

بررسی روش های مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای دیوار های برشی بتن آرمه

پیام پارسا^۱، حسین نادرپور^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

mail.payamparsa@gmail.com

چکیده

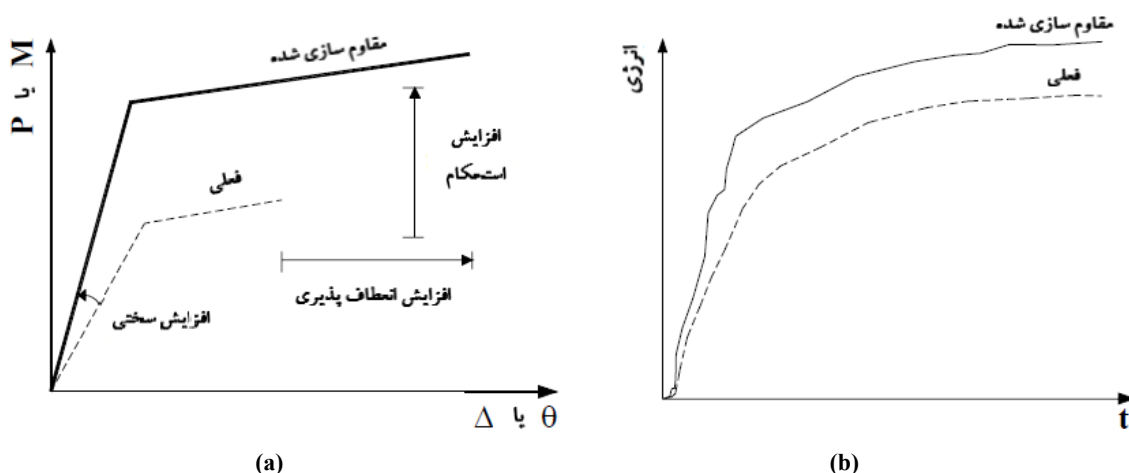
دیوارهای برشی بتن آرمه (RC) به طور گسترده ای در ساختمان های متوسط تا بلند استفاده می شود تا استحکام جانبی، سختی و ظرفیت تخلیه انرژی مورد نیاز برای مقاومت در برابر بارهای جانبی ناشی از باد یا زمین لرزه را فراهم کنند در چند دهه گذشته پیشرفت چشمگیری در طراحی دیوارهای برشی در ساخت و ساز های جدید صورت گرفته است روش جدید ارزیابی عملکرد و اصول طراحی ظرفیت نمونه هایی از این پیشرفت های مهم در مهندسی لرزه ای است و ضروری است که عملکرد لرزه ای دیوارهای برشی بتن مسلح موجود را ارتقاء دهیم تا بتوانند از الزامات تکنیک های طراحی جدید لرزه ای مبتنی بر عملکرد بهره مند شوند. چندین روش مقاوم سازی شده با استفاده از مواد مختلف در این مقاله گزارش شده است. این مقاله روش های مقاوم سازی مختلفی را برای افزایش مقاومت لرزه ای دیوارهای برشی بتن مسلح موجود ارائه می دهد. در این مقاله مزایا و معایب هر یک از روش های مقاوم سازی را مورد بحث قرار می دهد و هدف از ارائه ی این مقاله پیشرفت و چالش های اخیر در زمینه مقاوم سازی دیوار های برشی بتن مسلح است که شامل تقویت خارجی عضو سازه ای با فولاد معمولی یا پیش تنیده، افزایش سطح مقطع عضو بتنی به روش بتن پاشی و شاتکریت و اتصال قطعات پیش ساخته و چسباندن ورق های فولادی می باشد.

کلمات کلیدی: دیوار برشی بتن آرمه، بهسازی، مقاوم سازی، نوسازی

۱. مقدمه

آیین نامه های طراحی لرزه ای مدرن الزامات جدیدی را برای طراحی دیوارهای برشی بتن مسلح (RC)، از جمله مقررات مربوط به انعطاف پذیری مناسب و استحکام کافی برای جلوگیری از شکست غیرمخرب و افزایش رفتار خمشی دارد و سازه های بتن آرمه ای که قبل از بکاربردن آیین نامه های جدید ساخته شدند، در زلزله های گذشته به دلیل نقایصی چون کیفیت پایین بتن، محصور شدگی ضعیف نواحی انتهایی تیر و ستون، ظرفیت برشی ناکافی و طول مهاری ناکافی، سطوح مختلفی از خسارت را متحمل شده اند. برای جلوگیری از این خسارات تحقیقات زیادی انجام شد و روش های مقاوم سازی سازه ها توسعه یافت. مقاوم سازی سازه ها بر دو الگو استوار است: مورد اول، بهسازی لرزه ای با محدود کردن تغییر مکان های جانبی انجام می گیرد که با اضافه کردن اعضای سازه ای جدید که سختی و مقاومت را بهبود می بخشد همراه است. دوم، مقاوم سازی اعضای سازه ای با شکل پذیری پایین با محدود کردن تعداد اعضای معیوب همراه است و برای رسیدگی به این نواقص، تحقیقات اخیر، به بررسی و ارزیابی تکنیک های مختلف مقاوم سازی در تلاش برای بهبود عملکرد لرزه ای متمرکز شده است.

