

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛
شبکه های توجه گرافی
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از
وب آو ساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی

بررسی رفتار لرزه‌ای دیوارهای برشی بتن مسلح دارای بازشو تقویت شده با پوشش‌های FRP

سید مهدی میربد، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)؛ Mirbod_Mehdi@yahoo.com
کیاچهر بهفرنیا، دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان؛ Kia@cc.iut.ac.ir

چکیده

خاص خود همچون سختی، مقاومت و شکل‌پذیری بالا بتواند وظیفه اصلی باربری جانبی در برابر نیروهای زلزله را به عهده بگیرد بیش از پیش مشخص گردید. این عضو دیوار برشی بتن مسلح بود که با قرار دادن آن در محل مناسب، یک سیستم مقاوم در برابر زلزله قوی و مطمئن در سازه ایجاد می‌شد [۲]. در این میان با توجه به وجود مسائل متعددی چون سازه‌های با قدمت بالا، فرسودگی مصالح، نقصان کیفیت در زمان اجرا، تغییر کاربری‌ها، و عدم پاسخگویی نیازهای طراحی آیین نامه‌های جدید، مبحث نوینی در مهندسی عمران با عنوان بهسازی لرزه‌ای و مقاوم سازی سازه‌ها شکل گرفت. بدیهی است که مقاوم سازی سازه‌ها و بهسازی لرزه‌ای شامل دامنه وسیعی از سازه‌ها است که هر سازه فراخور کاربری، دقت محاسبه و کیفیت اجرا و یا انتظارات جدید از آن سازه خاص، به میزان مشخصی از بهسازی لرزه‌ای و یا مقاوم سازی نیاز دارد. از روش‌هایی چون افزایش ابعاد مقاطع، ژاکت‌های فولادی یا بتنی و استفاده از مهاربندهای برون محور به عنوان نسل اول شیوه‌های مقاوم سازی استفاده شده است [۳]. استفاده از مهاربندهای کمانش ناپذیر، میراگرهای جرمی، میراگرهای ویسکوز و استفاده از پلیمرهای مسلح به الیاف FRP به عنوان نسل نوین مصالح و شیوه‌های بهسازی لرزه‌ای در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه بوده است [۴]. استفاده از پوشش‌های FRP در سازه‌ها، خصوصاً سازه‌های بتن آرمه به علت خصوصیات منحصر به فرد آن‌ها شاید یکی از بهترین گزینه‌های مقاوم سازی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌های بتن مسلح باشند.

دیوارهای برشی بتن آرمه اعضایی هستند که بعلافت سختی زیاد، ظرفیت باربری بالا و قابلیت شکل‌پذیری فراوان به عنوان عضو اصلی باربر جانبی در برابر بارهای زلزله طراحی و ساخته می‌شوند. در اثر گذشت زمان و تغییر آیین‌نامه‌های طراحی، عدم اجرای صحیح، عدم حصول به مقاومت‌های مورد نظر در بتن و یا ایجاد تغییراتی پیش‌بینی نشده در هندسه دیوار مانند ایجاد بازشو، برخی دیوارهای برشی موجود معیارهای طراحی آیین‌نامه‌های جدید را برآورده نمی‌کنند. در این موارد بدیهی است که تقویت، بهسازی لرزه‌ای و مقاوم سازی این دیوارها جزو دغدغه‌های طراحان می‌باشد. در سال‌های اخیر استفاده از کامپوزیت‌های FRP بعلافت خصوصیات منحصر به فرد آنها جهت بهسازی و یا مقاوم سازی در سازه‌ها خصوصاً سازه‌های ساختمانی رایج شده است. در این مقاله اثر استفاده از ورق‌های CFRP در بهبود رفتار لرزه‌ای دیوارهای برشی بتن آرمه با بازشو و بدون بازشو به روش اجزاء محدود غیر خطی مورد بررسی قرار گرفته است. جهت مدل‌سازی عددی از نرم‌افزار ABAQUS استفاده شده است و در این ارتباط ابتدا مدل اجزاء محدود پیشنهادی با مدل‌های آزمایشگاهی مورد مقایسه و تأیید قرار گرفته است و سپس تعدادی مدل‌های عددی مورد مطالعه پارامتری قرار گرفته است. نتایج حاصله نشانگر افزایش چشمگیری در ظرفیت باربری و شکل‌پذیری دیوارهای برشی بتن مسلح با استفاده از الیاف FRP به منظور بهسازی لرزه‌ای است.

