بررسی رفتار دیوار برشی مرکب تقویت شده با CFRP با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی بتن

منصور همتیان
گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، اسلامشهر، ایران
محمدرضا شکاری
استادیار، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد استهبان، استهبان، ایران
Mansour72864@gmail.com
تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۱۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۰۹/۱۴

چکیده:

از انواع دیوار برشی می‌توان به دیوار برشی CSRCW اشاره کرد که متشکل از دو ستون فولادی دارای گل میخ و مدفون شده در بتن مسلح می‌باشد. این پوشش بتنی می‌تواند در تحمل بار و همچنین افزایش سختی سیستم مشارکت داشته باشد. برای اتصال بتن به ستون‌های فولادی در این دیوار از گل میخ‌ها (برشگیرها) استفاده می‌شود که نقش بسیار مهمی را در رفتار این سیستم بر عهده دارند. در این پژوهش باتوجه به کم بودن ضخامت دیوار بتنی سعی بر آن شد تا با استفاده از سیستم CFRP نسبت به افزایش باربری سیستم اقدام شود. CFRP یکی از روش‌های مناسب جهت افزایش مقاومت برشی سازه‌ها می‌باشد که در دهه‌های اخیر مطالعات فراوانی بروی سازه ها شده است. نمونه آزمایشگاهی انتخاب شده برای بررسی عملکرد CFRP در تقویت دیوار برشی توسط D.Dan (۲۰۱۲) آزمایش گردید. پس از صحت‌سنجی در نرم‌افزار المان محدود آباکوس و ارایه نمونه‌های مختلف جهت تقویت با CFRP نسبت به بررسی خروجی‌های نرم‌افزار اقدام می‌شود. تقویت صورت گرفته در نمونه‌ها بدین صورت می‌باشد که نمونه مبنا بدون تقویت CFRP و نمونه A تقویت ضرب دری و نمونه B بصورت K شکل و نمونه C بصورت هم‌پوشانی در گوشه‌ها می‌باشد. از نتایج بدست آمده مشخص گردید نمونه A افزایش باربری در حدود ۲۷/۲ درصد نسبت به نمونه مبنا داشته است.

کلید واژگان: بهسازی لرزه‌ای ، CFRP، دیواربرشی مرکب CSRCW

۱- مقدمه

سازه‌های مرکب که در شاخه مهندسی عمران کاربرد دارند. اغلب از ترکیب کردن بتن و فولاد ساخته می‌شوند. بتن ماده‌ای است که در فشار مقاومت بالایی دارد و نسبت به فولاد هزینه تولید کم‌تری دارد، در مقابل فولاد در کشش، سختی مقاومتی چندین برابر بتن را دارا است لذا ترکیب مناسب این دو ماده می‌تواند سبب اقتصادی‌تر شدن طرح در مقایسه با سیستم‌های رایج فولادی یا بتن‌مسلح گردد. عملکرد بسیار مناسب این دو ماده سبب افزایش روزافزون استفاده از سیستم‌های مرکب گردیده و به تبع آن پژوهش های بسیار وسیعی در مراکز تحقیقاتی روی این سیستم‌ها در حال انجام است. استفاده از سیستم‌های تیر مرکب و سقف مرکب از حدود نیم‌قرن پیش رواج یافته و در دو دهه اخیر استفاده از سیستم‌های باربر جانبی مرکب بسیار مورد توجه طراحان سازه قرار گرفته است. این سیستم‌ها شامل ستون‌های فولادی پر شده از بتن (*CFT*) ستون‌های بتن‌مسلح با مقاطع فولادی دفن شده در بتن (*SRC*) ، بادبندهای مرکب و سیستم‌های مختلفی از دیوار برشی مرکب (*S-RCW*) و دیواربرشی (*C-SPW*) می‌باشند. یکی دیگر از کاربردهای سیستم‌های مرکب که بسیار مورد استفاده طراحان است، در مقاوم‌سازی سازه‌ها است و استفاده از سیستم‌های مرکب در بسیاری موارد کمک شایانی در مقاوم‌سازی سازه‌های موجود داشته است[۵].

۱-۱- معرفی دیوار برشی مرکب

در مهندسی سازه، دیوار برشی دیواری است که از قطعات مهاری (قطعات برشی) ساخته شده و وظیفه خنثی کردن اثر بارهای جانبی وارد شده بر سازه را بر عهده دارد. دیوار برشی برای مقابله با بارهای جانبی متداولی همچون بار باد و بار زلزله طراحی می‌شود. طبق آیین‌نامه‌های ساختمانی، تمام دیوارهای خارجی در سازه‌هایی با اسکلت چوبی و فولادی، باید مهاربندی شوند.[۸]. برخی از دیوارهای داخلی ساختمان نیز با توجه به اندازه ساختمان، باید به شکل مناسبی مهاربندی گردند. دیوار برشی مرکب هم در سازه‌های نوساز و هم برای تقویت سازه‌های موجود در جهان به ویژه کشورهای زلزله‌خیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. علی‌رغم رفتار مناسب و مزایای آن استفاده از دیوار برشی مرکب هنوز به صورت گسترده در جهان رواج نیافته است که دلیل عمده آن عدم وجود تحقیقات کافی در این زمینه می‌باشد . در آئین‌نامه‌های معتبر دنیا، دو نوع دیوار برشی مرکب مطرح شده‌اند که البته هر کدام از این سیستم‌ها می‌توانند جزئیات متفاوتی داشته باشند. این دو نوع دیوار عبارت‌اند از:

۱- دیوار برشی فولادی با دیوار بتنی (*C-SPW*)

۲- دیوار برشی مسلح بتنی با عضوهای مرزی فولادی (*CS-RCW*)

دیوار برشی مرکب مدنظر در این تحقیق از نوع دوم می‌باشد که متشکل است از دو ستون فولادی به عنوان سیستم پایه و اصلی، همراه با دیوارهای مسلح بتنی که از دو طرف، ستون فولادی را محصور کرده‌اند و به‌وسیله اتصالات مکانیکی نظیر گل میخ یا برشگیر به هم متصل شده‌اند. قاب‌های این دیوارها می‌توانند به صورت فولادی یا بتنی باشند. [۷].