تکنیک های مختلف مقاوم سازی برای ارتقاء عملکرد لرزه ای دیوار برشی بتن مسلح مورد استفاده قرار گرفت. حالت گسیختگی مورد انتظار از دیوار برشی فعلی، روش مقاوم سازی مناسب را که باید برای دیوار استفاده شود تعیین می کند. هدف از این تکنیک های مقاوم سازی بهبود استحکام دیوار، سختی، شکل پذیری و یا ترکیبی از این خواص است. افزایش ظرفیت تخلیه انرژی دیوار یکی از جنبه های اصلی مقاوم سازی مناسب با توجه به ماهیت تحریک بار دینامیکی است. کنترل تغییر شکل دائمی دیوار یکی دیگر از اهداف مقاوم سازی است که با استفاده از موادی مانند shape memory alloys (SMA) قابل دستیابی است. بسیاری از آزمایش های انجام شده بر روی دیوارهای برشی بتن آرمه مسلح عملکرد فعلی و مقاوم سازی شده را با استفاده از لنگر خمشی، انرژی تخلیه شده و روابط تاریخچه زمانی جابجایی آنها مورد بررسی قرار دادند. شکل (۱) ویژگی های مختلف دیوار را نشان می دهد که با مقاوم سازی بهبود می یابد. مواد مختلف را می توان برای مقاوم سازی از قبیل فولاد، بتن، Fiber-reinforced polymer (FRP) استفاده کرد. هدف از این مقاله ارائه پیشرفته ترین تکنیک های مختلف مقاوم سازی است که برای ارتقای عملکرد لرزه ای دیوارهای برشی RC استفاده می شود و همچنین پیشرفت ها و چالش های اخیر در زمینه مقاوم سازی دیوارهای برشی RC است که از طریق برخی از کارهای آزمایشگاهی پیش تر انجام شده توسط محققان بر روی مقاوم سازی دیوارهای برشی RC، ارائه می شود.



شکل ۱: ویژگی های که توسط مقاوم سازی بهبود یافته است (a) سختی، استحکام و یا انعطاف پذیری (b) ظرفیت تخلیه انرژی [۱]

۲. جایگزینی بتن

جایگزینی بتن یکی از ساده ترین و ارزان ترین روش هایی است که می شود برای بازیابی استحکام و انعطاف پذیری دیوار های برشی بتن آرمه استفاده کرد، در این روش باید بتن آسیب دیده را حذف کرد و قسمت های ضعیف سطح را از بین برد و سطح آن را کاملاً تمیز کرد به این دلیل که پیوند قوی بین بتن جدید و قدیم صورت گیرد و میلگرد هایی که در قسمت فشرده ای از عضو قرار دارند امکان دارد در هنگام از بین بردن بتن کمی بچرخند، آن ها را باید صاف کرد و حال چهارچوب کار آماده شده است، بتن جدید آماده شده و از یک طرف دیوار ریخته می شود و بخش بالایی دیوار را می توان با استفاده از یک میله اپوکسی با مقاومت بالا برای اطمینان از پیوند مناسب با بتن قدیمی استفاده کرد و مقاوم سازی دیوار برشی به روش جایگزینی بتن باعث اختلال در عملکرد ساختمان می شود و برای همین نباید از ساختمان در هنگام مقاوم سازی از آن استفاده کرد.

در برخی موارد، به منظور بهبود استحکام و انعطاف پذیری دیوار برشی بتن آرمه، ترک های اصلی خمشی را می توان با استفاده از رزین های با ویسکوزیته کم اپوکسی کرد برای این روش، از یک چسب اپوکسی چسبناک استفاده می شود تا ترک را در امتداد طول آن در دو طرف دیوار بچسباند، سپس نازل ها در فاصله معقول قرار می گیرند (به عنوان مثال ۵۰ میلی متر) و یک رزین با ویسکوزیته بسیار کم تحت فشار از طریق نازل ها تزریق می شود تا زمانی که ترک کاملاً پر از رزین شده، سپس نازل ها را کاملاً مسدود می کنیم.

۳. ژاکت بتنی

در این روش ابعاد دیوار با اضافه شدن بتن جدید به مجموعه ی اصلی افزایش می یابد، تقویت اضافی می تواند برای افزایش استحکام و انعطاف پذیری دیوار استفاده شود و میلگرد های جدید می توانند به صورت عمودی و افقی که تشکیل یک شبکه ی میلگردی را می دهند یا به صورت قطری استفاده شوند. میلگرد های جدید حتماً باید به پایه دیوار متصل شوند.

دو دیوار برشی را مورد آزمایش قرار گرفته است که یکی از آن ها با استفاده از میلگرد های قطری پس از حذف بتن آسیب دیده در منطقه ی مفصل پلاستیک و دیوار دیگری را با افزایش ضخامت (ژاکت بتنی) بازسازی شد. این آزمایش ها نشان داد که توانایی و توان تغییر شکل دیوار های احیا شده افزایش یافته، در حالی که سختی اولیه آن ها تقریباً نیمی از دیوار های اصلی است، لازم به ذکر است که در برخی موارد زمانی که هنوز پایه دیوار به طور کامل طراحی نشده است، لازم است که پایه را تقویت کنیم تا وزن اضافی دیوار و افزایش لبه جانبی را دیوار بتواند تحمل کند.

تقویت یک دیوار برشی موجود با استفاده از ژاکت های سنتی ممکن است نیاز به ضخامت بیش از حد (حدود ۱۰۰ میلی متر) داشته باشد، که می تواند کارایی سازه را در معرض خطر قرار دهد در همین راستا اخیراً برای تقویت دیوار های بتن آرمه ی موجود از تکنیک های جدید بر پایه استفاده از ژاکت های ساخته شده از بتن مسلح با کیفیت بالا استفاده شده است؛ این روش باعث افزایش قابل توجه مقاومت سازه می شود و به عنوان یک نقطه ضعف، دارای شکل پذیری محدودی است.

روش ارائه شده می تواند به عنوان یک پیشرفت از این تکنیک در نظر گرفته شود. این راه حل بر اساس استفاده از ژاکت با کارایی بالا از مش فولاد مقاوم است که دارای مقاومت کششی بالاتر از ۱۲۰۰ مگاپاسکال است که در یک لایه نازک از بتن با عملکرد بالا تعبیه شده است و دارای استحکام فشاری بالاتر از ۱۴۰ مگاپاسکال است. با استفاده از این مواد با کارایی بالا، با توجه به راه حل سنتی، ضخامت ژاکت می تواند به طور قابل توجهی کاهش یابد و به منظور ارزیابی رفتار آزمایشی ژاکت تقویتی و انتخاب بهترین ضخامت ژاکت، آزمایش های اولیه بر روی نمونه های کوچکی که با میلگرد هایی با قدرت بالا در لایه نازک بتن الیافی مقاوم به کار گذاشته شده اند. مشاهده شد که، برای جلوگیری از ایجاد ترک ها، تضمین بزرگی انعطاف پذیری سازه و نسبت استحکام ژاکت باید به کنترل نسبت بین قطر مش و ضخامت ژاکت توجه شود.