کلمات کلیدی: دیوار برشی، FRP، بهسازی، مقاوم سازی، بازشو

مقدمه

بررسی رفتار دیوارهای برشی بتن مسلح در زلزله‌های اخیر در زلزله کرایست چرچ نیوزلند دیوارهای برشی بتن مسلح سازه‌هایی که در دهه ۱۹۷۰ و قبل از آن ساخته شده بود، دارای بتن با مقاومت فشاری پایین و مستعد شکست‌های برشی و مود کمانش فشاری بود. با توجه به اینکه در این دیوارها دتایل‌های آرماتورگذاری جهت تأمین شکل‌پذیری در مناطق بحرانی دیوار قرار داده نشده بود (شکل ۱)، خردشدگی بتن در قسمت‌های انحراف مرزی و کمانش آرماتورها، شکست منطقه تحت فشار، کوتاه بودن مسیر انتقال بار و اتصال معیوب بین دیافراگم و دیوار به عنوان علل عمده شکست و آسیب گزارش شده است [۵]. در زلزله شیلی ۲۷ فوریه ۲۰۱۰ مطابق گزارش مؤسسه تحقیقات مهندسی زلزله (EERI) آسیب به نواحی انحراف مرزی شامل کمانش میلگرد، شکست میلگرد، خردشدگی بتن و کمانش کلی دیوار، تمرکز آسیب در عقب نشینی دیوارها، گسترش آسیب دیوار به طبقات زیرین، آثار وجود پیچش به علت پلان ساختمان، اندرکنش دیوار با دال‌ها، تیرها و تیرهای پیوند، اندرکنش پله‌ها با سیستم‌های بار برجانبی، شکست برشی بتن دیوار و پایه‌های دیوار (پایرها)، شکست دیوار به علت بازشوهای نامنظم و اندرکنش خاک و سازه جزو شایع‌ترین علل آسیب دیوارهای برشی بتن مسلح بوده است. زلزله ترکیه در ۲۳ اکتبر ۲۰۱۱ نیز تخریب‌های مشابهی را در بر داشته است.

از زمانی که به ساخت یک سازه به دید تخصصی و حرفه‌ای مهندسی نگریسته شد، پارامترهای متعددی در انتخاب نوع سازه تأثیرگذار بود. از این دست می‌توان به اقتصاد ساخت و ساز و صرفه اقتصادی با توجه به نیازهای ساخت، در دسترس بودن مصالح، تطابق مصالح با ملاحظات معماری و سازه‌ای، مقاومت در برابر آسیب‌های ممکن مانند: آتش سوزی و سیل، پایداری و استحکام در برابر حرکات ایجاد شده در سازه به سبب باد یا زلزله، نیاز به نگهداری کم و قابلیت استفاده طولانی مدت اشاره کرد. پارامترهای فوق، انتخاب یک سازه بتن آرمه را به عنوان بهترین گزینه در بین سازه‌های چوبی، مصالح بنایی و حتی سازه‌های فلزی معرفی می‌کند [۱]. از میان عوامل فوق عاملی که سبب ایجاد خرابی‌های شدید و حتی تلفات جانی زیاد می‌شد، زلزله بود. هر چند ممکن است زلزله در طول عمر یک سازه به ندرت اتفاق بیفتد ولی به علت نامشخص بودن ماهیت و رفتار آن زلزله خاص، آثار مخرب آن به حدی زیاد بوده و هست که توجه محققین و طراحان را به خود معطوف کرده و مبحث جدیدی در طراحی هر نوع سازه‌ای ایجاد شده که همانا مبحث طراحی لرزه‌ای است. پس از مطرح شدن مباحث طرح لرزه‌ای و مشخص شدن ضعف سازه‌های بتنی با قاب ساختمانی تنها، اهمیت طراحی و اجرای عضو که با مشخصات هندسی و خصوصیات سازه‌ای

