

مدل سازی و بررسی رفتار قاب‌های بتنی میان‌پر تقویت شده با کامپوزیت‌های پلیمری مسلح الیافی (FRP)

فریبرز ناطقی الهی

استاد پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله
nateghi@iiees.ac.ir

ایوب دهقانی

مدرس دانشگاه خلیج فارس
a.dehghani@pgu.ac.ir

محمدجواد علی‌نژاد

کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، فارغ التحصیل دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر
مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد کنگان
mj.alinezhad2000@yahoo.com

چکیده

در ایران قاب‌های بتنی میان‌پر وجود دارد که نیاز به مقاوم‌سازی دارند. یکی از روش‌های موثر برای مقاوم‌سازی اینگونه ساختمان‌ها که در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی در مورد آن انجام شده است، استفاده از کامپوزیت‌های مسلح فیبری (FRP) می‌باشد. در این تحقیق یک روش ساده به منظور تخمین سختی و ظرفیت بار نهایی قاب بتنی میان‌پر ارائه شده است. مصالح میان‌قاب به وسیله دو روش یک دستک و سه دستک، مدل‌سازی شده و با یکدیگر مقایسه شده است. در این دو روش به آسانی می‌توان آنالیز غیرخطی در سازه‌های دوبعدی انجام و محاسبه نمود. نتیجه‌ای که از آنالیز پوش‌آور بدست می‌آید می‌تواند به ما مدلی پیشنهاد دهد که بسیار نزدیک و مشابه به نمونه آزمایشگاهی می‌باشد. علاوه بر این، نتایج یک مطالعه موردی بر روی قاب بتنی میان‌پر پنج طبقه که با کامپوزیت FRP تقویت شده‌اند، ارائه شده است که می‌تواند به عنوان روشی برای جایگزینی میان‌قاب و کامپوزیت FRP در قاب‌ها، استفاده شود. نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی بدست آمده، بیانگر آن است که تقویت قاب بتنی میان‌پر تقویت شده با کامپوزیت FRP باعث افزایش ظرفیت باربری نهایی و سختی سازه می‌شود. واژه‌های کلیدی: قاب‌های بتنی میان‌پر، مقاوم‌سازی، کامپوزیت FRP، روش سه دستک، آنالیز پوش‌آور، ظرفیت باربری نهایی

امروزه میانقاب‌های مصالح بنایی به شکل دیوارهای داخلی و خارجی در سازه‌های بتن مسلح یا فولادی رایج شده است که میانقاب‌ها به عنوان جداکننده فضاهای معماری و نیز به صورت دیوارهای پوششی، فضای بین قاب‌های سازه را پر کرده‌اند. از آنجایی که عموماً میانقاب‌ها به عنوان اعضای غیرسازه‌ای مورد توجه می‌باشد، اغلب مهندسان سازه آنها را نادیده می‌گیرند. چشم پوشی از اثر میانقاب‌ها از نظر پارامتر مقاومت در جهت اطمینان است (این دیوارها با مقاومت اضافی که به قاب می‌دهند در تحمل نیروی زلزله و در نتیجه پایداری کلی سازه تاثیر مثبتی دارند)؛ ولی این نادیده گرفتن همیشه به یک روش محتاطانه در جهت اطمینان نمی‌انجامد. بدین شکل که میانقاب به قاب، سختی اضافه را تحمیل و در نتیجه در هنگام زلزله آن قاب سهم بیشتری از نیروی زلزله را جذب می‌کند. در واقع، میانقاب نیروی زیادی را انتقال می‌دهد که بعد از سیکل‌های اول بارگذاری باعث شکست ترد میانقاب و انتقال نیرو به ستون‌ها و فروپاشی سازه خواهد شد. قاب توخالی مدل شده سختی کمتری داشته، در نتیجه برای نیروی کمتری طراحی شده است. علاوه بر این روند کلی، نادیده گرفتن اثر میانقاب‌ها مشکلات دیگری را نیز باعث می‌شود که از جمله می‌توان به افزایش نیروی وارد به اتصالات قاب، پدیده ستون کوتاه بر اثر اجرای ضخیم بین ستون‌ها با ارتفاع کمتر از ارتفاع طبقه و یا ایجاد پیچش در ساختمان به علت توزیع نامتقارن و نامنظم دیوارهای داخلی اشاره کرد. در نهایت، نادیده گرفتن میانقاب‌ها باعث کاهش نسبت مقاومت به وزن سازه می‌شود که این امر برخلاف اصول کلی کار طراحی لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد [۱]. بنابراین پتانسیل بالای آسیب‌پذیری میانقاب‌ها هنگام وقوع زلزله به عنوان یکی از مشکلات اساسی برای مهندسين زلزله مطرح می‌باشد.

مطالعات گسترده‌ای که طی ۶۰ سال اخیر به صورت تحقیقات آزمایشگاهی و تحلیلی در زمینه رفتار لرزه‌ای قاب‌های میانپر و اثر میانقاب‌ها انجام پذیرفته بر این نکته اتفاق نظر دارند که میانقاب‌ها تاثیر قابل توجهی روی سختی و مقاومت قاب دارند. بنابراین نباید از آنها در مراحل تحلیل و طراحی سازه چشم‌پوشی کرد. اولین مطالعات در مورد قاب‌های میانپر توسط پولیاکف [۲] انتشار یافت. هلمز [۳] برای اولین بار ایده جایگزینی میانقاب با یک میله فشاری معادل را مطرح نمود. این تئوری بعدها توسط محققین دیگری مانند فلنگان [۴]، پوآلی و پرستلی [۵]، سی [۶]، استافورد- اسمیت [۷] و ... بسط و گسترش داده شد.

طی دهه‌های گذشته روش اجزای محدود به صورت مداوم برای بررسی و شناختن اثر پارامترهای مختلف و ارزیابی مقاومت و سختی قاب‌های میانپر به کار گرفته شده است. بارزا و مالیک از روش المان محدود برای آنالیز قاب‌های میان پر استفاده کردند که از روش المان محدود برای تعیین ضرایب سختی گره‌های مرزی میانقاب استفاده شده است. همچنین اجازه دادند تا جدایش بین قاب و میانقاب اتفاق بیفتد و اثر لغزش را به حساب آوردند [۸]. مانوس و همکاران [۹] همچنین کاپوس و همکاران [۱۰] مطالعاتی آزمایشگاهی را در مورد تأثیر میانقاب‌های مصالح بنایی بر روی پاسخ لرزه‌ای قاب‌های چند طبقه بتن آرمه انجام دادند. سازه‌هایی دو بعدی و سه بعدی با مقیاس کوچک با میانقاب و بدون میانقاب مورد بررسی قرار گرفتند. آل‌چار تحقیقات آزمایشگاهی بر روی قاب بتنی یک طبقه و یک دهانه دارای میانقاب انجام داد و تحقیقات گسترده‌ای بر روی ظرفیت باربری قاب میانپر قبل و بعد از ترک خوردگی انجام داد [۱۱، ۱۲]. ال‌داخانی و همکارانش روش سه دستک معادل به منظور مدل‌سازی میانقاب‌ها ارائه کردند [۱۳، ۱۴].

تحقیقات مختلفی به صورت آزمایشگاهی و تحلیلی به منظور مقاوم‌سازی میانقاب‌های قاب‌های بتنی مانند اضافه کردن میراگرها، دیوار برشی، میانقاب بتنی و یا جکت کردن اعضای قاب انجام گرفته است. بیشتر روش‌های مقاوم‌سازی زمان‌گیر و پرهزینه بوده و سبب افزایش وزن و اختلال در قابلیت استفاده از سازه می‌شود. از طرفی بعضی از این روش‌ها تنها برای سازه‌هایی با کاربری خاص، کاربرد دارد. یکی از سودمندترین روش‌های مقاوم‌سازی اجزای مختلف سازه‌ها مانند پایه پل‌ها، تیرها، ستون‌ها و دیوارها استفاده از پلیمرهای مسلح فیبری یا به

اختصار FRP می‌باشد که باعث افزایش ظرفیت باربری نهایی سازه، بالا بردن سرعت اجرا و شکل‌پذیری محدود می‌شود [۱۵].