- استفاده از ژاکت بسیار نازک با کارایی بالا می تواند مقاومت نهایی سازه را دو برابر کند. مهم تر از همه، تکنیک پیشنهادی باعث افزایش ظرفیت و انعطاف پذیری ساختار می شود که هدف اصلی هر طراحی تقویت لرزه ای است.
- اثرات خمش تا لحظه ی شکست بر رفتار سازه حاکم است بدون این که اثرات برشی تاثیر قابل ملاحظه ای داشته باشد.

- با این حال، به عنوان یک نقطه ضعف، تقویت دیوارهای RC موجود باعث می شود نیروهای برشی افقی قابل توجهی به پایه ها منتقل شوند، که به نوبه خود ممکن است نیاز به تقویت در آن قسمت ها داشته باشد.

۴. مقاوم سازی با مصالح فولادی

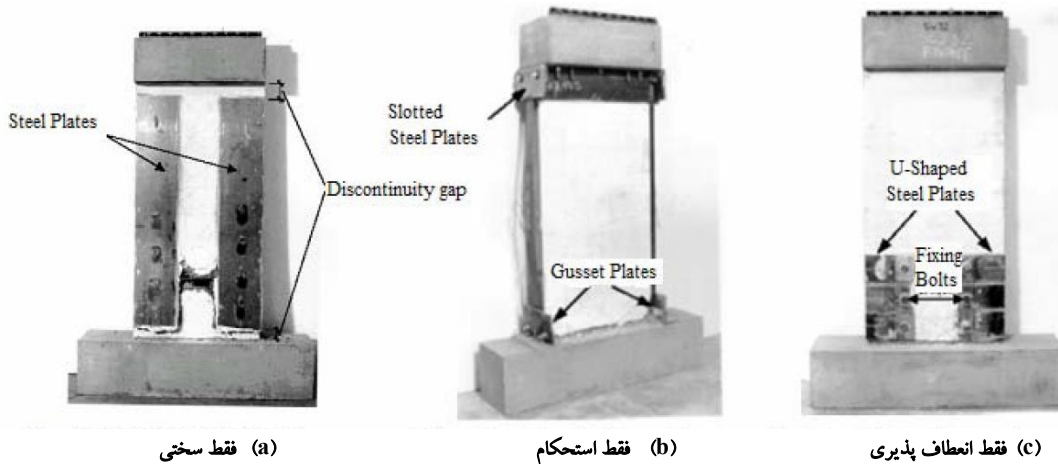
فولاد شایع ترین موادی است که برای مقاوم سازی دیوارهای برشی سازه استفاده می شود و مقاطع فولادی که برای بازسازی دیوارهای برشی بتن آرمه با طرح های مختلف، برای افزایش پاسخگویی به پارامترها استفاده می شود و وزن کمتری در مقایسه با ژاکت بتنی به سازه اضافه می کند و حداقل اختلال در عملکرد ساختمان از مزایای استفاده از سیستم مقاوم سازی فولادی است و از طرف دیگر آسیب پذیری فولاد به خوردگی، نیاز به داربست، دشواری مدیریت صفحات فولادی سنگین در محل، از مشکلات مقاوم سازی با فولاد است که ما به دو صورت از این روش استفاده می کنیم که به صورت زیر است:

I. استفاده از صفحات فولادی

در این روش، صفحات فولادی به دیوار متصل می شوند تا استحکام، سختی، انعطاف پذیری و یا ترکیبی از آنها را افزایش دهد. صفحات فولادی را می توان به صورت عمودی یا افقی با توجه به ویژگی که می خواهیم افزایش دهیم متصل کرد. مطالعه تاثیر طرح نوسازی مورد استفاده برای مقاوم سازی دیوارهای برشی با استفاده از صفحات فولادی در افزایش یک خاصیت خاص به عنوان مثال استحکام دیوار، سختی و یا انعطاف پذیری بدون این که خواص های دیگر تغییر کند.

شکل (۲) انواع طرح های نوسازی دیوارهای مورد مطالعه را نشان می دهد که توسط [۲] انجام گرفته است و آن ها نتیجه گرفتند که افزایش سختی دیوار بدون تغییر استحکام آن می تواند با استفاده از صفحات فولادی خارجی پیوند داده شده در نزدیکی لبه های طول دیوار باشد همان طور که در شکل ۲ (a) نشان داده شده است صفحات را می توان در امتداد ارتفاع یا در امتداد ارتفاع مفصل پلاستیکی مورد انتظار پیوند داد و یک فاصله ای باید بین صفحات و پایه و همین فاصله بین صفحات و دال بالایی وجود داشته باشد تا تقویت استحکام دیوار را تحت تاثیر قرار ندهد، زیرا بخش بحرانی همانند قبل باقی خواهد ماند. افزایش استحکام دیوار بدون تغییر سختی می تواند با استفاده از صفحات فولادی بدون اتصال بیرونی یا میله های متصل به یک مکانیسم تاخیر در تعامل (Interaction Delay Mechanism) باشد که در شکل ۲ (b) نشان داده شده است.

Interaction Delay Mechanism اجازه می دهد تا صفحات یا میله های اضافه شده تنها پس از یک جابجایی مشخص از کار بیافتند. صفحات یا میله ها می توانند به صفحات بین ارتفاع دیوار متصل شوند و سپس توسط ورق های که به خوردگی و مقاومت در برابر آتش مقاوم هستند، محصور شوند. این طرح مقاوم سازی با توجه به این که می تواند نیروهای اضافی برشی را تحمل کند، مورد استفاده قرار می گیرد افزایش انعطاف پذیری دیوار با افزایش جزئی سختی و استحکام می تواند با استفاده از صفحات فولادی محدود کننده خارجی U شکل که به وسیله اپوکسی و با استفاده از پیچ و مهره های پیش تنیده با دیوار پیوند داده می شود که در شکل ۲ (c) دیده می شود. افزایش انعطاف پذیری دیوار، ظرفیت تخلیه انرژی دیوار را افزایش می دهد که رفتار لرزه ای دیوار برشی است.