¹ Earthquake Engineering Research Institute

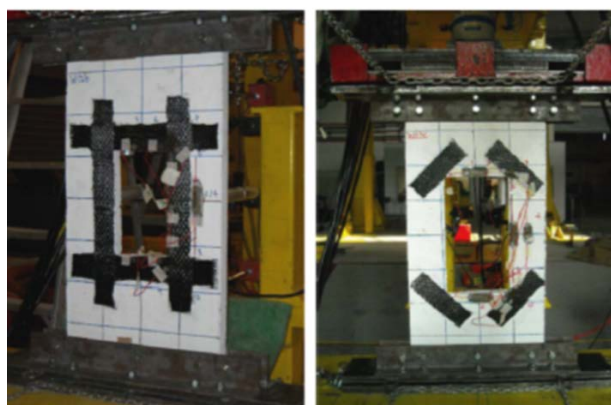
تحقیقات انجام شده در بهسازی لرزه‌ای دیوارهای برش بتن مسلح با FRP با توجه به مزایای بسیار زیاد و متعدد مصالح FRP در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها از جمله مدول الاستیسیته بسیار بالا به نسبت فولاد، مقاومت کششی بسیار زیاد در راستای طولی الیاف، وزن بسیار کم، دوام بالا و قابلیت اجرای ساده به هنگام استفاده از سازه و نیز قابلیت استفاده در تیر، ستون و دیوار برشی باعث استفاده گسترده از این مصالح به اشکال گوناگون و با استفاده از جنس الیاف متفاوت در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها شده است. از جمله تحقیقات صورت گرفته روی اعضای سازه‌های بتن آرمه می‌توان به آزمایشات گسترده چن و تنگ [۱۲]، عبدالله و همکاران [۱۳]، و بهفرنیا و کلوشانی [۱۴] اشاره کرد. یکی از معایب بسیار مهم استفاده از مصالح FRP وقوع پدیده جداسازی است. بزرگ‌ترین مشکل این است که هنوز روش‌های دقیقی برای جلوگیری از جداسازی به علل مختلف آن، توسعه نیافته است [۱۵]. چن و تنگ با توجه به دو مود محتمل پارگی FRP و جداسازی آن در برش، نحوه قرارگیری خاصی را برای FRP به صورت مورب و در جهت ترک‌های برشی، به جهت جلوگیری از جداسازی پیشنهاد داده‌اند [۱۶]. تحقیقات دیگری نیز توسط اوهرلز و سراسینو [۱۷] و رزینوم و ریزیکالا در خصوص جداسازی در اثر ترک‌های میانی در تیرهای تقویت شده با FRP ارائه شده است [۱۸]. مستوفی نژاد و محمودآبادی مطالعه آزمایشگاهی بر روی این پدیده در تیرها و ستون‌ها انجام داده‌اند [۱۹]. تعبیه بازشو در دیوار به طور واضحی بر مشخصات دیوار همچون مکانیزم انتقال بار، کاهش مقاومت و سختی و کاهش سطح شکل‌پذیری تأثیر می‌گذارد. در این زمینه لمبارد و همکاران با چسباندن ورق‌های CFRP در دو طرف دیوار ارتقاء مقاومت خمشی دیوار را بررسی کرده‌اند [۲۰]. لی و همکاران به بررسی رفتار دیوارهای برشی آسیب دیده در زلزله، تقویت شده با نوارها و ورق‌های FRP پرداخته‌اند [۲۱]. جلال و ال سکاری روی میز لرزان، رفتار دیوار برشی تقویت شده با الیاف FRP را مطالعه کرده‌اند [۲۲]. محمد و همکاران نیز در ۴ دسته ۴ تایی به بررسی رفتار دیوار با بازشو پرداخته و دو الگوی تقویت با FRP را در اطراف بازشو مورد بررسی قرار داده‌اند [۲۳]. از مطالعه آزمایشگاهی بررسی رفتار چرخه‌ای دیوارهای برشی بتن مسلح تقویت شده با الیاف CFRP توسط آلتین و همکاران [۲۴] و مقاوم سازی دیوارهای برشی دارای بازشو با FRP توسط بهفرنیا و سیاح به عنوان تحقیقات آزمایشگاهی و عددی اخیر در این زمینه می‌توان نام برد [۲۵].