استفاده از دیوارهای برشی بتن مسلح در ساختمان‌های بلند مرتبه، ممکن است به علت مقدار زیاد میلگردهای قرار داده شده در قسمت های انتهایی دیوار، محدود شوند، یک جایگزین مناسب برای این مشکل استفاده از دیوارهای برشی کامپوزیتی با پروفیل مدفون (CSRCW) می‌باشد. این نوع دیوارها و سیستم‌های مشابه آن در یک دهه گذشته مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند و دارای مشخصات برجسته‌ای همچون افزایش سختی، مقاومت نهایی، شکل‌پذیری و جذب انرژی بیشتر نسبت به سیستم‌های متداول می‌باشند. دیوارهای برشی کامپوزیتی (CSRCW) دیوارهای بتن مسلح با پروفیل‌های فولادی اضافه شده‌ای‌اند که معمولا در انتهای مقطع عرضی دیوار قرار داده می‌شوند، این نوع دیوارها به ازای نیروهای جانبی زیاد تغییر مکان کمتری از خود نشان می‌دهند و در عین حال دارای شکل‌پذیری بیشتر نسبت به نوع سنتی خود هستند. خصوصیات فوق، استفاده از این نوع دیوارها را در مناطق لرزه خیز تقویت می‌کند.

۱-۲ کامپوزیت‌هایCFRP

به دلیل خصوصیات منحصر به فرد کامپوزیت‌ها CFRP استفاده از آن‌ها به صورت میلگردهای درون سطحی و ورق‌های خارجی برای تقویت سازه‌های بتن آرمه، تبدیل به یکی از متداول‌ترین روش‌های مقاوم‌سازی شده است. درهمین راستا کامپوزیت‌های CFRP از آنجا که بشدت در مقابل خوردگی مقاوم هستند موضوع تحقیقات گسترده‌ای به عنوان یک جانشین مناسب برای فولاد در بتن آرمه شده است. در سه دهه اخیر مطالعات زیادی در زمینه استفاده از پلیمر تقویت‌کننده CFRP برای تقویت و بهسازی سازه انجام شده است.[۲]

۲- تقویت اجزای بتنی با CFRP

عملکرد شکل‌پذیر سازه‌های بتن مسلح تابع میزان مقاومت بخش‌های مختلف آن‌ها بوده و براساس سلسله ظرفیت آن‌ها تعیین می‌شود با افزایش ظرفیت عضوهای که در آن‌ها وقوع رفتار غیر خطی مناسب نمی‌باشد سبب می‌گردد تا خسارت از این اعضا، به اعضاء با رفتار شکل‌پذیر منتقل می‌گردد. محققانی که روی بهسازی لرزه‌ای سازه های بتنی مطالعه می‌کنند دریافتند که شکل‌پذیری ستون‌ها با دورپیچ کردن CFRP به شدت افزایش می‌یابد.که به دلیل محصورشدگی یا جلوگیری از کمانش میله‌های ستون می‌باشد، آزمایشات روی ستون‌های پل نشان دادند که هندسه پوشش ژاکت CFRP می‌توانند به اندازه هندسه ژاکت های فولاد معادل موثر باشند. ضخامت ۰/۴ میلیمتر برای CFRP روی منطقه مرکزی ستون لازم بود تا از شکست برشی ترد آن جلوگیری کند و حلقه‌های پایدار هیسترزیس تولید گردد. شکست اتصالات تیر- ستون مسلح معمولاً در اثر تلاش های داخلی برشی - کششی در ناحیه اتصال رخ می‌دهند. وقوع این خسارت در اتصالات به دلیل ناکافی بودن میلگردهای عرضی و یا شکست میله‌ها می‌باشد. ساده‌تر ین راه برای تقویت یک چنین اتصالاتی چسباننده ورق‌ها یا نوارهای CFRP به ناحیه اتصال می‌باشد. سیستم CFRP در محل اتصال به عنوان عامل تقویت برشی عمل می‌کند. اتصالات بتن مسلح بهسازی شده با CFRP توسط محققان متعددی مورد مطاله قرار گرفته‌اند.[۲]

بررسی رفتار لرزهای دیوارهای برشی مرکب در آزمایشگاه در طول سالهای ۱۹۹۸-۲۰۰۱ دو پروژه تحقیقاتی موازی در ارتباط با دیوار برشی مرکب در دانشگاه برکلی در کالیفرنیا ایالات متحده انجام گرفت که هدف از این دو پروژه، انجام آزمایش چرخه ای یک دیوار برشی مرکب سنتی و یک دیوار جدید و ارائه توصیه‌های نمونه‌سازی و طراحی بود .مطالعات بر روی یک نمونه نوآوری شده از سیستم دیوار برشی مرکب قدیمی صورت پذیرفت که سیستمی با پتانسیل بالا بود واین سیستم جدید نیز خیلی مؤثر و با کارایی بالا در مقابل بارهای جانبی مقاومت می کرد[۲].

در سال ۲۰۱۲ بررسی عملکرد CFRP در تقویت دیوار برشی CSRCW که توسط D.Dan (۲۰۱۲) آزمایش گردید . نشان‌دهنده توانایی احیاء کردن عملکردهای اولیه اجزاء ساختاری تعمیر و بهبود یافته با کامپوزیتهای CFRP بوده برنامه تحقیقاتی تئوریکی و آزمایشگاهی در زمینه رفتار دیوارهای بتنی فولادی کامپوزیت با پروفیل های فولادی در بخش مهندسی راه و ساختمان و دانشگاه پلی تکنیک تیمی لوارا در رومانی انجام گرفت. پنج راهکار احتمالی دیوارهای کامپوزیت و یک راهکار برای یک دیوار بشی بتنی تقویت شده طراحی شده و در آزمایشگاه آزمایش شدند. آزمایشات تحت شرایط فشار عمودی ثابت و بارهای جانبی دوره‌ای انجام شدند. از این نمونه کامپوزیت دو دیوار که قبل از نقص آزمایش شده بودند با کامپوزیت‌های CFRP بهبود یافته و مجدداً آزمایش شدند. از آنجایی که راهکار استفاده از پروفیل‌های فولادی در محدوده دیوارهای برشی نسبتاً جدید است هیچ ادبیات تحقیق تجربی در زمینه راهکار بهبوددهندگی این نوع مولفه‌ها پس از آسیب‌دیدگی وجود ندارد. در این آزمایش ورق‌های CFRP باعث افزایش باربری ۲۰ درصدی نمونه تقویت شده است[۵].