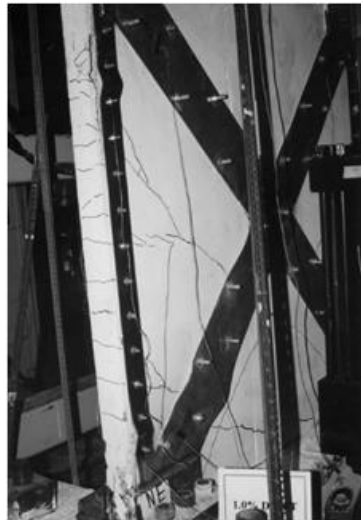


شکل ۲: طرح های مختلف مقاوم سازی که توسط [۲] مورد مطالعه قرار گرفته است. [۱]

II. استفاده از مهاربند فولادی

مهاربندهای فولادی عمدتاً برای بازسازی ساختارهای قاب خمشی منعطف، استفاده می شود. آن ها می توانند استحکام، سختی و انعطاف پذیری کافی برای سازه ی مقاوم سازی شده را فراهم کنند و با توجه به این که باید توجه ویژه ای به ارتباط آن ها با ساختار موجود داشته باشیم. مهاربندهای فولادی نیز می توانند برای ارتقاء عملکرد لرزه ای دیوارهای برشی بتن آرمه استفاده شوند در این حالت، مهاربند فولادی می تواند در فواصل کوتاه به منظور به حداقل رساندن طول پیچش به دیوار برشی متصل شود که ظرفیت عضو مهار کننده را افزایش می دهد در مقایسه با حالتی از سیستم قاب خمشی مقاوم سازی شده که به طور کامل توسط انحنای عضو مهاری فشرده شده کنترل می شود.

معمولاً توصیه می شود هنگام استفاده از مهاربند های مورب از نوارهای فولادی عمودی در لبه های دیوار استفاده شود زیرا نیروهای مورب در اعضای مهاربند دارای مولفه های عمودی (فشاری / کششی) هستند که نیروهای بیشتری را به دیوار وارد می کنند؛ در این حالت بهتر است نوارهای عمودی در انتهای دیوار متصل شوند تا به همراه بتن در برابر بخشی از این نیروها مقاومت کنند. [۳] یک دیواره RC را که با استفاده از این تکنیک مقاوم سازی شده بود، آزمایش کرد که شکل (۳) دیوار مقاوم سازی شده را در حالت ۱۰٪ جابه جایی نشان میدهد و این آزمایش ها نشان داد که دیوار مقاوم سازی شده به ظرفیت باربری نهایی تا ۲٫۸ برابر ظرفیت اصلی رسیده است و ظرفیت تخلیه انرژی تا ۴ برابر دیوار اصلی شده است که این موارد نشان دهنده کارایی این روش در مقاوم سازی دیوارهای برشی بتن آرمه است.



شکل ۳: دیوار برشی مقاوم سازی شده با مهاربند فولادی [۱]

۵. مقاوم سازی با مصالح ترکیبی

مواد کامپوزیت پلیمرهای تقویت شده با فیبر (FRP) در چند دهه گذشته توجه بیشتری شده است به عنوان یک ماده بالقوه برای مقاوم سازی ساختارهای موجود به دلیل قدرت بالای آنها، وزن سبک، کاربرد ساده ی آن و مقاومت بالای آن در برابر خوردگی استفاده شود. FRP به سه صورت ورقه ورقه ای یا صفحه ای و یا میله ای کاربرد دارد و الیاف پیش تنیده که برای افزایش کارایی در مقاوم سازی می توان استفاده کرد. با این حال، برخی از ویژگی های کامپوزیت FRP مانند عملکرد بلند مدت، عملکرد تحت حرکات دینامیکی و غیره در حال بررسی است.

I. افزایش ظرفیت برشی دیوار

استحکام برشی بیشتر می تواند از طریق عمود قرار دادن الیاف بر محور عضو یا عمود کردن بر ترک های برشی محتمل ضبدری بدست آید. الگوی بسته بندی و تعداد لایه های FRP که در مقاوم سازی استفاده می شود، استحکام و انعطاف پذیری بیشتر دیوار برشی را تعیین می کند و بنابراین قابلیت انعطاف پذیری سازه و واکنش کلی آن در هنگام برخورد با یک سطح خطر لرزه ای مشخص را مشخص می کند و در این حالت، FRP تاثیر کمی بر خمش و سختی دیوار خواهد داشت بنابراین با مقاوم سازی نیرو های اضافی به حداقل خود می رسند و همچنین با توجه به وزن سبک FRP، وزن ناچیزی به پایه دیوار اضافه می شود.

[۴] دیوار برشی بتن آرمه را با استفاده از پیچ و مهره های از جنس carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) و از طریق کنترل ضخامت تقویت شده است. طرح مقاوم سازی با هدف افزایش استحکام برشی دیوار و محصور شدن است و دیوار مقاوم سازی شده قادر به رسیدن به انعطاف پذیری ۵۷ درصد بیشتر از دیوار اصلی باشد و توانسته است سه برابر بیشتر از دیوار اصلی انرژی را به خود جذب کند.