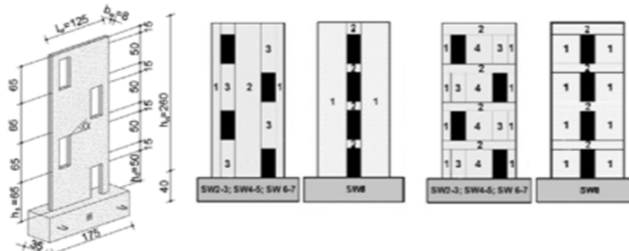
شکل ۱: ساختمان هفت طبقه ساخته شده با دیوار برشی بتن مسلح در دهه ۱۹۶۰ با آسیب دیدگی مشخص در تیر کوبله [۵].

بررسی تحقیقات عددی و آزمایشگاهی

از زمانی که دیوار برشی به عنوان عضو اصلی باربر جانبی در سازه‌ها خصوصاً سازه‌های بتن مسلح بکار رفت، تحقیقات گسترده و منسجمی در خصوص آشنایی با رفتار آن‌ها انجام گرفت. تحقیقات صاحب و دسای (۱۹۹۰) در روی ۱۲ مدل دارای بازشو جزو اولین مقالات راجع به پیش‌بینی بار نهایی شکست و رفتار این‌گونه دیوارها در تحقیقات آزمایشگاهی بود [۶]. ریوا و همکاران نیز به بررسی مودهای شکست در دیوارهای برشی بتن مسلح پرداخته‌اند [۷]. در تحقیقات سو و ونگ نیز رفتار لرزه‌ای دیوارهای برشی بتن مسلح لاغر با نسبت بار محوری بالا مورد بررسی قرار گرفته است [۸]. در تحقیقات جلال و ال سکاری با توجه به احتمال‌های وقوع زلزله (۲، ۱۰ و ۵۰ درصد در ۵۰ سال) آسیب‌دیدگی بر اساس تغییر مکان هر طبقه (۰/۲، ۰/۵، ۱/۵، ۲/۵٪ دریف در سطوح عملکرد) در نظر گرفته و سپس به بررسی مودهای شکست در دیوارهای برشی پرداخته شده است [۳]. تحقیقات مشابهی توسط سانچز و آلكوسر بروی دیوارهای برشی چاق که در معرض نیروی زلزله قرار می‌گیرند انجام شده است [۹]. کاریلو و آلكوسر در یک تست آزمایشگاهی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی بتن مسلح بکار رفته در سازه‌های مسکونی را روی میز لرزان مورد بررسی قرار داده‌اند. در این آزمایش تغییر مکان و ظرفیت مقاومت برشی و همچنین رفتار لرزه‌ای ۶ دیوار برشی بتن مسلح آزمایش شده است [۱۰]. در خصوص نحوه قرارگیری بازشوها و تأثیر آن بر رفتار دیوارهای برشی بتن مسلح و مودهای شکست تحقیقات آزمایشگاهی توسط موسوارکا انجام گرفته است [۱۱].