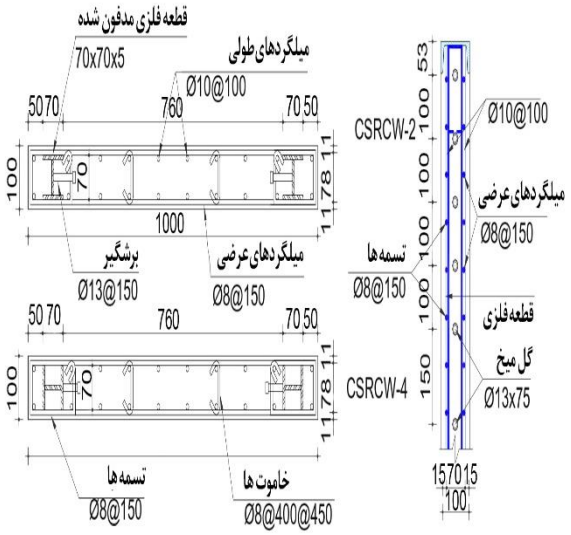
۳-. صحت سنجی

نمونه آزمایشگاهی انتخاب شده برای بررسی عملکرد CFRP در تقویت دیوار برشی CSRCW و صحت مدل‌سازی در نرم‌افزار شامل یک دیوار برشی CSRCW است که توسط D.Dan (۲۰۱۲) آزمایش گردید [۵]. جهت نمونه‌سازی از نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS 2017 [۱۲] استفاده شد. نمونه آزمایشگاهی مورد نظر تحت بارگذاری در بالای دیوار قرار دارد. لازم به ذکر است بتن بکار رفته دارای مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۳۰ Mpa می‌باشد. همچنین فولاد بکار رفته در میلگردهای طولی و خاموت‌ها با ضریب پواسون ۰/۳ می‌باشد و CFRP مورد استفاده دارای مدول الاستیسیته ۲۳۴ Gpa و ضریب پواسون ۰/۳ می‌باشد. در نمونه صحت‌سنجی مقدار جرم حجمی بتن برابر ۲۳۵۰ kg/m^3 ، مدول الاستیسیه و ضریب پواسون بتن به تر تیب برابر ۰/۱۵ و و ۹۸۱ /۲۵ Gpa در نظر گرفته شد. برای تعیین مدول الاستیسیته بتن از رابطه (۱) برگرفته از آیین‌نامه ACI [۳] استفاده شده است.

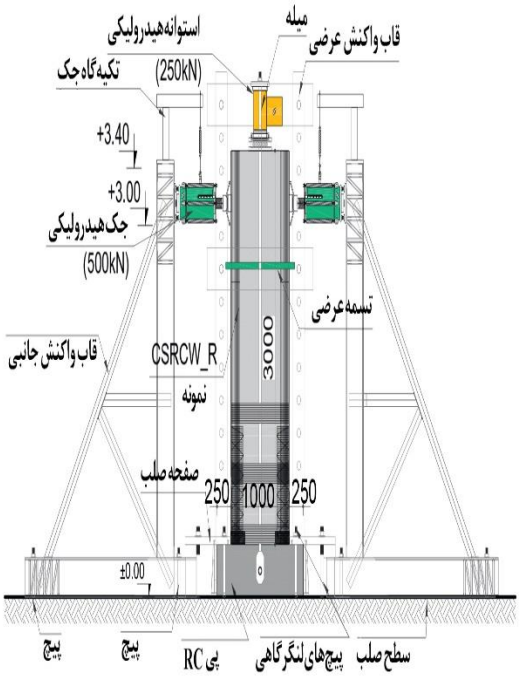
(۱)

$$E\,c = 15000\sqrt{f'c}\left(\frac{kg}{cm2}\right)$$

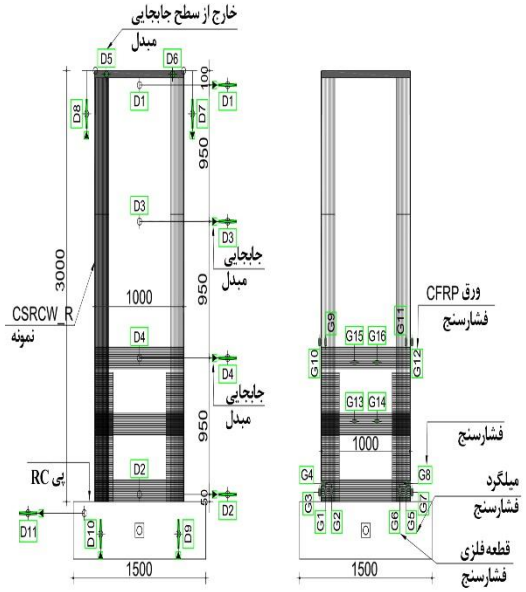
در اشکال (۱ الی۳) نمایی از نمونه و شرایط مرزی و نحوه بارگذاری و آرایش CFRP مورد نظر نشان داده شده است.



شکل۱- جزییات مقاطع [۵]



شکل ۲- جزییات بارگذاری و تکیه‌گاهی نمونه آزمایشگاهی[۵]



شکل ۳- نمایی از نوارهای CFRP مصرفی [۵]

۳-۱-معرفی پارامترهای مورد نیاز برای تعریف ماده‌ی بتن در نرم‌افزار ABAQUS

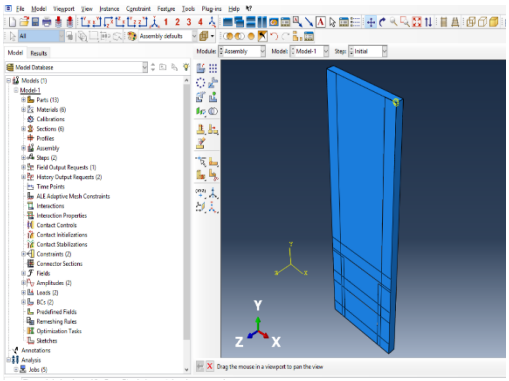
به طور کلی چهار دسته پارامتر برای تعیین رفتار بتن باید به نرم‌افزار ABAQUS معرفی شود. دسته‌ی اول پارامترهای پلاستیسیته هستند. دسته‌ی دوم نمودار تنش –کرنش تک محوره‌ی بتن تحت کشش و فشار است. دسته‌ی سوم پارامترهای معرف کاهش سختی باربرداری یا فاکتورهای آسیب هستند آخرین پارامتری که باید به نرم‌افزار معرفی شود، ویسکوزیتی است. در زیر به طور خلاصه ماهیت این پارامتر و نحوه‌ی تعیین آن توضیح داده می‌شود[۲]

۳-۲ محاسبه نمونه خسارت بتن

با در نظر گرفتن فواصل ۰,۰۰۰۱ برای کرنش و قرار دادن در فرمول (۲) خسارت بتن محاسبه می‌گردد.[۲]