سیستم FRP به صورت پوشش‌های بیرونی و به منظور افزایش مقاومت و بهسازی سازه‌های بتنی موجود از اواسط دهه ۱۹۸۰ تاکنون در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعداد پروژه‌هایی که در ارتباط با سیستم‌های FRP در سطح جهان مورد استفاده قرار گرفته، بطور چشمگیری افزایش یافته است، به طوری که طی ۱۰ سال گذشته از تعداد اندک به چندین هزار پروژه در حال حاضر رسیده است. اعضای سازه‌های تقویت شده با سیستم‌های FRP به صورت پوشش‌های بیرونی عبارتند از: تیرها، دال‌ها، ستون‌ها، دیوارها، اتصالات، دودکش‌ها، طاق‌های گنبدی شکل، تونل‌ها، سیلوها، لوله‌ها و خرپاها. پوشش‌های FRP همچنین به منظور مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی، چوبی، فولادی و چدنی نیز بکار می‌روند. پوشش‌های FRP به عنوان جایگزینی بجای روش‌های دیگر، مانند استفاده از صفحات فولادی، غلاف‌های دور ستون‌های بتنی یا فلزی، بوجود آمده‌اند. روکش‌های پلیمری FRP به منظور بهسازی سازه‌های بتنی اولین بار در دهه ۱۹۸۰ در اروپا و ژاپن توسعه یافت. در اروپا سیستم‌های FRP به عنوان جایگزین صفحات فولادی مورد استفاده قرار گرفت. اتصال ورقه‌های فولادی به قسمت کششی اعضای بتنی توسط رزین‌های اپوکسی به منظور افزایش مقاومت خمشی این اعضا به عنوان روش مطرح و بادوام مرسوم می‌باشد. این روش برای مقاوم‌سازی تعداد زیادی از پل‌ها و ساختمان‌ها در جهان مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجایی که صفحات فولادی دچار خوردگی می‌شوند و فرسودگی آنها باعث تخریب اتصال صفحه فولادی با بتن می‌شود و از طرف دیگر نصب آنها مشکل و با ماشین آلات نسبتاً سنگین انجام می‌گیرد، محققان بدنبال جایگزینی مواد FRP بجای فولاد شدند [۱۵].

از جمله تحقیقاتی که به صورت آزمایشگاهی بر روی مقاوم سازی قاب‌های بتنی میان پر انجام گرفته است می‌توان به تاثیر مودهای شکست توسط اردوران و آنگوزل، تاثیر مقاوم سازی ستون‌ها با استفاده از کامپوزیت FRP توسط هانگ و همکاران، مقاوم سازی میانقاب به صورت ضربدری به کمک کامپوزیت FRP توسط سینان و همکاران، عملکرد لرزه ای ساختمان مقاوم سازی شده توسط پارک و همکاران، تعیین میرایی میانقاب تقویت شده توسط ازکیناک و همکاران نام برد [۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰]. اسپایراکوس و همکاران مدل تحلیلی اجزاء محدود برای ارزیابی میانقاب تقویت شده با کامپوزیت پلیمری مسلح الیافی پیشنهاد دادند که نتایج این مدل تحلیلی نزدیک به نتایج آزمایشگاهی بود و دارای انحراف کوچکی بود [۲۱، ۲۲]. نسرین کاسم و همکاران نیز یک مدل تحلیلی برای شبیه‌سازی قاب بتنی دارای میانقاب آجری تقویت شده با کامپوزیت پلیمری مسلح الیاف کربنی (CFRP) ارائه دادند که به نتایج تجربی بسیار نزدیک می‌باشد و همچنین به این نتیجه دست یافت که تقویت میانقاب بوسیله کامپوزیت (CFRP) باعث افزایش مقاومت جانبی میانقاب می‌شود [۲۱، ۲۲]. آتور رحمان و تامون اودا بر روی بهسازی لرزه ای میانقاب‌های تقویت شده با کامپوزیت پلیمری مسلح الیاف کتان مطالعاتی انجام دادند و با توجه به اینکه کتان از مواد قابل تجزیه بیولوژیکی هست به این نتیجه دست یافتند که مقاوم سازی میانقاب به کمک کامپوزیت باعث افزایش قابل توجه ظرفیت برشی میانقاب شده و همچنین باعث کاهش آسیب پذیری میانقاب می‌شود [۲۳]. کوتاس و همکاران یک رویکرد تحلیلی برای مدلسازی رفتار ژاکت‌های پارچه تقویت شده (TRM) بر روی قاب‌های بتنی میان پر پیشنهاد دادند و سازه را تحت بارگذاری لرزه ای با استفاده از نرم افزار غیر خطی محدود OPENSEES قرار دادند که نتایج این مدل تحلیلی غیر خطی بسیار نزدیک به نتایج آزمایشگاهی بود [۲۳]. دهقانی و ناطقی مطالعات آزمایشگاهی بر روی تاثیر تقویت میانقاب‌ها با کامپوزیت FRP بر روی قاب‌های بتنی میان پر انجام دادند و به این نتایج رسیدند که کامپوزیت FRP تحت اثر بارگذاری جانبی به صورت قابل توجهی باعث نگر داشتن میانقاب شده است و سختی جانبی میانقاب تقویت شده حدود حداکثر ۱۰٪ از میانقاب تقویت نشده بیشتر هست و همچنین ظرفیت اتلاف انرژی در نمونه‌های تقویت شده افزایش یافته است [۲۴، ۲۵]. پاکسل و همکاران نیز بر روی نحوه قرار گیری کامپوزیت FRP بر روی میانقاب قاب بتنی میان پر مورد بررسی قرار دادند و

به این نتیجه رسیدند که تقویت میانقاب به کمک کامپوزیت FRP، سختی جانبی و ظرفیت مقاومت جانبی میانقاب را افزایش داده و باعث کاهش آسیب های میانقاب در حین بارگذاری می شود [۲۶].

تحقیقات آزمایشگاهی بر روی میانقاب های تقویت شده با کامپوزیت FRP نشان می دهد که استفاده از مصالح FRP تاثیر بسزایی در عملکرد سازه و در نتیجه بهبود رفتار کلی سازه خواهد داشت. مطالعات نشان می دهد که مقاومت سازی میانقاب بتنی با FRP سبب افزایش مقاومت، شکل پذیری و سختی سازه خواهد شد [۲۷]. در این مطالعه قاب بتنی میان پر تقویت شده با کامپوزیت FRP تحلیل و مدل شده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است و همچنین نتایج آزمایش مانند افزایش ظرفیت نهایی سازه، شکل پذیری سازه و سختی سازه به صورت مشروح بیان گردیده است.