شکل ۳: نحوه اجرای پوشش‌های CFRP در اطراف بازشو [۲۳]



شکل ۲: اندازه و محل بازشو [۱۱]

مدل سازی رفتار غیر خطی و کنترل صحت مدل ها

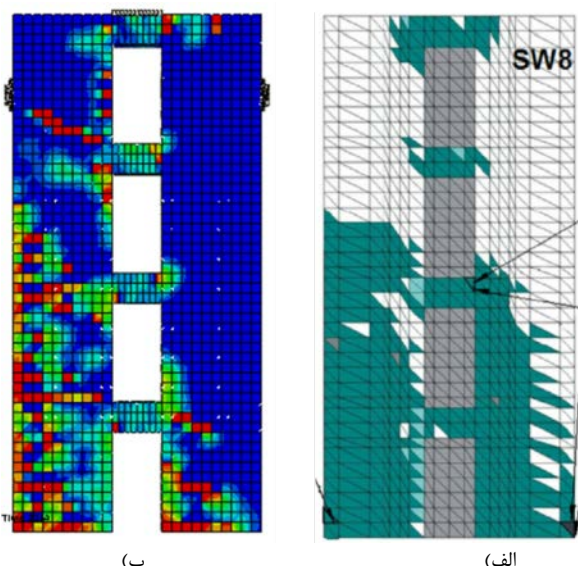
جهت انجام این تحقیق از نرم افزار اجزا محدود غیر خطی ABAQUS برای مدل سازی استفاده می شود. با استفاده از مدل پلاستیسیته خسارت بتن که یکی از کامل ترین مدل ها جهت شبیه سازی رفتار بتن در بارگذاری چرخه ای است و با در نظر گرفتن منحنی هاگنستاد اصلاح شده برای تعریف رفتار بتن تحت تنش های تک محوره فشاری مورد استفاده قرار گرفته است. مدول الاستیسیته بتن مطابق ACI318 برابر فرمول زیر تعیین شده است:

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

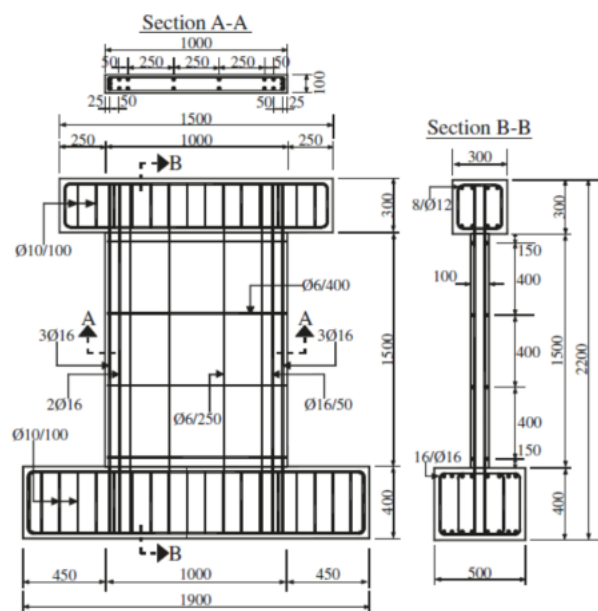
فرمول ۱:

در فرمول فوق E_c و f'_c برحسب مگاپاسکال می باشند.