۳-۳ سرهم بندی پارتهای

ممکن است در ماژول Part، بسته به نیاز مسئله ، هندسه‌های متفاوتی ایجاد شده باشد و یا همچنین در ماژول Property هر کدام از این هندسه‌ها ، جنس‌های متفاوتی نیز داشته باشند. ولی هر کدام از این دو ماژول ، قطعات هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند. ما در سومین ماژول موجود در نرم‌افزار ABAQUS آباکوس که ماژول Assemblyنام دارد ، این اجازه به کاربر داده می‌شود تا تمامی قطعات از پیش طراحی شده را وارد یک محیط واحد کرده و موقعیت قرارگیری آن‌ها را نسبت به یکدیگر تایید نماید. با استفاده از ابزارهای موجود در این ماژول می‌توان مجموعه قطعات را جابجا کرده ، نسبت به هم مقید نموده و یا از آن‌ها در راستای خطی یا شعایی تکثیر ایجاد نمود. نکته مهم در این ماژول این است که وجود هرگونه ارتباطی بین قطعات صرفاً از لحاظ مختصاتی می‌باشد و هندسه‌ها یکدیگر را درک نمی‌کنند. گویی که اصلاً با هم ارتباطی ندارند. وظیفه چنین ارتباطاتی برعهده ماژول Interaction است. همان‌گونه که در شکل (۴) مشاهد می‌نمایید وارد کردن حتی یک قطعه نیز در ماژول Assembly ضروری است ، زیرا سایر ماژول‌ها وابسته به محتوای هندسه‌های موجود در این ماژول هستند.



شکل ۴- سرهمبندی قسمت‌های مختلف نمونه

۳-۴ تعریف نوع تحلیل و خروجی‌های مورد نیاز

با توجه به اینکه آزمایش به صورت شبه استاتیکی (quasi-static) می‌باشد تحلیل بصورت static General انجام می‌شود.

۳-۵ تعریف اندر کنش‌ها و قیدهای مربوط

اگر در مسئله خود با تماس بین قطعات، برهمکنش بین اجزا، مقیدسازی درجات آزادی، تعریف رابطها و قیود روبرو هستید بدون شک نیاز به استفاده از ماژول Interaction پیدا خواهید کرد. آباکوس تنها در صورتی تماس بین دو یا چند عضو با یکدیگر را تشخیص می دهد که پیش از آن کاربر در ماژول Interaction به تعریف خواص مکانیکی تماس، قطعات درگیر و سایر ویژگی‌های مورد نظر کرده باشد. همچنین چنانچه قصد دارید به مقیدسازی برخی درجات آزادی در قطعات درگیر در یک تحلیل بپردازید و یا بین دو یا چند نقطه از قیود MPC استفاده کنید، نیاز خواهید داشت تا از امکانات تعبیه شده در این ماژول جذاب بهره ببرید.

در این مقاله دو مورد اندرکنش داریم که اولی مابین ستون‌های مدفون شده و میلگردهای طولی و عرضی و بتن هستند که به صورت Embedded Region تعریف شده‌اند.

اندرکنش دیگر ارتباط بین FRP و دیوار بتنی است که به صورت Tieنمونه شده است.

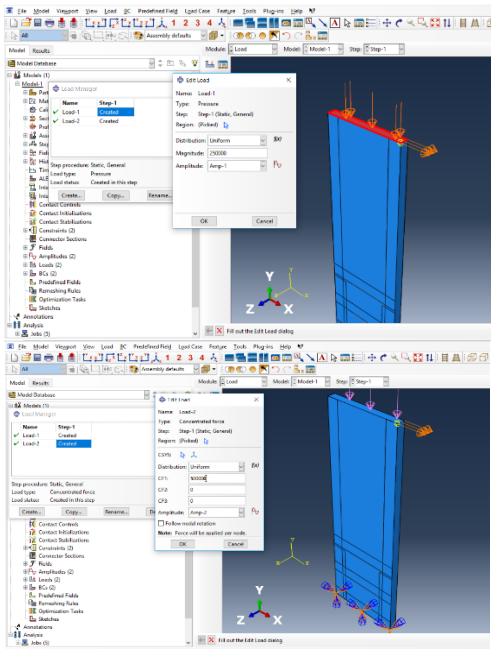
۳-۶ تعریف بارها و شرایط تکیه گاهی

همان‌گونه که در شکل (۵) مشاهد می‌نمایید از ماژول Load در اعمال بارهای خارجی، مکانیکی، حرارتی، صوتی، الکتریکی و همچنین تعریف شرایط مرزی و اولیه حاکم بر مسئله، تعریف میدان

سرعت و جابجایی و غیره... استفاده می‌شود. بعلاوه به کمک ابزارها و امکانات این ماژول قادر خواهید بود به تعریف نحوه اعمال بار، تعریف بارگذاری ترکیبی در آباکوس و تعریف Predefined Field در آباکوس بپردازید.

موارد مورد نیاز در محیط بار به شکل زیر است:

شرط مرزی جابجایی ثابت و از پایین به صورت کاملا صلب می‌باشد. نیرویی از نوع Pressure به صورت ثقلی و ثابت از بالا به سطح رویه دیوار برشی به میزان ۲۵۰ KN وارد می‌گردد. نیرویی دینامیکی به میزان ۵۰۰ KN از کنار به دیوار توسط جک هیدرولیکی وارد می گردد. این نیرو در جهت F1 وارد می‌گردد. دو Amplitude برای هرکدام از بارها که در نهایت موجب اعمال نیرو مشابه Amplitude از نوع Smouth step انتخاب شده است. با توجه به اینکه در آزمایش صورت گرفته توسط D.Dan بارگذاری به صورت سایکلیک می‌باشد و با استناد به Fema351 جهت صحت‌سنجی نمودار سایکلیک می‌توان از نمودار پوش آن استفاده نمود، در این صحت سنجی نمودار پوش نیرو و تغییر مکان مورد ارزیابی قرار گرفته است. پس بارگذاری نیز به صورت خطی به سازه اعمال گردیده است



شکل ۵- نمای از تعریف بارها و شرایط تکیه گاهی

۳-۷ مش‌بندی قسمت‌های مختلف نمونه

یکی از مراحل حساس و اصلی در تحلیل اجزای محدود، گسسته‌سازی نمونه هندسی و تقسیم آن به بخش‌های کوچکتر است. در این محیط المان پوشش بتنی از نوع 3D ss و المان هسته فولادی از نوع Shell انتخاب شده است.