۲- روش های مدل سازی

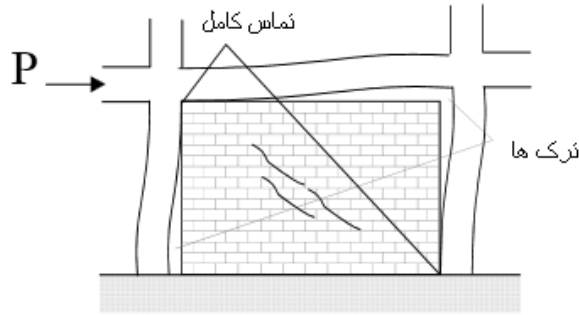
برای استفاده از المان های قاب الاستیک به مساحت و ممان اینرسی مقطع عضو و همچنین به مدول یانگ بتن نیاز است که تنها خواص ورودی مورد نیاز برای مقاطع قاب برای تشکیل ماتریس سختی را تشکیل می دهند. این مسئله نیاز به تعدیل ماتریس سختی و نیز فرآیند تکرار برای توجیه رفتار غیرخطی قاب بتنی را مرتفع می سازد.

به دلیل شناخته شده بودن عملکرد لرزه ای سازه های ساختمانی متعارف و با توجه به اینکه محل تشکیل مفصل های پلاستیک قبل از آنالیز این سازه ها قابل پیش بینی است، اساس اغلب نرم افزارهای تحلیل غیرخطی از جمله ETABS 2000، SAP 2000 (مورد استفاده در این تحقیق) و Drain را روش تخصیص مفصل الاستوپلاستیک تشکیل می دهد. اساس این روش بر اختصاص مفاصل پلاستیک در مدل المان های الاستیک استوار است. یک مفصل پلاستیک، رابطه غیرخطی نیرو- تغییر شکل را برای یک مقطع مشخص، تعریف می کند. در ادامه به انواع مفصل های مورد استفاده نرم افزار SAP 2000 اشاره خواهد شد [۲۸].

نیروهای داخلی در مهاربندها و ستون های لرزه بر قاب ها عمدتاً از نوع کشش یا فشار محوری است و تغییر شکل های پلاستیک در این اعضا به صورت تسلیم کششی یا کماتش فشاری خواهد بود. از این رو برای مدل کردن رفتار غیرخطی اعضای کششی یا فشاری لازم است که یک مفصل محوری بر یک نقطه از طول المان اختصاص داده شود. موقعیت مفصل محوری در طول عضو، مهم نیست چرا که طول مفصل پلاستیک برای محاسبه جابجایی نظیر تسلیم یا کماتش عضو، بدون توجه به موقعیت مفصل محوری برابر طول آزاد عضو می باشد، اما معمولاً مفصل پلاستیک محوری وسط عضو تحت نیروی محوری تعریف می شود [۲۸].

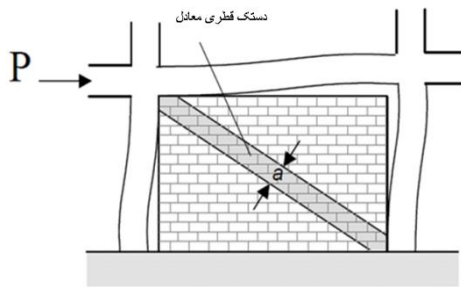
نیروهای داخلی در تیرها و ستون های قاب های خمشی به ترتیب خمشی و خمشی - محوری است از طرفی تغییر شکل های پلاستیک در این اعضا تحت بارهای جانبی زلزله، معمولاً به صورت مفصل های پلاستیک در دو انتهای تیرها و ستون ها ظاهر می گردد، که البته به خاطر بارگذاری روی تیرها، ممکن است در طول تیرها نیز مفصل پلاستیک خمشی ایجاد گردد. همچنین اگر بار محوری ستون ها در قاب های خمشی تقویت شده با دیوار برشی، قابل توجه باشد (سیستم دوگانه)، احتمال تسلیم کشش یا کماتش فشاری نیز در این اعضا وجود نخواهد داشت. بنابراین در قاب های خمشی به دو انتهای تیرها مفصل پلاستیک خمشی، به دو انتهای بالا و پایین ستون ها مفصل خمشی - محوری (P-M-M) و به وسط دستک قطری معادل مفصل محوری (P) اختصاص داده می شود [۲۸].

پیش بینی مقاومت درون صفحه ای قاب بتنی پرکننده، بسیار پیچیده است. البته در هر دو بخش آزمایشگاهی و تحلیلی کارهای زیادی در این مورد صورت گرفته است. در این زمینه می توان به تحقیقات افرادی مانند پولیاکو، استافورد - اسمیت، مینواستونه و کلینگنر و برتیرو و ... اشاره کرد، البته باید به این نکته توجه کرد که تحقیقات این افراد بر روی رفتار درون صفحه ای نمونه های قاب بتنی میان پر تقویت نشده متمرکز بوده است. تست های آزمایشگاهی قاب های میان پر که تحت بار جانبی قرار گرفته بودند، تقریباً تغییر شکل های مشابهی داشته اند، که در شکل ۱ نشان داده شده است [۲۹ و ۲].



شکل ۱- تغییر شکل نمونه های آزمایشگاهی

در هنگام اکثر تست نمونه‌ها، پیشرفت ترک‌های قطری در مرکز پانل و شکل شکاف‌ها بین قاب بتنی میان‌پیر، مشاهده شده است. در این نمونه‌ها هنگامی که تماس کلی بین قاب و میانقاب وجود دارد، شکست در دو گوشه قطری نیز رخ می‌دهد. این رفتار ابتدا توسط پولیاکو به صورت یک دستک قطری فشاری معادل، مطابق شکل ۲ مدل‌سازی گردید [4].



شکل ۲- دستک معادل با عرض a

۱-۲- روش یک دستک

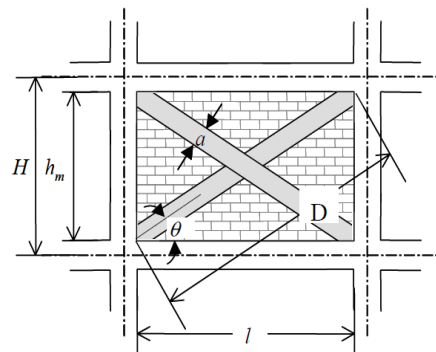
عرض دستک معادل (a) به عواملی مانند سختی خمشی قاب، جنس مصالح میانقاب، ابعاد مقطع تیر و ستون‌ها و شکل هندسی قاب، بستگی دارد. به عنوان نمونه توسط استفورد-اسمیت و کارتر [۲۹] رابطه زیر را برای محاسبه عرض دستک پیشنهاد داده‌اند.

$$\lambda_1 H = H \left[\frac{E_m t \sin 2\theta}{4 E_c I_c \rho h m} \right]^{1/4} \quad (1)$$

مینوستونه [۲] رابطه زیر را برای محاسبه عرض دستک پیشنهاد داد.

$$a = 0.175 D (\lambda_1 H)^{-0.4} \quad (2)$$

در معادلات بالا E_m مدول الاستیسیته میانقاب، E_c مدول الاستیسیته قاب می‌باشند، t ضخامت میانقاب، θ زاویه داخلی بین تیر و دستک فشاری معادل، I_c ممان اینرسی ستون، H_m ارتفاع بیرونی ستون، H ارتفاع خالص ستون و D طول دستک فشاری معادل که در شکل ۳ به صورت شماتیت نمایش داده است.



شکل ۳- ابعاد و اندازه دستک معادل

۲-۲- روش سه دستک

ال دخالنی و همکاران مدلی برای تخمین دستک‌های معادل ارائه دادند که پایه و اساس این کار توسط صانعی نژاد و هوبس انجام شده است. برای قاب میان‌پر با میانقاب بتنی نقاط ماکزیمم لنگرگسترش یافته دراعضای قاب، تقریباً در انتهای طول‌های تماسی قاب و میانقاب قرار می‌گیرند و فاصله محل قرارگیری آنها از محل اتصال تیر و ستون توسط روابط زیر بدست می‌آید [۱۳، ۱۴].