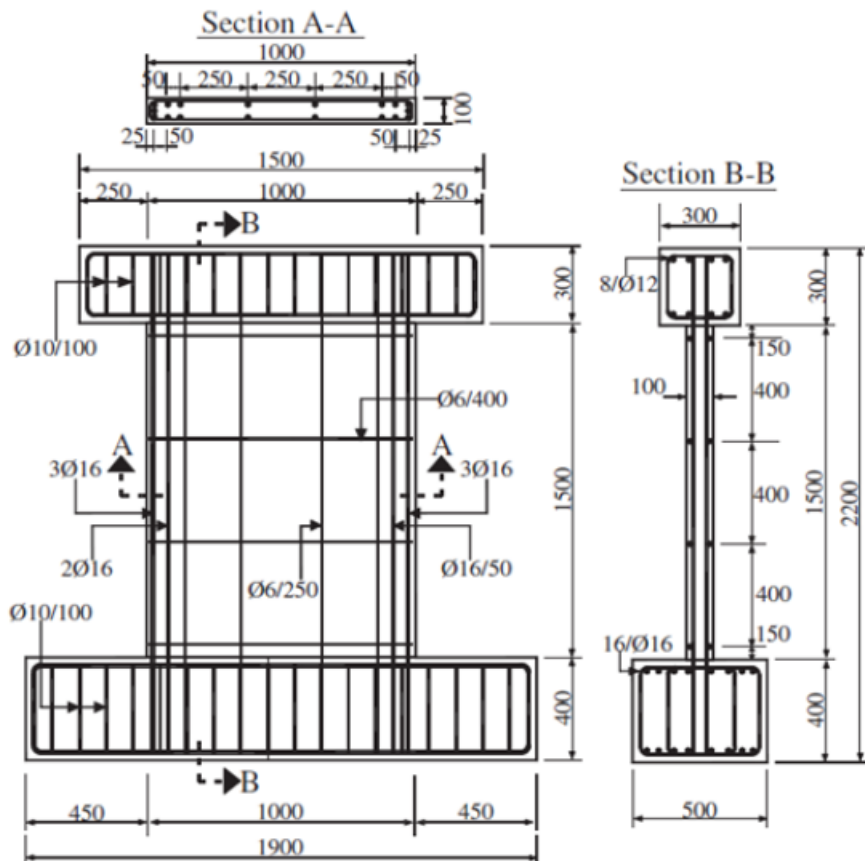
II. افزایش ظرفیت خمشی دیوار

استحکام خمشی یک دیوار برشی بتن آرمه را می توان با قرار دادن الیاف به صورت موازی با محور دیوار در تا حد زیادی افزایش داد و صفحات FRP با استفاده از اپوکسی به سطح دیوار متصل می شوند و برای اتصال آن ها به پایه دیوار و به بالای دال از پیچی از جنس فولاد و یا FRP استفاده می شود. [۵] چندین روش برای اتصال محکم ورقه های FRP که می توانند برای تقویت خمشی استفاده شوند مطرح کردند. شکست انقباضی محل ورقهای فشرده FRP نیز در مورد بارگذاری چرخه ای مهم است و باید از آن اجتناب کرد. افزایش ظرفیت خمشی دیوار مفید خواهد بود اگر دیوار اصلی، حالت خمشی شکست را تجربه کرده باشد و از این رو ظرفیت خمشی اضافی مورد نیاز است. در این حالت، ظرفیت خمشی نهایی دیوار مقاوم سازی شده نباید بیشتر از ظرفیت برشی دیوار باشد در غیر این صورت باید هر دو ظرفیت خمشی و برشی افزایش یابد.

III. افزایش ظرفیت خمشی و برشی دیوار برشی بتن آرمه

هر دو ظرفیت خمشی و برش را می توان همزمان با استفاده از نوار افقی و عمودی FRP افزایش داد. [۵] روی سه دیوار برشی مقاوم سازی شده با کامپوزیت های FRP هنگامی که تحت چرخه ی جانبی قرار گرفتند مطالعه کرد. دیوار اول برای بازگرداندن ظرفیت خمشی و سختی اصلی دیوار، تعمیر شده است. یک ورقه ی عمودی از ورق های کربنی FRP بر روی سطح دیوار و نبشی های فولادی به پایه دیوار متصل کردند. دیوار دوم با استفاده از همان روش، سختی بالاتر و قابلیت خمشی بیشتری را به دست آورد و دیوار سوم برای افزایش دادن سختی، ظرفیت خمشی و ظرفیت برشی آن با استفاده از یک ورق افقی کربنی FRP که در بین دو ورق عمودی کربنی FRP در دو طرف دیوار قرار داده شده است مستحکم سازی شد و دیوارها پس از مقاوم سازی، برای گسیختگی خمشی طراحی شده اند. مشاهد شد که دیوار های مقاوم سازی شده با FRP عملکرد بهتری را دارند به شرطی که سیستم محکم سازی مناسبی برای ورقه ها استفاده شود و باید به این نکته توجه شود که به مرور زمان از بین رفتن چسبندگی و از هم فاصله گرفتن ورقه های FRP از اعضا به علت تنش فشاری یک مسئله ی حیاتی است، به ویژه باید برای بارگذاری چرخه ای مورد توجه قرار بگیرد.

به منظور اعتبارسنجی دقت و کاربرد مدل غیر خطی Finte Element از دیوار برشی بتن آرمه مسلح تقویت شده با کامپوزیت FRP تحت بار یکنواخت، داده های آزمایشگاهی از کارهای پیشین [۶] مورد استفاده قرار گرفته است. مطالعات آزمایشگاهی بر رفتار دیوار های برشی ساده و دیوار های برشی مقاوم سازی شده با CFRP با پیکربندی های مختلف متمرکز شده است. [۶] نتایج آزمایش بر روی پنج نمونه با مقیاس $1/2$ با دیوارهای که نسبت طول به عرض آنها ۱٫۵ است ارائه داده اند. یکی از آنها را بدون هیچ مقاوم سازی به عنوان یک نمونه مرجع مورد آزمایش قرار دادند و بقیه نمونه ها با نوار CFRP مقاوم سازی شدند. تمام نمونه ها تحت بارگذاری جانبی چرخه ای آزمایش شدند و هیچ بار محوری به نمونه ها اعمال نشده است. ابعاد و جزئیات دیوار برشی RC مرجع در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴: ابعاد و جزئیات نمونه ها [۷]