۳-۸ بررسی نتایج تحلیل

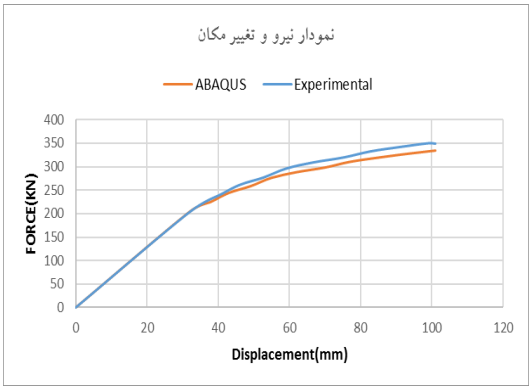
در مقایسه نتایج آنالیز عددی با نتایج تجربی نظیر آن، پارامترهای مختلفی را می‌توان سنجید. اما معمولاً چهار نتیجه مشخص و مهم، معیار سنجش صحت یک تحلیل غیر خطی در مقایسه با کار آزمایشگاهی نظیر آن است. این چهار نتیجه عبارتند از: بار نهایی منحنی، منحنی بار – تغییر مکان، منحنی تغییرات عکس‌العمل تکیه گاهی با بار اعمال شده و نمونه ترک‌خوردگی می‌باشد. در این مطالعه جهت بررسی صحت نتایج آنالیز عددی به بررسی بار نهایی منحنی و منحنی بار و تغییر مکان می‌پردازیم.

۳-۸-۱ بار نهایی منحنی

همان‌گونه که در شکل ۱۳ مشاهده می‌فرمایید بار نهایی در آزمایشگاه ۳۳۴KN بدست آمده است. این بار در تحلیل انجام شده ۳۵۰ KN بدست آمده است. یعنی دقت تحلیل انجام شده در یافتن بار شکست تیر در حدود ۹۴ درصد است.

۳-۸-۲ منحنی بار- تغییر مکان

یکی از وقت‌گیرترین مراحل انجام چنین نمونه‌سازی‌هایی مطابق دادن منحنی بار-تغییر مکان است.هر منحنی بار – تغییر مکان مربوط به یک قطعه بتن آرمه معمولا یک ناحیه خطی دارد که بدست آوردن آن با نرم‌افزار غیر خطی کار چندان دشواری نیست. قطعه دوم این منحنی که معمولاً از شروع ترک‌خوردگی بتن و پس از آن تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی آرماتورها آغاز می‌گردد، کاملا غیرخطی است، و دنبال کردن این قسمت با نرم‌افزار کار بسیار دشواری است [۳] همان‌گونه در شکل (۶) که مشاهده می‌شود، خطای شبیه‌سازی اجزای محدود به طور میانگین ۶ درصد است که رضایت بخش تلقی می‌شود.



شکل ۶- منحنی نیر و تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی و ABAQUS

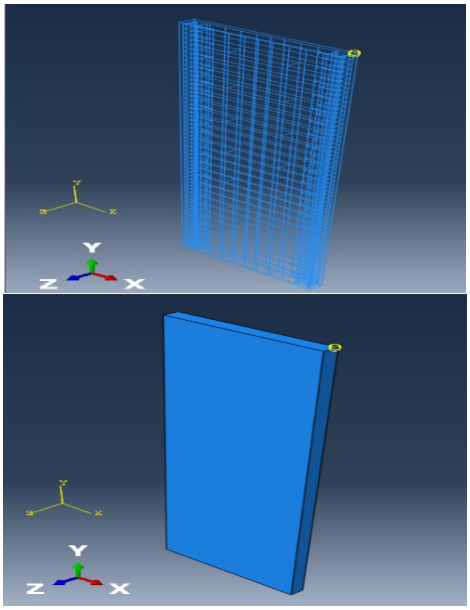
مجموعه نتایج بررسی شده نشان می‌دهد که تحلیل انجام شده از دقت قابل قبولی برخوردار است

۴-معرفی نمونه‌های پیشنهادی

پس از اطمینان از صحت مدل‌سازی در نرم‌افزار و پی بردن به نکاتی که می‌تواند به روند انجام حل و صحت نتایج تحلیل یک دیوار برشی CSRCW یا عضو دیوار برشی CSRCW تقویت شده با CFRP تاثیرگذار باشد، برای رسیدن به اهداف این مقاله لازم است نمونه‌هایی تعریف و با نرم‌افزار تحلیل شوند. ابتدا نمونه مبنا معرفی می‌گردد و سپس ورقه‌های CFRP در حالت‌های مختلفی بر روی اتصالات مبنا در نظر گرفته می‌شوند تا بتوان با حداقل کردن استفاده از CFRP بتوان بیشترین تاثیر را در تقویت دیوار برشی CSRCW را داشته باشیم. در خلال مباحث برای هر نمونه تاثیرات مورد انتظار و عملکرد پیش‌بینی شده دیوار برشی CSRCW تقویت شده نیز بیان خواهد شد.

۴-۱معرفی نمونه مبنا

همان‌گونه که در شکل (۷) مشاهده می‌نمایید دیوار برشی مرکب بدون تقویت CFRP می‌باشد که همان نمونه مبنای ما می‌باشد. در ادامه نمونه‌های تقویت شده توسط CFRP معرفی خواهد شد.



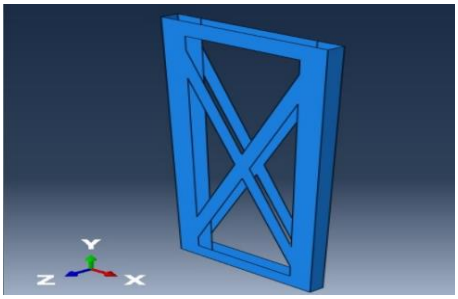
شکل۷-نمایی از نمونه مبنا

۴-۲ معرفی نمونه‌های پیشنهادی

در این تحقیق دو نمونه دیوار برشی مرکب با مقیاس کامل در وضعیت مختلف آرایش CFRP جهت بررسی تأثیر و بهینه‌سازی آن در مقاومت کلی دیوار برشی مرکب استفاده شده است. بدین منظور پس از نمونه‌سازی این دیوارها در نرم‌افزار ABAQUS، این نمونه‌ها تحت بارگذاری استاتیکی افزاینده غیرخطی قرار می‌گیرند. در تحلیل گزینه‌های مربوط به رفتار غیرخطی مصالح تعریف‌شده و گزینه‌های مربوط به تحلیل غیرخطی فعال می‌گردد.

۴-۲ -۱ نمونه A تقویت بصورت ضربدری

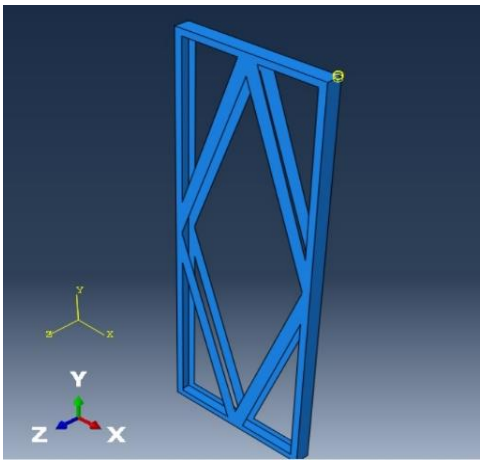
همان‌گونه که در شکل (۸) نشان داده شده است، در این نمونه از تقویت ضربدری CFRP استفاده شده است. طول ناحیه تقویت شده در دیوار به صورت قطری با عرض ۳۰ سانتی متر می باشدمی‌باشد.



