در قابهای دارای مصالح توانمند می‌گردد. از طرف دیگر بررسی منحنی رفتار چرخه ای اتصالات نشان‌دهنده وجود سختی بالاتر در رفتار اتصالات دارای مصالح توانمند نسبت به بتن معمولی بوده که منجر به افزایش برش پایه در قابهای دارای مصالح توانمند گردیده است. همچنین باریک شدگی منحنی رفتار چرخه ای نیز در رفتار اتصالات دارای مصالح

107: p. 226-234.

[13]. Saghafi, M.h., H. Shariatmadar, and A. Kheyroddin, Experimental Study and Application of High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites for Retrofitting Beam-Column Joints in Rigid-Framed Railway Bridges. Transportation Infrastructure Engineering(JTIE), 2016. 2(1): p. 33-51.

[14]. hossein Saghafi, M. and H. Shariatmadar, Enhancement of seismic performance of beam-column joint connections using high performance fiber reinforced cementitious composites. Construction and Building Materials, 2018. 180: p. 665-680.

[۱۵]. ثقفی، شریعتمداری، بررسی رفتار اتصالات خارجی تیر-ستون

بتن مسلح با HPFRCC تحت بارهای چرخه‌ای. تحقیقات بتن،

۲۰۱۸.

[16]. McKenna, F. and G.L. Fenves, The OpenSees command language manual. University of California, Berkeley (opensees. ce. berkeley. edu), 2001.

[17]. Mazzoni, S., et al., OpenSees command language manual. Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, 2006. 264.

[18]. Han, T.-S., P.H. Feenstra, and S.L. Billington, Simulation of highly ductile fiber-reinforced cement-based composite components under cyclic loading. Structural Journal, 2003. 100(6): p. 749-757.

[19]. Seifi, A., et al., Improving seismic performance of old-type RC frames using NSM technique and FRP jackets. Engineering Structures, 2017. 147: p. 705-723.

[20]. Lowes, L.N., N. Mitra, and A. Altoontash, A beam-column joint model for simulating the earthquake response of reinforced concrete frames. 2003.

[21]. Elwood, K.J., et al., Update to ASCE/SEI 41 concrete provisions. Earthquake Spectra, 2007. 23(3): p. 493-523.

Seismic Assessment of RC Frames with HPFRCC in Plastic Hinges of Beams and Columns

M.H. Saghafi *

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

A. A Golafshar

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

Abstract

Because of the high strain capacity of (HPFRCC), using this material in the beam-column connection is more attention paid by researchers. After verification of numerical models for 3 type of beam-column connections using OPENSEES software and comparison with experimental results, two 2D frames with 5 and 10 stories has been created to study. Each frame is considered in 4 format containing conventional concrete in all elements (RC), containing of (HPFRCC) in beam-column connections (RCH1) and at the end of beams, containing of (HPFRCC) in beam-column connections, end of beams and first story column base (RCH2) and containing of (HPFRCC) in beam-column connections, end of beams, first story column base and end of other columns. Results from nonlinear time history analysis show using of (HPFRCC) in frames has been decreased maximum story drift angle, maximum roof displacement and has been increased maximum base shear based on average results from seven earthquake records. With regard to Higher dissipated energy and stiffness in beam column connections with (HPFRCC) respect to conventional concrete, result show the average of maximum drift angle of 5-RCH1, 5-RCH2 and 5-RCH3 frames have been decreased up to 35%, 31% and 38% with respect to 5-RC frame. Also these parameters for 10-RCH1, 10-RCH2 and 10-RCH3 frames have been decreased up to 44%, 41% and 49% with respect to 10-RC frame.

Keywords: HPFRCC, Strain Hardening, Beam-Column Connection, Connection Joint, Cyclic Behavior.

* Corresponding Author: mh.saghafi@semnaniau.ac.ir