ترکهای برشی در طول قطر دیوار برشی RC متمرکز شده اند و پس از اعمال بار جانبی نهایی، عرض این ترکها به علت جداسدن نوارهای CFRP از سطح دیوار افزایش یافته است؛ مشاهده می شود که بتن در گوشه پایین دیوار تحت تنش های فشاری خرد شده است. شبیه سازی عددی با نتایج آزمایش همخوانی دارد و نشان می دهد که روش عددی می تواند به طور دقیق رفتار دیوارهای برشی RC تقویت شده با کامپوزیت های CFRP را پیش بینی کند [۷]. تنش های کششی که می تواند در ورق های CFRP متصل شده به بتن ایجاد شود فقط بخشی از تنش هایی که ورق CFRP در حالت شکست به علت جداسدگی دچار است را شامل می شود که به منظور افزایش بیشتر کارایی ورق های تقویت کننده ی CFRP راه های مختلفی وجود دارد که یکی از آن ها اتصال ورق ها بصورتی است که در هنگام گسیختگی از بتن جدا نشود روش های مختلف چسباندن ورق های CFRP به بتن توسط محققان از جمله استفاده از ورق های عرضی یا به شکل تسمه ای، اتصال های مکانیکی، چسباندن ورق ها به صورت مارپیچ و یا استفاده از پیچ های CFRP مورد بررسی قرار گرفته است.

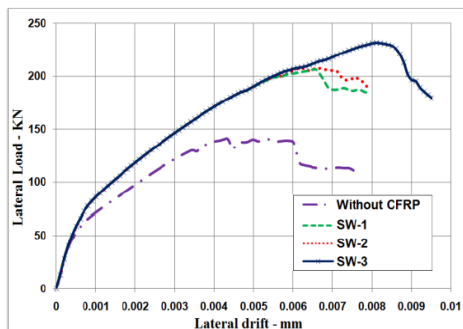
به منظور مدل سازی نمود مکانیکی پاسخ اتصال CFRP رابطه ی نیرو و تغییر شکل را در مورد مدل سازی اتصالات CFRP برای حالت گسیختگی برشی ارائه کردند. [۸] آن ها دو نوع اتصال CFRP را پیشنهاد کردند: اولین نوع قطر اتصال ۱۳ میلیمتر با قطر قسمت افشانی ۵۱ میلیمتر است که در نوع دوم قطر اتصال ۱۹ و با قطر قسمت افشانی ۱۰۲ میلیمتر است که در شکل (۵) نشان داده شده است.



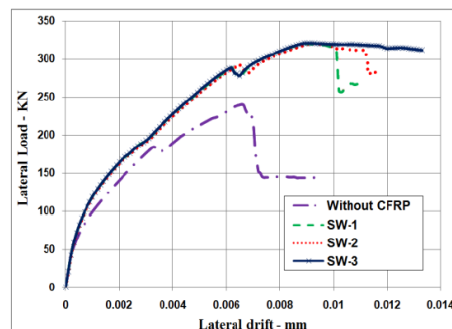
شکل ۵: مراحل ساخت اتصال [۷]

شکل (۶) (a) و (b) یک همبستگی کامل بین رفتار مدل مرجع SW-۱ بدون اتصال و مدل SW-۲ با یک ردیف اتصال نشان می دهد. این نشان می دهد که استفاده از یک ردیف هفتایی از اتصالات که در وسط هر یک از دو نوار CFRP قطری بکار رفته باشد منجر به افزایش رفتار نهایی تقویت دیوار برشی RC نمی شود.

همچنین، همانطور که در شکل (۶) a و b نشان داده شده است، رفتار SW-۳ در مقایسه با مورد بدون پیچ SW-۱ بهبود یافته است. این نشان می دهد که هنگامی که حالت شکست دیوار برشی RC ساده برشی یا انعطاف پذیری است، با استفاده از دو پیچ ۱۳ میلی متر در نزدیکی هر انتهای نوارهای CFRP با فاصله هایی که در شکل (۷) نشان داده شده است، تاخیر در جدا شدگی نوارهای CFRP و افزایش قابلیت انعطاف پذیری نوارهای تقویت کننده ی CFRP دیوار برشی که در مورد رویداد لرزه ای بسیار مفید است.

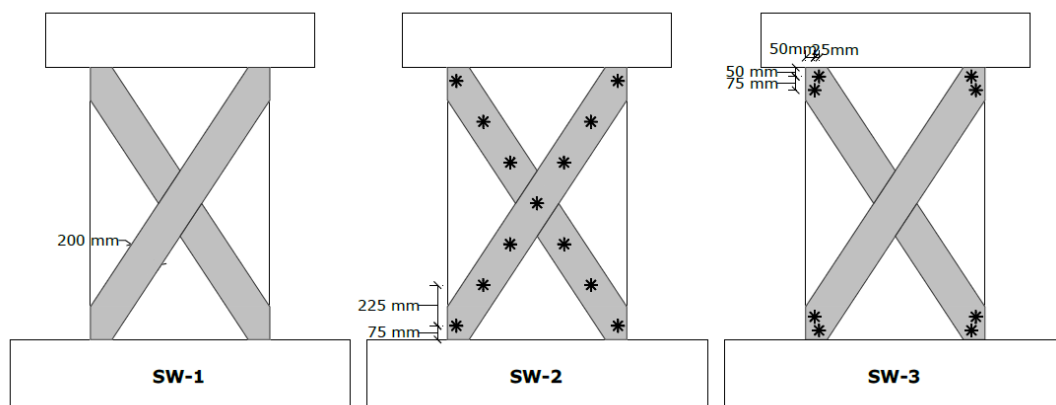


(a) $F_{cu}=15 \text{ N/mm}^2$, $\tau_{max}=0.5 \text{ MPa}$, $G_{cr}=300 \text{ J/m}^2$



(b) $F_{cu}=40 \text{ N/mm}^2$, $\tau_{max}=1.5 \text{ MPa}$, $G_{cr}=900 \text{ J/m}^2$

شکل ۶: نمودار بار جانی-تغییر مکان جانی برای مکان های مختلف ورق های CFRP دیوار برشی [۷]