شکل ۸-نمایی از نمونه A

۴-۲-۲ نمونه B تقویت بصورت K شکل

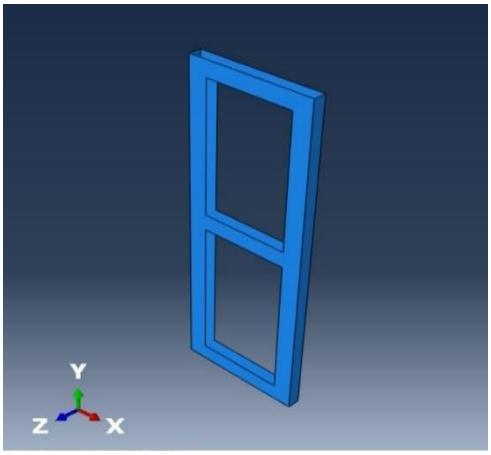
همان‌گونه که در شکل (۹) نشان داده شده است، در این نمونه از تقویت K شکل CFRP استفاده شده است. طول ناحیه تقویت شده در دیوار به صورت قطری با عرض ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد.



شکل ۹-نمایی از نمونه B

۴-۲-۳ نمونه C تقویت بصورت نواری

همان‌گونه که در شکل (۱۰) نشان داده شده است، در این نمونه از تقویت نواری شکل CFRP استفاده شده است. طول ناحیه تقویت شده در دیوار به صورت نواری با عرض ۳۰ سانتی متر می‌باشد.



Cشکل ۱۰: نمایی از نمونه

۴-۳جنس مواد

همان‌گونه که در چدول ۱ و ۲ مشاهده می‌نمایید مشخصات مصالح مصرفی در نمونه‌ها معرفی شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های ماده‌ای فولاد

نوع		قطر میلگرد/یا ضخامت صفحه (mm)	$f_y(N/mm^2)$	$f_u(N/mm^2)$	$E_s(N/mm^2)$
میلگردفولادی	d۸-۱	۸	۴۸۳	۶۱۶	۲/۰۹×۱۰^۵
میلگردفولادی	d۸-۲	۸	۴۸۴	۶۱۶	۲/۰۵×۱۰^۵
میلگردفولادی	d۸-۳	۸	۴۷۱	۶۱۷	۲/۰۱×۱۰^۵
میلگردفولادی	d۱۰-۱	۱۰	۵۲۶	۶۲۶	۲/۱۰×۱۰^۵
میلگردفولادی	d۱۰-۲	۱۰	۵۵۹	۶۲۴	۲/۱۵×۱۰^۵
میلگردفولادی	d۱۰-۳	۱۰	۵۵۸	۶۱۶	۲/۰۹×۱۰^۵
فولاد I شکل	s۰-۱	۷	۳۲۸	۵۱۲	۲/۰۰×۱۰^۵
فولاد I شکل	s۰-۲	۷	۳۲۴	۵۱۳	۲/۰۱×۱۰^۵
فولاد I شکل	s۰-۳	۷	۳۳۱	۵۲۱	۲/۰۵×۱۰^۵

جدول۳- ویژگی‌های هندسی و مکانیکی سیستم CFRP

مولفه سیستم	نوار بافت CF	ماتریس رزین	صفحه CFRP
نام محصول	SikaWrap 230C	SikaDur-330	SikaWrap composite
ضخامت (mm)	۰/۱۳۱	n/a	۱
وزن مساحتی (g/m^2)	۲۳۰	n/a	n/a
قدرت کششی (MPa)	۴۳۰۰	۳۰	۳۵۰
قدر مطلق کششی (GPa)	۲۳۴	۵/۴	۲۵
کشیدگی در محل شکستگی (٪)	۱/۸	۰/۹	۱/۱۲

ضریب پواسون فولاد و بتن نیز به ترتیب برابر ۰/۳ و ۰/۲ در نظر گرفته شده است. برای مصالح فولادی نیز شیبی معادل ۲ درصد مدول ارتجاعی برای سخت‌شوندگی کرنشی در نظر گرفته شده است. میلگردها نیز به صورت حجمی و بر مبنای حداقل میلگرد مجاز (۰/۰۰۲۵) قرار داده‌شده‌اند. لازم به ذکر است که تمام پانل‌ها در این نمونه‌های با مقیاس کامل، دارای عرض ۴ متر و ارتفاع ۳ متر می‌باشند.

۴-۴ بارگذاری و شرایط مرزی

موارد مورد نیاز در محیط بار به شکل زیر است:

- شرط مرزی جابجایی ثابت و از پایین به صورت کاملاً صلب می‌باشد.
- نیرویی از نوع Pressure به صورت ثقلی و ثابت از بالا به سطح رویه دیوار برشی به میزان ۲۵۰ KN وارد می‌گردد.
- نیرویی دینامیکی به میزان ۵۰۰KN از کنار به دیوار توسط جک هیدرولیکی وارد می‌گردد. این نیرو در جهت F1 وارد می گردد.
- دو Amplitude برای هرکدام از بارها که در نهایت موجب اعمال نیرو مشابه Amplitude از نوع Smouth Step انتخاب شده است.
- بارگذاری نیز به صورت خطی به سازه اعمال گردیده است.

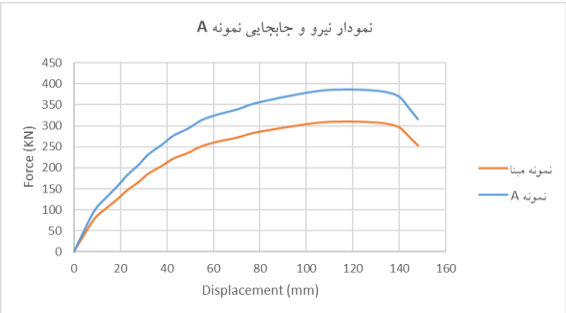
۴-۴-۱ مش بندی

انواع المان‌های قسمت‌های مختلف با توجه به عملکرد اجزاء انتخاب گردید. برای نمونه‌سازی بتن و فولاد و CFRP به ترتیب C3D8R (المان پیوسته سه بعدی ۸ نقطه ای با انتگرال کاهش یافته) T3D2 (المان خرپایی ۳ بعدی ۲ نقطه‌ای) M3D4R (المان پیوسته ۳ بعدی ۴ نقطه‌ای با انتگرال کاهش یافته) استفاده شده است.[۳]