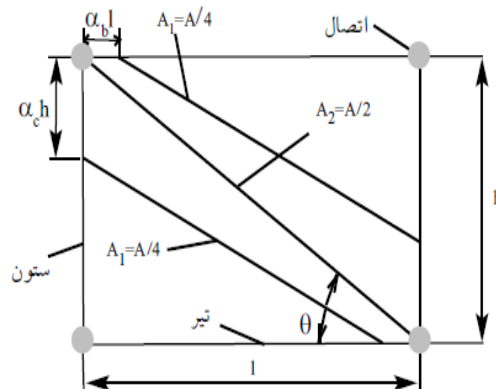
$$\alpha_c h = \sqrt{\frac{2(M_{pj} + 0.2M_{pc})}{t \cdot f'_{m-0}}} \leq 0.4 h \quad (۳)$$

$$\alpha_b L = \sqrt{\frac{2(M_{pj} + 0.2M_{pb})}{t \cdot f'_{m-90}}} \leq 0.4 L \quad (۴)$$

در معادلات بالا α_c نسبت طول تماسی ستون به ارتفاع ستون، α_b نسبت طول تماس تیر به طول آن، h ارتفاع ستون، L طول تیر و M_{pj} مینیمم ظرفیت لنگر پلاستیک اتصال، M_{pc} حداقل ظرفیت‌های لنگر پلاستیک ستون، M_{pb} حداقل ظرفیت‌های لنگر پلاستیک تیر، f'_{m-0} مقاومت فشاری مصالح بنایی در جهت موازی بستر، f'_{m-90} مقاومت فشاری مصالح بنایی در جهت عمود بر بستر و t ضخامت میانقاب را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۴، استفاده از دستک‌ها به جای المان‌های صفحه‌ای برای نمایش دو ناحیه پانل میانقاب کاربردی‌تر است. با فرض اینکه ناحیه قطری با مساحت برابر با A که بعداً تعیین می‌شود به صورت یکنواخت بارگذاری شده باشد، هر ناحیه از پانل که در شکل ۴ نشان داده شده دارای مساحت $A/2$ خواهد بود. به علاوه با فرض توزیع یکنواخت تنش در طول ناحیه تماسی، هر قسمت با دو دستک جایگزین می‌شود که هر یک با مساحت $A_1 = 1/2$ در $(A/2) = A/4$ در شروع و انتهای طول تماس قاب و میانقاب قرار گرفته‌اند.

ترکیب دو دستکی که کنج‌های تحت بار از دو ناحیه را به یک دستک با مساحت $A_2 = 2A_1 = A/2$ متصل می‌کنند باعث می‌شود که کل صفحه میانقاب با سه دستک جایگزین شود. دستک بالایی، تیر بالایی را به ستون دورتر از بار با مساحت $A_1 = A/4$ وصل می‌کند. یک دستک میانی با مساحت $A_2 = A/2$ دو گوشه تحت بار را به هم مرتبط می‌سازد و در نهایت دستک پایینی با مساحت $A_1 = A/4$ ستون نزدیک به بار را به تیر پایین متصل می‌کند و بنابراین مساحت دستک‌ها به صورت $A_2 + 2A_1 = A$ حاصل می‌شود. مدل هندسی پیشنهاد شده برای تیپ قاب میان‌پر با مصالح بنایی در شکل ۴ نشان داده شده است [27].



شکل ۴- مدل پیشنهاد شده برای قاب میان‌پر با مصالح بنایی

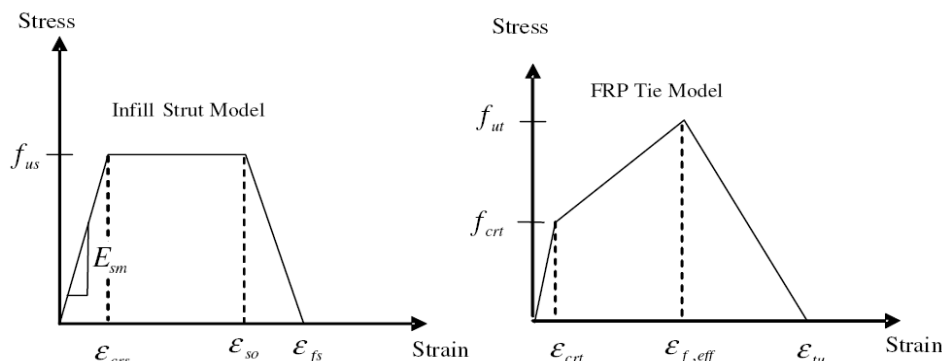
صانعی نژاد و هوبس میانقاب را به صورت یک دستک با مساحت A جایگزین کردند به طوری که A توسط رابطه زیر بدست می‌آید [۳۰]:

$$A = \frac{(1 - \alpha_c) \alpha_c h t}{\cos \theta} \quad (۵)$$

$$A = \frac{(1 - \alpha_b) \alpha_b l t}{\cos \theta} \quad (۶)$$

۳-۲- روش مدل سازی میانقاب تقویت شده با کامپوزیت FRP

میانقاب‌های تقویت نشده فقط فشار را تحمل می‌کنند و در کشش ضعیف هستند. بنابراین برای رفع این مشکل و کارایی بیشتر میانقاب می‌توان از کامپوزیت‌های FRP در میانقاب استفاده کرد. برای مدل سازی دیوار تقویت شده، باید میانقاب تقویت شده و کامپوزیت FRP را جدا از هم مدل کرد (شکل ۵). برای مدل سازی کامپوزیت FRP می‌توان از معادلاتی که توسط ازسبه و بینسی ارائه شده است، استفاده کرد [۳۱ و ۳۲].



شکل ۵- نمودار تنش- کرنش برای مدل دستک FRP و مدل دستک میانقاب

برای بدست آوردن مساحت دستک معادل کششی می‌توان از معادلات زیر استفاده کرد:

$$A_{tie} = W_f \times t_{tie} \quad (6)$$

$$t_{tie} = t_f + t_p + t_{in} \quad (7)$$

$$V_{ut} = \epsilon_{f,eff} W_f t_f E_f \quad (8)$$

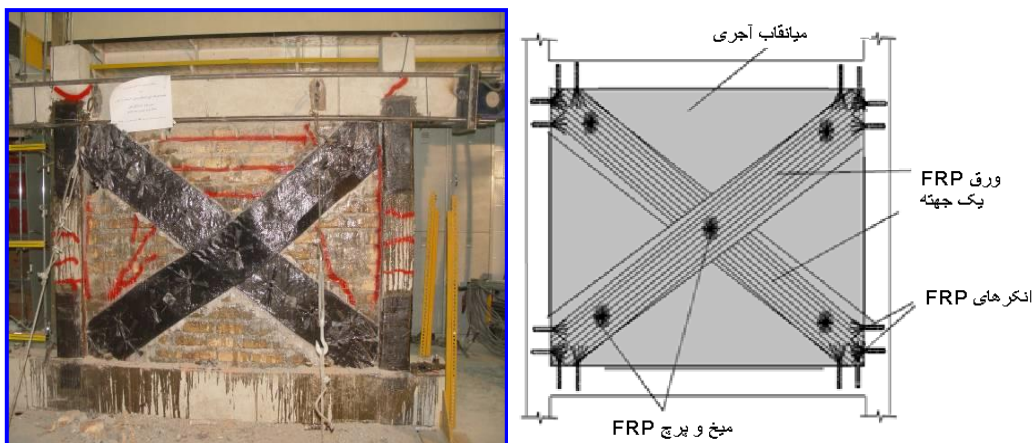
$$f_{ut} = V_{ut} / A_{tie} \quad (9)$$

در معادلات بالا A_{tie} مساحت دستک معادل کششی کامپوزیت FRP، W_f پهنای کامپوزیت FRP، t_{tie} ضخامت کل دستک معادل کششی، t_f ضخامت کامپوزیت FRP، t_p ضخامت پلاستری روی میانقاب، t_{in} ضخامت میانقاب، V_{ut} نیروی کششی نهایی، f_{ut} تنش کششی نهایی دستک معادل کامپوزیت FRP، E_f مدول الاستیسیته کامپوزیت FRP، $\epsilon_{f,eff}$ کرنش در حالتی که انگرهای کامپوزیت FRP دچار شکست می‌شود و ϵ_{ut} کرنش کششی در حالت نهایی کامپوزیت FRP می‌باشند که همگی از نتایج آزمایشگاهی بدست می‌آیند [۱۶].