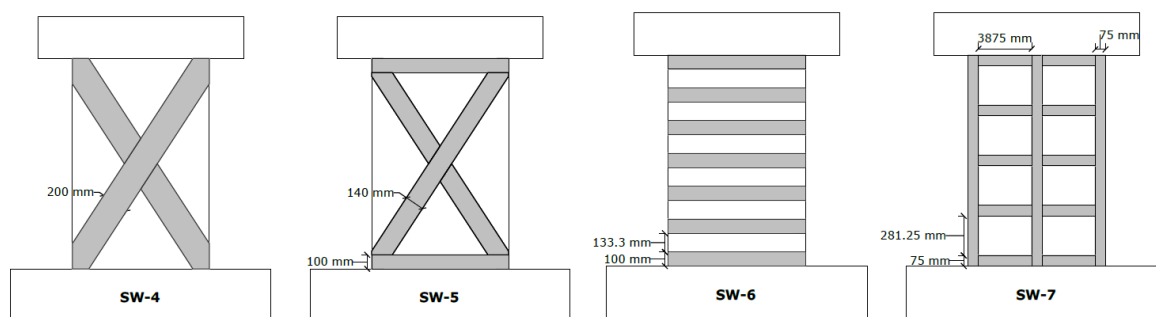
شکل ۷: نحوه ی قرار گرفتن اتصالات CFRP و فاصله ی بین آن ها [۷]

در این بخش برای نشان دادن اثر پیکربندی نوارهای CFRP بر ظرفیت بارگذاری دیوارهای برشی RC تقویت شده CFRP، چهار دیواره برشی RC با همان محل نوارهای CFRP تقویت شده اند اما با تنظیمات مختلف، SW-۴، SW-۵، SW-۶ و SW-۷ مدل شده اند، همانطور که در شکل (۸) نشان داده شده است. این دیوارهای برشی RC در دو مورد مورد بررسی قرار گرفتند، اولین مورد با مقاومت بتن، $F_{cu}=15 \text{ N/mm}^2$ و مورد دیگر با $G_{cr}=900 \text{ J/m}^2$ (انرژی شکست)، $\tau_{max}=1.5 \text{ MPa}$ (تنش برشی ماکزیمم)، $t_w=100 \text{ mm}$ (ضخامت دیوار ها) برای نشان دادن رابط بین بتن و CFRP استفاده شد.

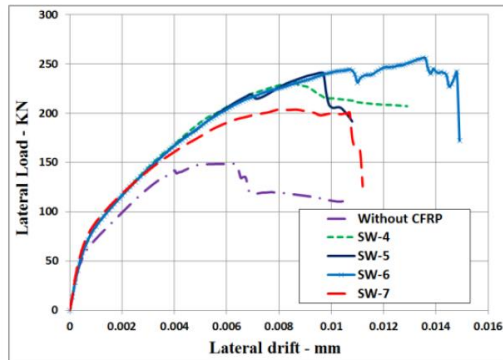
شکل (۸) نشان می دهد هنگامی که حالت گسیختگی دیوار برشی RC ساده، گسیختگی برشی است، بهترین عملکرد برای بهبود استحکام جانبی و انعطاف پذیری دیوارهای برشی RC با نوارهای جانبی SW-۶ بدست می آید. حالت گسیختگی ناشی از دیوار برشی RC با $F_{cu}=40 \text{ N/mm}^2$ خمشی است و شکل (۹) بسته به استفاده از محل مشابه برای ورق CFRP افزایش ظرفیت بار نهایی RC دیوار برش برای نمونه SW-۴، SW-۵، SW-۶ و SW-۷ با نسبتهای به ترتیب ۳۳،۷٪، ۳۴،۱۵٪، ۱۲،۷۷٪ و ۱۶،۶۳٪ نشان می دهد. SW-۵ و SW-۴ رفتار خمشی توسط مولفه عمودی ورق CFRP مورب تقویت می کند.

علاوه بر این برای SW-۵ ورق افقی CFRP به انتهای ورق های مورب CFRP بخاطر چسبندگی بهتر متصل شده اند بهترین عملکرد برای بهبود استحکام برشی جانبی و انعطاف پذیری دیوارهای برشی RC با تقویت با نوارهای متقاطع و ترکیب نوار SW-۵ به دست آمده است. بدترین عملکرد در میان پیکربندی تقویت شده فوق برای رفتار کلی دیوار برشی RC تقویت شده با تقویت نوارهای جانبی SW-۶ است این به این دلیل است که ورق CFRP پایین تر در SW-۶ تنها ترک خمشی به بالای این ورق جایگزین کرده و ورق CFRP عمودی مرزی وجود ندارد. SW-۷ شکست خمشی را با ورق CFRP عمودی مرزی، اما با نسبتاً قسمت کوچکی تقویت کرد.

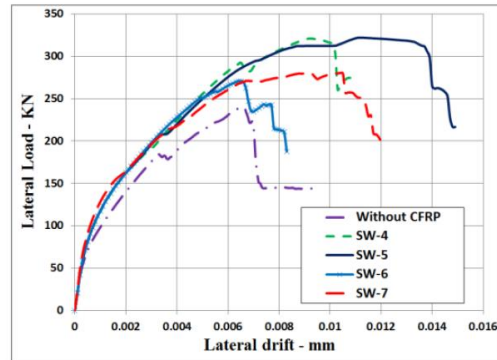
با افزایش عرض ورق های CFRP افقی و مورب به ۲۰۰ میلی متر، رفتار کلی CFRP تقویت کننده دیوار برش RC بهبود یافته است. ظرفیت بار نهایی ۴۱،۴۴٪ از دیوار برشی RC ساده افزایش یافت. همچنین در مورد استفاده از ورق افقی CFRP در بخش پایین تر از دیوار به سمت پایه، قدرت نمونه و ظرفیت تخلیه انرژی به طور قابل ملاحظه ای بهبود یافته است و ظرفیت بار نهایی ۵۹،۱۲ درصد از دیوار برشی RC ساده افزایش یافته است [۷].