۴-۵ نتایج نمونه‌ها

۴-۵-۱ مقایسه نمونه مبنا با نمونه A نمودار بار افزون (منحنی نیرو – تغییر مکان)

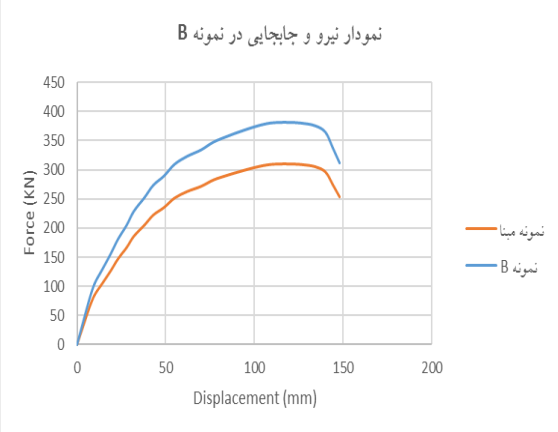
همان‌گونه که در شکل (۱۱) مشاهده می‌نمایید نمودار نیرو – تغییر مکان برای نمونه مبنا و A با توجه به خروجی‌های نرم‌افزار ارائه شده است. حداکثر نیروی برشی قابل تحمل در نمونه مبنا ۳۰۸ KN و در نمونهA ۳۹۲ KNمی‌باشد که در حدود ۲۷/۲ در صد نسبت به نمونه مبنا افزایش داشته است.



شکل ۱۱- نمودار نیرو- تغییرمکان نمونه مبنا ونمونه A

۴-۵-۲ مقایسه نمونه مبنا با نمونه B نمودار بار افزون (منحنی نیرو – تغییر مکان)

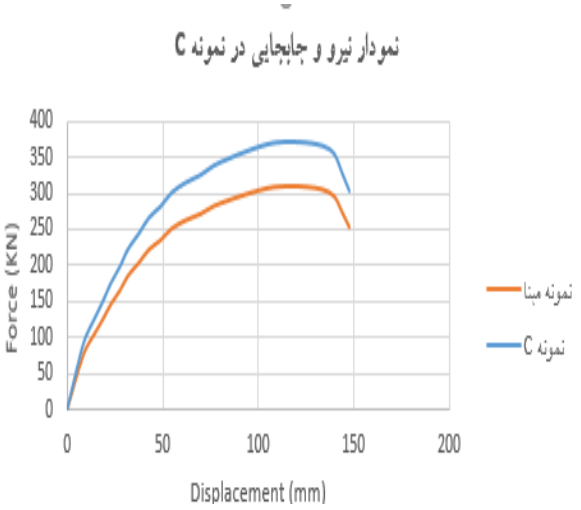
همان‌گونه که در شکل (۱۲) مشاهده می‌نمایید نمودار نیرو – تغییر مکان برای نمونه مبنا و شده است. حداکثر نیروی برشی قابل تحمل درنمونه مبنا ۳۰۸ KN و در نمونه B ۳۸۸ KNمی‌باشد که در حدود ۲۶ در صد نسبت به نمونه مبنا افزایش داشته است.



شکل ۱۲- نمودار نیرو- تغییرمکان نمونه مبنا ونمونهB

۴-۵-۳ مقایسه نمونه مبنا با نمونه C نمودار بار افزون (منحنی نیرو – تغییر مکان)

همان‌گونه که در شکل (۱۳) مشاهده می‌نمایید نمودار نیرو – تغییر مکان برای نمونه مبنا و نمونه C با توجه به خروجی‌های نرم‌افزار ارائه شده است. حداکثر نیروی برشی قابل تحمل در نمونه مبنا ۳۰۸ KN و در نمونه C ۳۷۱ KN می‌باشد که در حدود ۲۰/۵ در صد نسبت به نمونه مبنا افزایش داشته است.



شکل ۱۳ – نمودار نیرو–جابجایی نمونه C

۴-۶ بررسی نتایج

همان‌گونه که در جدول شماره ۴ مشاهده می‌نمایید با بررسی خروجی‌های بدست آمده برای هر یک از نمونه‌ها نتایج زیر قابل محاسبه می‌باشند.

۱- حداکثر نیروی برشی قابل تحمل برای اتصال

۲- نسبت نیروی برشی اتصال تقویت شده به اتصال مبنا

۳- مساحت CFRP مصرفی

۴- مساحت زیرسازی لازم برای نصب CFRP

۵- جمع مساحت CFRP و زیرسازی

۶- نسبت CFRP مصرفی اتصال تقویت شده به اتصال همپوشانی شده کامل

۷- کرنش پلاستیک بیشینه اصلی

۸- کرنش حداکثر میلگرد طولی اتصال

۹- تنش حداکثر ایجاد شده در CFRP

حال به تفسیر نتایج می‌پردازیم

همان‌طور که انتظار می‌رفت حداکثر نیروی قابل تحمل در نمونه A به وجود آمده است.

جدول ۴- نتایج بدست آمده از تحلیل نمونه‌ها

نام نمونه	حداکثر نیروی برشی (KN)	نسبت نیروی برشی نمونه تقویت شده به نمونه مبنا	مساحت CFRP مصرفی متر مربع	کرنش پلاستیک بیشینه اصلی	کرنش حداکثر میلگرد	تنش حداکثر ایجاد شده در CFRP (Gpa)
مبنا	۳۰۸	۱	–	۰/۰۰۵۱۷۶	۰/۰۱۰۲	-
A	۳۹۲	۱/۲۴	۲/۴۰۷۵	۰/۰۰۸۴۲۴	۰/۰۰۸	۰/۹
B	۳۸۸	۱/۲۳	۱/۶۶۵	۰/۰۰۸۱۹۱	۰/۰۰۸	۰/۸۵
C	۳۶۳/۸	۱/۱۸	۱/۶۴۶۶۵	۰/۰۰۸۵۶۱	۰/۰۰۸۳	۰/۸۶۶

۵-نتیجه‌گیری

۱.جهت کاهش هزینه‌های بهسازی و کم کردن مصرف CFRP با توجه به نمونه‌های مورد تحلیل، توصیه می‌شود CFRP های که خارج از قطر اصلی می‌باشند حذف گردند که با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته، مناسب‌ترین آرایش، آرایش نمونه A می‌باشد.

۲.با افزایش ورق CFRP در هر گروه که موجب افزایش ۱/۳ برابر مجموع زیرسازی و CFRP می‌گردد در نمونه B نسبت به C حدود ۶/۶ ٪ افزایش مقاومت مشاهده گردید و در نمونه A نسبت به B حدود ۲ ٪ افزایش مقاومت مشاهده گردید.