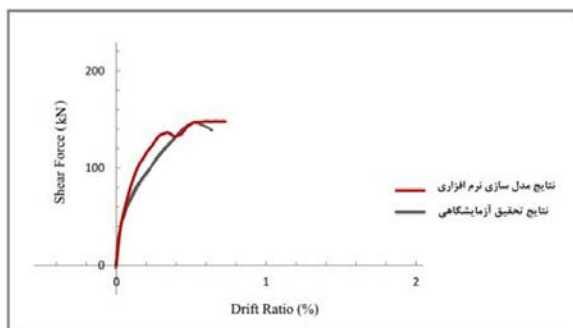
برای کنترل صحت مدل سازی عددی از نمونه های ساخته شده آزمایشگاهی در تحقیقات موسوارکا [۱۱] و آلتین و همکاران [۲۴] استفاده شده است. انتخاب دیوار آزمایش شده در تحقیقات موسوارکا به علت صحت سنجی در مدل سازی دیوار به سبب کنترل رفتار شکست دیوار دارای باز شو بوده و انتخاب مدل ساخته شده ای از نمونه های تحقیق آلتین و همکاران نیز به سبب کنترل و تأیید شیوه مدل سازی در یک دیوار برشی بدون باز شو به همراه نوارهای FRP است. مدل انتخاب شده از نمونه های آزمایشگاهی در تحقیقات موسوارکا، دیوار SW8 است. علت این انتخاب شباهت اجرایی بیشتر به نسبت بقیه نمونه ها با دیوارهای ساخته شده در ساختمان های موجود و ضمناً رفتار خاص باز شوهای روی سر هم به نسبت باز شوهای زیگزاگ است. در این آزمایش میزان نیروی افقی در حد شکست در مقابل جابجایی نقطه فوقانی عدد ۷۱ کیلو نیوتن گزارش شده که در مدل سازی عددی این عدد ۷۹ کیلو نیوتن گزارش شده است. این امر در نمودار شکل ۴ در مقایسه با منحنی پوش ارائه شده در مقاله آمده است. ضمناً الگوی ترک خوردگی حاصل از نرم افزار با الگوی ترک خوردگی و کاهش سختی ارائه شده در مقاله در شکل ۵ مقایسه شده، که نتایج نشان دهنده شباهت بسیار زیاد این دو الگو است. در قسمت دوم صحت سنجی به بررسی دو مدل، یکی دیوار بدون باز شو و دیگری یکی از نمونه های تقویت شده با FRP در تحقیقات آزمایشگاهی آلتین و همکاران پرداخته شده است. در مدل سازی دیوار بدون تقویت، نمودار نیروی برشی نسبت به دررفت بدست آمده از نتایج مدل سازی عددی دیوار بدون باز شو با نتایج ارائه شده در تحقیق به صورت زیر مقایسه شده است. بار نهایی در مدل سازی عددی ۱۵۲ کیلو نیوتن بدست آمده که در تحقیق آزمایشگاهی عدد ۱۴۹ کیلو نیوتن درج شده است.



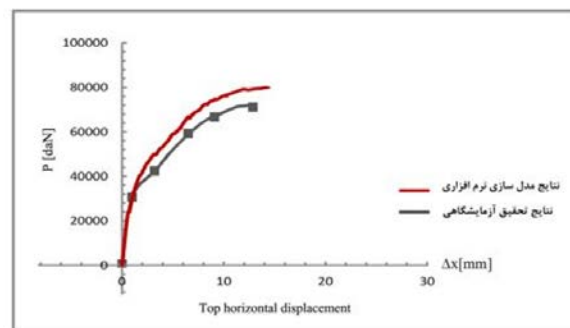
شکل ۵: (الف) مقایسه شماتیک الگوی ترک خوردگی حاصل از تحقیق آزمایشگاهی و (ب) نتیجه مدل سازی عددی



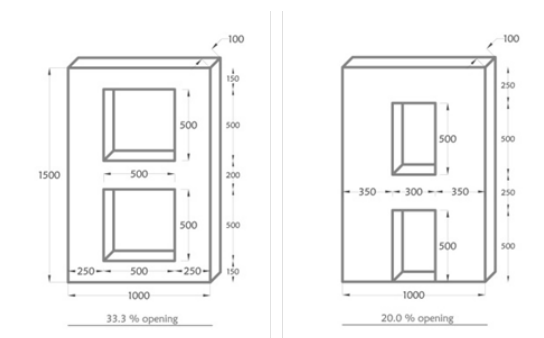
شکل ۶: آرماتورگذاری در نمونه آزمایش شده توسط آلتین و همکاران و فواصل آن



شکل ۷: نمودار مقایسه نمودار نیروی برشی- نسبت دررفت بدست آمده از نمونه آزمایشگاهی با نتایج مدل عددی



شکل ۸: نمودار مقایسه نیروی شکست در نمونه آزمایشگاهی با نتیجه مدل عددی



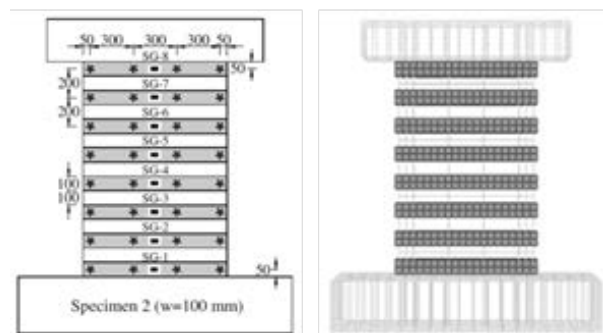
شکل ۱۰: حالات متفاوت ایجاد بازشو در دیوار مرجع