شکل ۸: پیکربندی های مختلف از نوارهای CFRP با مساحت برابر [۷]



(a) $F_{cu} = 15 \text{ N/mm}^2$



(b) $F_{cu} = 40 \text{ N/mm}^2$

شکل ۹: بار جانبی-تغییر مکان جانبی برای پیکربندی های مختلف از نوار های CFRP با مساحت برابر [۷]

۶. کاهش استحکام خمشی

این می تواند یک راه حل برای تغییر حالت گسیختگی دیوار از گسیختگی شکننده ی برشی به گسیختگی منعطف خمشی باشد [۹]. این روش را می توان با برش آن بخش از میلگردهای عمودی دیوار که نزدیک به انتهای آن قرار دارند انجام داد. با این حال، دیوار باید ظرفیت خمشی مناسبی برای مقاومت باربری جانبی را دارا باشد.

۷. استفاده از میله های ضخیم برای دیوار های برشی سبک وزن

دیوار های برشی بتن آرمه ی سبک وزن تحت بار محوری زیاد به ویژه اگر عناصر فولادی در ساخت دیوار استفاده شود دچار گسیختگی درون صفحه ای بر اثر شکست صفحات می شود. در این حالت، محدود کردن دیوار راه حلی برای جلوگیری از چنین حالت گسیختگی شکننده است. [۱۰] در این روش، میلگرد های فولادی در کل ضخامت دیوار به صورت صحیحی قرار داده می شوند تا دیوار محدود شود. میلگرد ها می توانند به بتن متصل شوند یا به صورت آزاد رها شوند. آن ها به این نتیجه رسیدند که این تکنیک در ارتقاء عملکرد دیوار و جلوگیری از چنین حالت شکستی موثر بوده است.

۸. نتیجه گیری

چندین تکنیک مقاوم سازی با استفاده از مواد مختلف که برای تعمیر، مقاوم سازی و یا بهسازی دیوارهای برشی بتن آرمه استفاده می شود مورد بحث قرار گرفت و در این مقاله، استفاده از فولاد، بتن و FRP به عنوان مواد مقاوم سازی در روش های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش مقاوم سازی با FRP می توان نتیجه گیری کرد که :

- پیکربندی نوار بر روی رفتار دیوار برشی بتن آرمه مسلح تقویت شده با CFRP موثر بود به طور دقیق تر هنگامی که حالت شکست دیوار برشی بتن آرمه مسلح، برشی است، بهترین عملکرد برای بهبود قدرت جانبی و انعطاف پذیری دیوار برشی مقاوم سازی به صورت SW-۶ است. اما هنگامی که حالت شکستگی خمشی است، بهترین عملکرد با تقویت با نوارهای متقاطع و ترکیب نوارهای جانبی، SW-۵ بدست آمده است.
 - در محل هایی که تنش برشی بتن در آن ها حداکثر است می توان از پیچ های CFRP استفاده کرد که این عمل پس از شناسایی محل های مذکور صورت می پذیرد. با استفاده از دو پیچ در انتهای هر یک از نوارهای مورب CFRP، باعث به تاخیر انداختن جدایش نوارها از سطح بتن و افزایش انعطاف پذیری برای دیوارهای برشی بتن آرمه مسلح می شود.
- طرح های مقاوم سازی با افزایش سختی، استحکام و یا انعطاف پذیری دیوارهای مقاوم سازی شده، باعث افزایش مقاومت لرزه ای دیوارهای برشی بتن آرمه می شوند و می توان نتیجه گیری کرد که انتخاب روش مقاوم سازی بستگی به پیش بینی حالت گسیختگی دیوار، پیامدهای مقاوم سازی دیوار، محدودیت های فیزیکی و بودجه اختصاص یافته برای مقاوم سازی دارد.

۹. فهرست منابع

- [۱] K. Galal and H.-S. El, "Recent Advancements in Retrofit of Rc Shear Walls," *1st World Conf. Earthq. Eng.*, ۲۰۰۸.
- [۲] A. S. E. and R. PINHO, "REPAIR- AND RETROFITTING OF RC WALLS USING SELECTIVE TECHNIQUES," vol. ۲, no. ۴, pp. ۵۲۵-۵۶۸, ۱۹۹۸.
- [۳] H. Sainia, T. C. Panda, and M. Panda, "P Rediction of M Alicious O Bjects in," vol. ۳, no. ۶, pp. ۱۶۱-۱۷۱, ۲۰۱۱.
- [۴] J. Paterson and D. Mitchell, "Seismic retrofit of shear walls with headed bars and carbon fiber wrap," *J. Struct. Eng.*, vol. ۱۲۹, pp. ۶۰۶-۶۱۴, ۲۰۰۳.
- [۵] J. Lombard, D. Lau, and J. Humar, "Seismic strengthening and repair of reinforced concrete shear walls," *Proc., 1st World Conf.*, pp. ۱-۸, ۲۰۰۰.
- [۶] S. Altin, Ö. Anil, Y. Koprman, and M. E. Kara, "Hysteretic behavior of RC shear walls strengthened with CFRP strips," *Compos. Part B Eng.*, vol. ۴۴, no. ۱, ۲۰۱۳.
- [۷] M. A. Sakr, S. R. El-Khoriby, T. M. Khalifa, and M. T. Nagib, "Modeling of RC shear walls strengthened by FRP composites," *Struct. Eng. Mech.*, vol. ۶۱, no. ۳, pp. ۴۰۷-۴۱۷, ۲۰۱۷.
- [۸] S. F. Breña and G. N. McGuirk, "Advances on the Behavior Characterization of FRP-Anchored Carbon Fiber-Reinforced Polymer (CFRP) Sheets Used to Strengthen Concrete Elements," *Int. J. Concr. Struct. Mater.*, vol. ۷, no. ۱, pp. ۳-۱۶, ۲۰۱۳.
- [۹] American Society of Civil Engineers [ASCE], "Seismic Rehabilitation of Existing Buildings," *ASCE /SEI Stand.* ۴۱-۰۶, ۲۰۰۶.

- [۱۰] M. Mosalam, K., Mahin, S. and Rojansky, “Evaluation of Seismic Performance and Retrofit of Lightweight Reinforced Concrete Shear walls,” *ACI Struct. J.*, ۲۰۰۳.