۳. تمامی نمونه‌ها دارای رفتار مشابهی نسبت به یکدیگر می‌باشند، به گونه‌ای که افزایش مقاومت نهایی و تغییرمکان غیر ارتجاعی دارند. بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که رفتار نمونه‌های مستقل از آرایش برشگیرها است.

۴. نکته مشترک در بین نمونه‌ها، ثابت ماندن سختی اولیه در آرایش‌های مختلف CFRP است. این مسئله با توجه به حرکت نسبی کم بین بتن و فولاد در مرحله ارتجاعی و در نتیجه کاهش اثر برشگیرها از نظر فاصله و ضخامت منطقی است.

۵. استفاده از آرایش ضرب دری سبب افزایش باربری ۲۱/۵ درصدی نمونه A نسبت به نمونه مبنا شده است.

۶ استفاده همزمان برش‌گیر و ورق CFRP باعث افزایش باربری قابل توجه در نمونه‌ها شده است.

دیوار برشی یکی از سیستم‌های مناسب برای افزایش مقاومت باربری جانبی می‌باشد. از انواع دیوار برشی می‌توان به دیوار برشی CSRCW اشاره کرد که متشکل از دو ستون فولادی دارای گل میخ و مدفون شده در بتن مسلح می‌باشد. این پوشش بتنی می‌تواند در تحمل بار و همچنین افزایش سختی سیستم مشارکت داشته باشد. برای اتصال بتن به ستون‌های فولادی در این دیوار از گل میخ‌ها (برشگیرها) استفاده می‌شود که نقش بسیار مهمی را در رفتار این سیستم بر عهده دارند. در این پژوهش باتوجه به کم بودن ضخامت دیوار بتنی سعی بر آن شد تا با استفاده از سیستم CFRP نسبت به افزایش باربری سیستم اقدام شود. CFRP یکی از روش‌های مناسب جهت افزایش مقاومت برشی سازه‌ها می‌باشد که در دهه‌های اخیر مطالعات فراوانی بروی سازه‌ها شده است اما در خصوص دیواربرشی CSRCW مطالعات اندکی صورت گرفته است. در این تحقیق یک قاب ۱*۳ مورد بررسی قرارگرفته است. که شامل دیوار بتنی به ضخامت ۰/۱ متر و ۲ عدد ستون فولادی ۷۰*۷۰ میلیمتر مدفون شده و برشگیرهای به فاصله ۰/۱۵ متر از هم بر روی وجه داخلی ستون و میلگردهای طولی وعرضی به شماره ۱۰ و ۸ و CFRP که بصورت همپوشانی در گوشه‌ها استفاده شده است. پس از صحت‌سنجی در نرم افزار المان محدود آباکوس و ارایه نمونه‌های مختلف جهت تقویت با CFRP نسبت به بررسی خروجی‌های نرم‌افزار اقدام می‌شود. تقویت صورت گرفته در نمونه‌ها بدین‌صورت می‌باشد که نمونه مبنا بدون تقویت CFRP و نمونه A تقویت ضرب دری و نمونه B بصورت K شکل و نمونه C بصورت هم‌پوشانی در گوشه‌ها می‌باشد. از نتایج بدست آمده مشخص گردید نمونه A افزایش باربری در حدود ۲۷/۲ درصد نسبت به نمونه مبنا داشته است.

مراجع

۱- نشریه شماره ۳۴۵(۱۳۸۵) سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور فصل دوازده دستورالعمل و راهنمای بهسازی سازه‌های بتنی با کامپوزیت.FRP

۲-شکرزاده محمدرضا و عظیمی‌نژاد آرمین وسروقد مقدم عبداله‌رضا بررسی عملکرد چرخه‌ای اتصالات بتنی تقویت شده با نوارهای ضربدری FRP آنالیز سازه-زلزله دوره ۱۲ شماره ۴ زمستان ۱۳۹۴ صفحه ۲۹-۴۰

۳-شکرزاده محمدرضا و عظیمی‌نژاد آرمین وسروقد مقدم عبداله‌رضا نمونه‌سازی عددی اتصالات بتنی تقویت شده با نوارهای FRP در نرم افزار ABAQUS چهارمین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی در مهندسی عمران زمستان ۱۳۹۵

4- Nanni A.,Jawaheri Zadeh H.,2014,"Reinforced Concrete with FRP Bars", by Taylor & Francis Group, an Informa business.,vol.1, no. 1, pp. 23-30.

5-D.Dan Experimental tests on seismically damaged composite steel concrete wallsretrofitted with CFRP composites Engineering Structures 45 (2012) 338–348

6-Shrestha R, Smith S T and samali B. ,2009, "Strengthening RC beam–column connections with FRP strips". Proceedings of the ICE, vol. 162, no. 5, pp. 323-334

7-Astaneh-Asl,A.,۲۰۰۲5-. Seismic Behavior and Design of Composite steel plate Shear Walls, steel TIPS Report, Structural steel Educational Council,Moraga ,CA

8- Li B, Lim CL. Tests on seismically damaged reinforced concrete structural wallsrepaired using fiber – reinforced polymers. J Compos Construct2010;14:597–608.

9-Antoniades KK, Salonikios TN, Kappos AJ. Evaluation of hysteretic response andstrength of repaired R/C walls strengthened with FRPs. Eng Struct2007;29:2158–71.

10-Antoniades KK, Salonikios TN, Kappos AJ. Tests on seismically damagedreinforced concrete walls repaired and strengthened using fiber reinforcedpolymers. J Compos Construct 2005;9:236–46.

Investigating the Behavior of Composite Shear Walls with CFRF Reinforcement Based on Nonlinear Behavior of Concrete

Mansour Hemmatian
Islamic azad university, Eslamshahr branch, Eslamshahr, Iran
Mohammadreza Shekari
Assistant professor, Department of civil engineering, Islamic azad university, Estahban, Iran

Abstract:

One kind of shear wall system is CSRCW which consists of two steel columns with stud and the column which is buried in reinforced concrete. This concrete cover can contribute to both load bearing and stiffness increasing. Studs are used to connect concrete to steel columns which have a very significant role in this regard. This research attempted to use the CFRP system in order to increase the load of the system. CFRP as a suitable method for increasing strength of structures has been the focus of research in recent decades. In 2012, D. Dan investigated the function of CFRP in reinforcing shear wall. After verifying the Abaqus software, the outlet will also be examined to reinforce CFRP. As such, the base model without FRP reinforcement and strengthening model A are crossed X shape and model B are crossed K shape and model C just overlaps at the corners. The results showed an increase in the load of about 18% compared to the Model A which is the base model.

Keywords: Abaqus CFRP, CSRCW composite shear walls CSRCW