البته از آزمایشاتی که بر روی کامپوزیت FRP در این چند ساله انجام گرفته، می‌توان تقریباً محدوده ϵ_{crt} ، $\epsilon_{f,eff}$ و ϵ_{ut} را تخمین زد. از جمله اینکه آقای ازسبه و بینسی مقدار $\epsilon_{f,eff}$ را بین ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۳ تخمین زده و یا مقدار ϵ_{ut} را سه برابر مقدار $\epsilon_{f,eff}$ تخمین زده است [۳۱ و ۳۲].

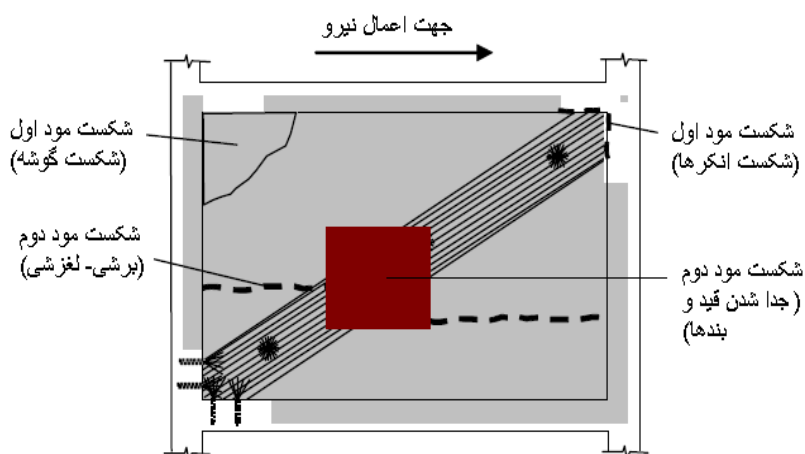
۳- مشاهدات آزمایشگاهی و صحت سنجی مدل‌ها:

هنگامی که یک قاب بتنی دارای میانقاب تحت تغییر شکل جانبی قرار می‌گیرد، می‌توان به جای میانقاب دستک قطری جایگزین کرد. ایده طرح مدل سازی FRP در مقاوم سازی، برای کاهش نیاز تغییر شکل سازه مشابه بادبند ضربدری سازه فولادی می‌باشد که میانقاب به صورت دستک قطری فشاری و FRP به صورت یک دستک قطری کششی مدل می‌شود. نمونه ای از اجرای FRP در شکل ۶ نشان داده شده است. کامپوزیت FRP به صورت دو طرفه (در قسمت جلو و پشت میانقاب) با استفاده از رزین و انگرهای مخصوص به میانقاب و قاب بتنی متصل می‌شوند. انگرهایی که کامپوزیت FRP را به میانقاب متصل می‌کنند هر دو سر آن به کامپوزیت FRP متصل می‌شوند (از بین میانقاب می‌گذرد). از سوی دیگر انگرهایی که کامپوزیت FRP را به قاب بتنی متصل می‌کند یک سر آن به اعضای قاب بتنی و سر دیگر آن به کامپوزیت FRP متصل می‌شود.



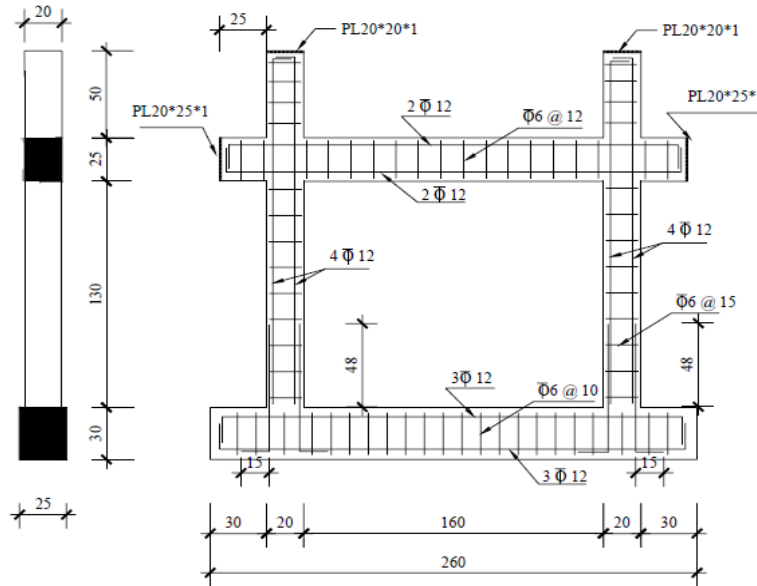
شکل ۶- روش مقاوم سازی قاب بتنی دارای میانقاب با کامپوزیت FRP

آزمایش‌های انجام شده توسط اردم و آگوزل که بر روی قاب‌های بتنی میان‌پر تقویت شده با کامپوزیت FRP، دارای دو مود شکست غالب می‌باشند. اولین مود شکست، مود خرد شدن کنج و شکست انگرهای گوشه می‌باشد که نمایگر خرد شدن حداقل یکی از کنج‌های تحت بار است. دومین مود شکست، مود برشی لغزشی است که نشانگر گسیختگی برشی-لغزشی افقی بندهای ملات میانقاب و جدا شدن قید و بندهای کامپوزیت FRP می‌باشد که در شکل ۷ نمایش داده شده است [۳۲].



شکل ۷- مودهای شکست قاب بتنی دارای میانقاب تقویت شده با کامپوزیت FRP

دهقانی و ناطقی الهی آزمایشاتی بر روی قاب‌های بتنی میان‌پر که با کامپوزیت FRP تقویت شده بودند، انجام دادند که این نمونه‌ها شامل یک قاب بتنی یک دهانه- یک طبقه با طول دهانه ۲۲۰۰ mm و ارتفاع ۱۵۲۵ mm می‌باشد که از میانقابی با آجر فشاری با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و درزهای افقی میانقاب دارای حداکثر ارتفاع ۲ سانتی‌متر و درزهای قائم با عرض حداکثر ۱ سانتی‌متر ساخته شده است و از انجام هر گونه پلاستر سیمانی به منظور جلوگیری از تغییر سختی دیوار خودداری شده است. در شکل شماره ۸ نمایی شماتیک از قاب بتنی و در شکل شماره ۹ قاب بتنی میان‌پر که با کامپوزیت FRP تقویت شده را نشان داده شده است. در جداول شماره ۱، ۲ و ۳ به ترتیب مشخصات قاب بتنی، مشخصات میانقاب بتنی و مشخصات کامپوزیت FRP نشان داده شده است [۲۵].



شکل ۸- ابعاد و میگردگذاری قاب بتنی



شکل ۹- قاب بتنی دارای میانقاب میان پر که با کامپوزیت FRP تقویت شده

جدول ۱- مشخصات قاب بتنی

مشخصات	تیر	ستون
مقطع (mm ²)	B 200×250	C 200×200
f _c (MPa) بتن	۲۹/۷	۲۹/۷
F _y (MPa) آرماتور	۳۵۰	۳۵۰
E _c (MPa)	۸۶۱۷	۸۶۱۷

جدول ۲- مشخصات میانقاب قاب بتنی

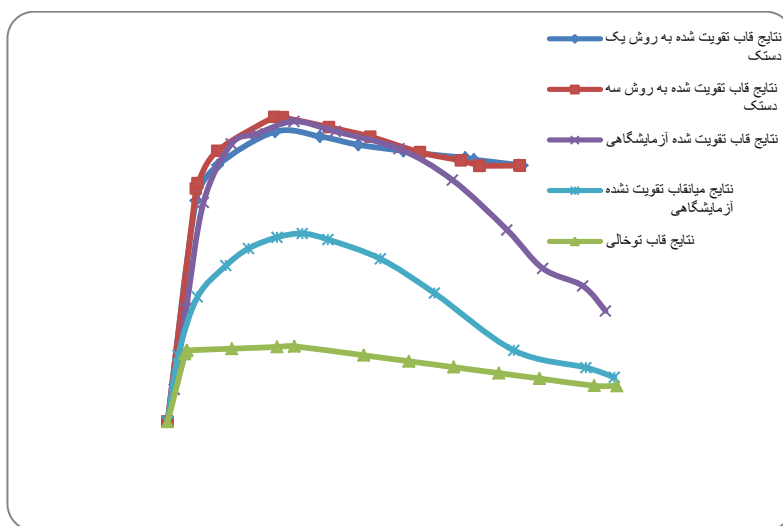
$f_{mn} = f_{my} = f'_m = 7 \text{ MPa}$
$f_{mp} = f_{mx} = 0/7 f'_m$
$Y_{xy} = U_{yx} = 0/15$
$E_{mn} = E_y = f'_m$
$E_{mp} = E_{mx} = 0/8 E_y$
$G_{xy} = 0/4 E_{mn}$
$t = 100 \text{ mm}$

جدول ۳- مشخصات کامپوزیت FRP

F _{tf} = 3450 MPa
E _{tf} = 230 GPa
t _f = 10 mm
W _f = 300 mm

مطابق شکل ۱۰، نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی بدست آمده، نشان می‌دهد که ظرفیت باربری نهایی و شکل پذیری قاب بتنی میان‌پر تقویت شده با کامپوزیت FRP نسبت به قاب بتنی میان‌پر تقویت نشده و قاب بتنی بدون میان‌قاب، به ترتیب ۲ و ۴ برابر شده است، همچنین سختی قاب بتنی میان‌پر تقویت شده با کامپوزیت FRP نسبت به قاب بتنی میان‌پر تقویت نشده و قاب بتنی بدون میان‌قاب، به ترتیب ۷ و ۶۶ درصد افزایش یافته است. نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل پیشنهادی انطباق خیلی خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد. در هر دو مدل، سختی قاب را خیلی خوب تخمین زده شده و شیب هر دو مدل تقریباً مشابه بوده و تقریباً نزدیک به شیب نتایج آزمایشگاهی می‌باشد. در هر دو روش (روش یک دستک و سه دستک) ظرفیت نهایی قاب را به خوبی تخمین زده اند و بسیار نزدیک به نتایج آزمایشگاهی است، ولی ظرفیت نهایی در مدل روش سه دستک، تا حدودی بهتر از مدل روش یک دستک تخمین زده شده است.

با توجه به مطالب بالا می‌توان در مورد این قاب می‌توان به این نتیجه رسید که دقت نتایج بدست آمده از مدل کردن میان‌قاب به روش سه دستک تقریباً از نتایج بدست آمده از مدل کردن میان‌قاب به روش یک دستک، بهتر است.



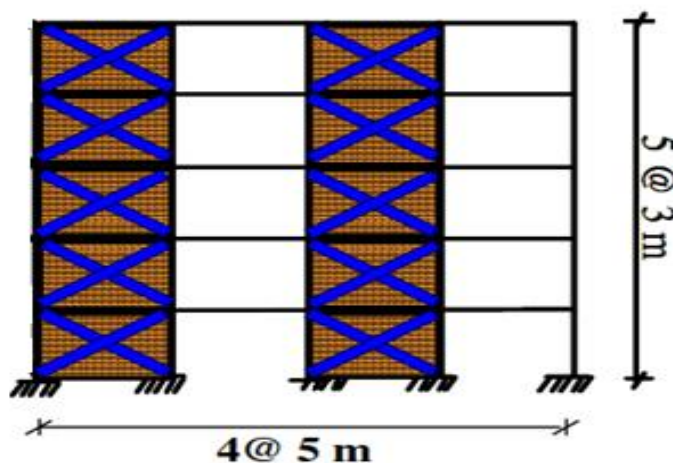
شکل ۱۰- مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج تحلیلی

مطالعه موردی:

میان‌قاب‌ها باعث افزایش ظرفیت نهایی و سختی سازه می‌شود همچنین کامپوزیت FRP باعث افزایش چشمگیر ظرفیت نهایی و سختی سازه نسبت به قاب خالی می‌شود. با تقویت کردن قاب‌های بتنی میان‌پر، با استفاده از کامپوزیت FRP، طبق نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی، می‌توان افزایش ظرفیت باربری قاب را انتظار داشت. قاب مورد مطالعه در این پژوهش دارای ۴ دهانه ۵ متری و دارای ۵ طبقه به ارتفاع ۳ متر می‌باشد که فقط دو دهانه اول و سوم آن دارای میان‌قاب تقویت شده با کامپوزیت FRP می‌باشند. در شکل شماره ۱۱ نمایی شماتیت از این قاب نشان داده شده است. همه ستون‌ها از لحاظ ابعاد و خواص مکانیکی مشابه بوده و تیرها نیز از لحاظ ابعادی و خواص مکانیکی با یکدیگر مشابه هستند که مشخصات قاب بتنی در جدول ۴ ارائه شده است. ضخامت میان‌قاب‌ها ۱۰۰

میلی متر می باشد که روی سطح میانقابها با ۴۰ میلی متر گچ پوشانده شده که مقاومت فشاری این گچ حدود ۲ مگاپاسکال می باشد که در جدول شماره ۵ مشخصات میانقاب اجرای ارائه شده است. روی سطح میانقابها به صورت ضربدری با استفاده از کامپوزیت FRP با عرض موثر ۷۵۰ میلی متر، تقویت شده است که مشخصات کامپوزیت FRP در جدول ۶ ارائه شده است.

در این مطالعه ابتدا قاب بتنی بدون میانقاب تحلیل شده و در مرحله بعد قاب بتنی دارای میانقاب و قاب بتنی دارای میانقاب تقویت شده با کامپوزیت FRP به روش سه دستک مورد تحلیل قرار گرفته است که در قاب بتنی مفصل پلاستیک ستونها به دو انتهای بالا و پایین ستونها تخصیص داده شده و مفصل پلاستیک تیرها به دو انتهای تیرها و مفصل پلاستیک در دستکهای قطری به وسط دستکها اختصاص داده شده است که نمایی شماتیت از اختصاص مفاصل به عضوهای قاب در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۱- نمایی شماتیت از قاب بتنی میان پر تقویت شده با کامپوزیت FRP

جدول ۴- مشخصات قاب بتنی

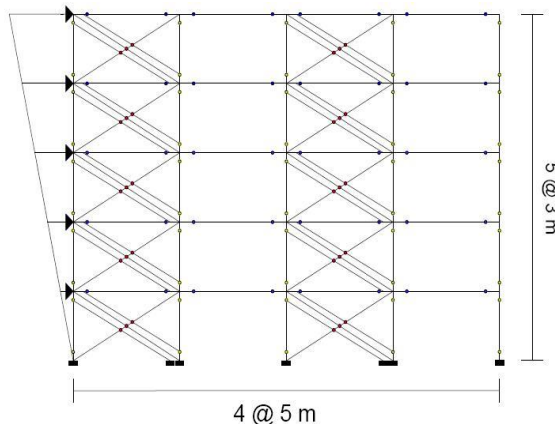
مشخصات	تیر	ستون
مقطع (mm ²)	B 400×600	C 400×400
ρ (%)	۰/۵	۱
f_c (MPa) بتن	۱۰	۱۰
F_y (MPa) آرماتور	۴۲۰	۴۲۰

جدول ۵- مشخصات میانقاب بتنی

$f_{mn} = f_{my} = f'_m = 2 \text{ MPa}$
$f_{mp} = f_{mx} = 0/7 f'_m$
$Y_{xy} = U_{yx} = 0/15$
$E_{mn} = E_y = f'_m$
$E_{mp} = E_{mx} = 0/8 E_y$
$G_{xy} = 0/4 E_{mn}$
$t = 100 \text{ mm}$

جدول ۶- مشخصات کامپوزیت FRP

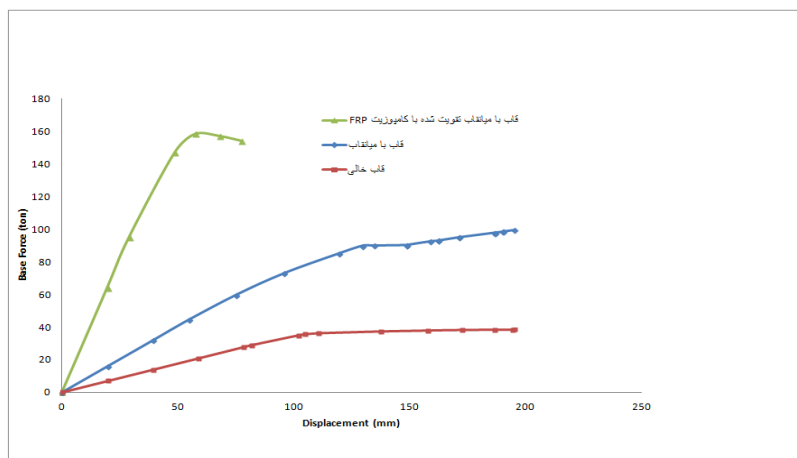
$f_{tf} = 3450 \text{ MPa}$
$E_{tf} = 230 \text{ GPa}$
$t_f = 10 \text{ mm}$
$W_f = 750 \text{ mm}$



شکل ۱۲- نمایی شماتیت از آنالیز قاب دارای میانقاب تقویت شده با کامپوزیت FRP

برای انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی، یک بار خطی به قاب وارد می‌شود و پس از آنالیز قاب، نمودار نیرو- تغییر مکان قاب بدست می‌آید. برای مقایسه بهتر مدل‌ها، نمودارهای قاب توخالی، قاب دارای میانقاب و قاب با میانقاب تقویت شده با کامپوزیت FRP در یک نمودار نمایش داده شده است که نتایج این تحلیل‌ها در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

مطابق شکل ۱۳، نتایج تحلیلی بدست آمده، نشان می‌دهد که ظرفیت باربری نهایی قاب بتنی میان‌پر تقویت شده با کامپوزیت FRP نسبت به قاب بتنی میان‌پر تقویت نشده و قاب بتنی بدون میانقاب، به ترتیب $1/8$ و $4/2$ برابر شده است، همچنین سختی قاب بتنی میان‌پر تقویت شده با کامپوزیت FRP نسبت به قاب بتنی میان‌پر تقویت نشده و قاب بتنی بدون میانقاب، به ترتیب 2 و $3/6$ برابر شده است. از سوی دیگر شکل‌پذیری قاب بتنی میان‌پر تقویت شده با کامپوزیت FRP نسبت به قاب بتنی میان‌پر تقویت نشده و قاب بتنی بدون میانقاب، به ترتیب 66 و 36 درصد کاهش پیدا کرده است.



شکل ۱۳- مقایسه نتایج تحلیلی برای قاب‌های مختلف سازه‌ای

بحث و نتیجه گیری:

این تحقیق یک روش کاربردی برای مدل سازی میانقاب مصالح بنایی با مد شکست خردشدگی کنج ارائه شده است. به این ترتیب با استفاده از این مدل تحلیلی می توان اثر میانقاب را در تحلیل و طراحی قاب های میان پر به کمک نرم افزار SAP2000 در نظر گرفت. روش پیشنهاد شده، سختی جانبی قاب میان پر تقویت شده با کامپوزیت FRP را تا لحظه شکست و ظرفیت بار نهایی را تا درجه قابل قبولی از دقت، پیش بینی می کند. این روش رفتار غیرخطی که هم در قاب (به علت تشکیل مفاصل پلاستیک) و هم در دیوار مصالح بنایی (به علت خرد شدن) رخ می دهد را توجیه می کند.

شکل پذیری پایین یکی از مهمترین دلایل رفتار لرزه ای نامناسب قاب های بتنی دارای میانقاب های میان پر و ساختمان های مصالح بنایی در زلزله های گذشته بوده است. یکی از راه های افزایش شکل پذیری، مقاوم سازی میانقاب میان پر با کامپوزیت FRP می باشد که در این مقاله سعی شده است که با استفاده از ایده، راهکاری مناسب برای بهسازی و میانقاب های میان پر و ساختمان های مصالح بنایی ارائه گردد.

با توجه به تحلیل های انجام شده، همان طور که پیش بینی می شد میانقاب ها باعث افزایش ۲ برابری مقاومت و ظرفیت باربری سازه و ۷ درصدی سختی قاب های میانقاب میان پر نسبت به قاب خالی نظیر آن شده است. بر این اساس در قاب ها نادیده گرفتن میانقاب ها می تواند خطای بیشتری را در برآورد سختی اولیه و ظرفیت نهایی سازه در محاسبات ایجاد کند.

در این تحقیق یک روش ساده برای مقاوم سازی میانقاب میان پر تقویت شده با کامپوزیت FRP ارائه شده است. با مقایسه نتایج آزمایشگاهی قاب ها و تحلیل غیرخطی قاب ها می توان نتیجه گرفت که انطباق بسیار خوبی با همدیگر دارند و می توان در مقاوم سازی سازه ها از این روش تحلیل استفاده کرد.

مقاوم سازی میانقاب با کامپوزیت FRP بر روی ظرفیت باربری سازه، تغییر مکان نهایی سازه و سختی سازه تاثیر مستقیمی دارد که باعث افزایش ۴ برابری ظرفیت باربری سازه و افزایش ۶۶ درصدی سختی سازه، نسبت به قاب خالی نظیر آن شده است.

با توجه به نتایج بدست آمده می توان گفت مقاوم سازی میانقاب میان پر با کامپوزیت FRP سبب افزایش مقاومت و باربری سازه، کاهش تغییر مکان نهایی سازه و محدود شدن شکل پذیری می شود.

منابع و مأخذ:

- [1]. پارسا، فرزاد و سروقد مقدم، عبدالرضا، " بررسی آزمایشگاهی عملکرد میان قاب های مصالح بنایی در قاب های بتنی"، نشریه دانشکده فنی، دوره ۴۲، شماره ۶، آذر ماه ۱۳۸۷.
- [2]. ناطقی الهی، فریبرز و صافدل، محمدرضا. "مدل سازی میانقاب مصالح بنایی به کمک نرم افزارهای متداول طراحی سازه". پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال نهم، شماره سوم، پاییز ۸۵.
- [3]. Holmes, M., "Steel Frames with Brickwork and Concrete Infilling", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 19, 1961, PP. 473-478.*
- [4]. Flanagan, R. D., Bennett, R. M., and Barclay, G. A., "IN-Plane Behavior of Structural Clay Tile Infilled Frames", *ASCE Journal of Structural Engineer, Vol.125, No. 6, 1999, PP. 590-599.*
- [5]. Paulay, T. and Priestley, M. J. N., "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings," *John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1992.*
- [6]. Seah, C. K., "A Universal Approach for the Analysis and Design of Masonry Infilled Frame Structures", *Ph.D. thesis, The University of New Brunswick, Canada, December, 1998.*

- [7]. Stafford Smith, B., and Carter, C., "A Method of Analysis for Infilled Frames", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Vol. 44, 1969, PP. 31-48.
- [8]. Kassem, N., Etman, E., Atta, A., "Analytical Model and Design Guidelines for Using FRP System in Strengthening In-filled Frames", *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, Volume 12, Issue 6 Ver.III (2015).
- [9]. Koutas, L., Triantafillou, T.C., Bousias, S.N., ASCE, M., "Analytical Modeling of Masonry-Infilled RC Frames Retrofitted with Textile-Reinforced Mortar", *J. Compos. Constr.*, 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000553, 04014082, (2014).
- [10]. Kappos, A. J., "Seismic Design and Performance Assessment of Masonry Infilled R/C Frames", *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand, 2000.
- [11]. Al-Chaar, G., Sweeney, S., "Behavior of Masonry-Infilled Nonductile Reinforced Concrete Frames", *Journal of Structural Engineering*, Vol 128, No. 8, August 1, 2002. ©ASCE, ISSN 0733-9445/2002/8-1055-1063.
- [12]. Al-Chaar, G., Gregory E. Lamb, G., "Design of Fiber-Reinforced Polymer Materials for Seismic Rehabilitation of Infilled Concrete Structures", *Engineer Research and Development Center*, December 2002, ERDC/CERL TR-02-33.
- [13]. El-Dakhakhni, W.W., Elgaaly, M., Hamid, A., "Three-Strut Model for Concrete Masonry-Infilled Steel Frames", *ASCE Journal of Structural Engineer*, Vol.129, No.2, February, 2003, PP.177-185.
- [14]. EL-Dakhakhni, W. W., "Experimental and analytical seismic evaluation of concrete masonry-infilled steel frames retrofitted using GFRP laminates", *PhD thesis*, Drexel Univ., Philadelphia, 2002.
- [15]. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان‌های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵.
- [16]. Binici, B., Ozcebe, G., "Strengthening of Brick-Infilled RC Frames with CFRP1", *Department of Civil Engineering Middle East Technical University 06531, Ankara Turkey*, March 2003.
- [17]. Huang, C.H. Tuan, Y.A. Hsu, R.Y., "Nonlinear Pushover Analysis of Infilled Concrete Frames", *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, Vol.5, No.2, December 2006.
- [18]. Sinan, A. Ozgur, A. Emin, K and Mustafa, K. "An Experimental Study on Strengthening of Masonry Infilled RC Frames using diagonal CFRP Strips", *Science Direct Composites: Part B* 39 (2008) 680-693.
- [19]. Park, S.W., Choi, S.W., Kim, Y., Oh, B.K., Park, H.S., "Optimal Retrofit Design of Reinforced Concrete Frame with Infill Wall Using Fiber Reinforced Plastic Materials", *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering* Vol:10, No:5, 2016.
- [20]. Ozkaynak, H., Yuksel, E., Yalcin, C., Dindar, A., Buyukozturk, O., "Masonry infill walls in reinforced concrete frames as a source of structural damping", *Earthquake Engng Struct*, 2014, 43:949-968.
- [21]. Spyrakos, C.C., Maniatakis, C.A., Psycharis, I.N., Smyrou, E., Asteris, P.G., "Validation of Analytical Models for the Assessment of Brick-infilled RC Frames Strengthened with FRPS", *Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, 12-14 June 2013.
- [22]. Spyrakos, C.C., Maniatakis, C.A., Smyrou, E., Psycharis, I.N., "FRP Strengthened Brick-Infilled RC Frames: An Approach for their Proper Consideration in Design", *Construction and Building Technology Journal* (2012) 306-324.
- [23]. Rahman, A., Ueda, T., "Seismic rehabilitation of masonry structure strengthening by two distinct FRPs", *Conference on Advances in Bridge Engineering-III*, August 21-22, 2015, Dhaka, Bangladesh.

Modeling and Studying the Behavior of Reinforced Concrete Infilled Frames with Reinforced Polymer Composites

Fariborz Nateghi Elahi

Professor, International Institute of Earthquake
Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran
nateghi@iiees.ac.ir

Ayoub Dehghani

Instructor, Dept. of Civil Engineering, Persian Gulf University, Busheh
a.dehghani@pgu.ac.ir

Mohammad Javad Alinejad

Civil Engineering, Islamic Azad University, Kangan Branch
mj.alinezhad2000@yahoo.com

Abstract

There are many concrete infilled frames in Iran, that they need to strengthen. One of the effective methods to strengthen for these buildings, that in recent years many studies have been done about it, is the use of fiber-reinforced composites (FRP). In this paper, we provide a simple method to estimate the stiffness and ultimate load capacity of concrete infilled frame. Infill materials modeled via equivalent diagonal element, are modeled and compared with each other. The two methods can be easily applied to the two-dimensional nonlinear analysis of structures. The result of pushover analysis, offer us a model that is the very close and similar to the prototype. In addition, we provide the results of a case study on a five-story concrete infilled frame with FRP composites have been strengthened, that can be used as a way to replace Infill FRP composites in frames. The laboratory and analytical results that obtained, indicate that the reinforced concrete infilled frame with reinforced FRP composites, increases stiffness and final load capacity of the structure.

Keywords: Concrete Infilled Frames, Strengthening, FRP Composite, Pushover Analysis, Final Load Capacity

[24].Nateghi-Elahi, F., Dehghani, A., "Analytical and Numerical Study of RC Frames With URM Infilled Retrofitted by CFRP", *The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.*

[25].Nateghi-Elahi, F., Dehghani, A., "Experimental Results and Conclusions Obtained on the Masonry-Infilled Concrete Frames Strengthened by CFRP", *14 ECEE 2010, Chrid 30.08-03.09.*

[26].Yuksel, E. Ozkaynak, H. Buyukozturk, O. Yalcin, C. Dindar, A. Surmeli, M. Tastan, D and Al., "Performance of alternative CFRP retrofitting schemes used in infilled RC frames", *Construction and Building Materials 24 (2010) 596-609.*

[27]. ناطقی الهی، فریبرز و ملکی، شهرام. "مقاوم‌سازی سازه‌های بتنی با استفاده از FRP". ناشر نوپردازان، پاییز ۸۵.

[28]. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۸۱.

[29]. ناطقی الهی، فریبرز و صافدل، محمدرضا. "مدل‌سازی میانقاب مصالح بنایی به کمک نرم‌افزارهای متداول طراحی سازه". پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال نهم، شماره سوم، پاییز ۸۵.

[30].Saneinejad A., and Hobbs, B. "Inelastic Design of Infilled Frames", *ASCE Journal of Structural Division, Vol. 121, No. ST4, 1995, PP. 634-650.*

[31]. Binici, B., Ozcebe, G., "Analysis of Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened With FRPS", *Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction, 455- 470, 2006, Netherlands.*

[32]. Binici, B., Ozcebe, G., "Seismic Evaluation of Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened With FRPS", *Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, April 18-22, 2006, San Francisco, California, USA, Paper No. 1717.*