جدول ۱: مقادیر کاهش ظرفیت باربری جانبی در اثر ایجاد بازشو

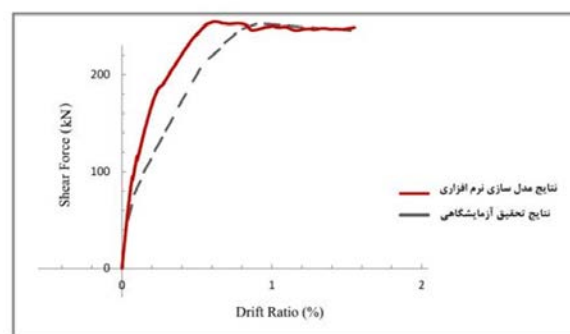
نام دیوار (بدون تقویت)	درصد سطح بازشو به سطح کل دیوار	تعداد بازشو	مقاومت نهایی (KN) دیوار	نسبت دررفت معادل نیروی نهایی (درصد)	درصد کاهش ظرفیت به علت ایجاد بازشو
نمونه کنترل	۰	۰	۱۴۸,۰۳۳	۰,۶	-
تک ۳۰۰×۳۰۰	۶	۱	۱۱۳,۴۰۶	۰,۹۰	٪۲۳
دوای ۳۰۰×۳۰۰	۱۲	۲	۹۸,۹۰۶	۰,۹۹	٪۳۳,۲
تک ۵۰۰×۵۰۰	۱۶,۶۷	۱	۶۱,۷۵۷	۰,۷۸	٪۵۸,۳
دوای ۵۰۰×۵۰۰	۳۳,۳۳	۲	۴۸,۸۱۹	۰,۶۸	٪۷۷
دوای ۵۰۰×۳۰۰	۲۰	۲	۶۱,۷۵۷	۰,۷۷	٪۵۸

در مرحله بعد جهت بررسی تأثیر استفاده از الیاف CFRP در افزایش مقاومت جانبی از دست رفته مدل‌های فوق و بازیابی ظرفیت باربری جانبی با توجه به هندسه دیوار و با استفاده از الیاف یکسویه CFRP با مشخصات داده شده در تحقیقات آلتین و همکاران، اقدام به بهسازی لرزه‌ای هر دیوار به صورت جداگانه و در مجموع ۱۷ مدل تقویت شده است. نمونه بدون بازشو با الیاف CFRP به صورت چپ به راست و بطور کامل، نمونه دارای بازشوی ۳۰۰×۳۰۰ در یک طبقه را در سه حالت، با نوارهایی به عرض یک سوم عرض بازشو یعنی ۱۰۰ میلی‌متر یک بار بصورت تک لایه در اطراف بازشو، دو لایه در اطراف بازشو و به صورت یک لایه بطور کامل از چپ به راست تقویت شده است. نمونه دارای بازشوی ۳۰۰×۳۰۰ در دو طبقه با همان رویکرد در ۴ حالت تقویت، تقویت تک لایه با نوارهای ۱۰۰ میلی‌متری یکسویه و تقویت یک جهته در تیر کوبله، تقویت دو لایه و تقویت یک جهته در تیر کوبله، تقویت تک لایه و تقویت دو جهته در تیر کوبله، تقویت تک لایه کامل در دو طرف دیوار، مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل‌های تقویت در دیوار دارای بازشوی ۵۰۰×۵۰۰ یک طبقه به صورت تقویت تک لایه با نوارهای ۱۵۰ میلی‌متری، تقویت دو لایه با نوارهای ۱۵۰ میلی‌متری، و تقویت تک لایه کامل با جهت عرضی الیاف می‌باشد. مدل‌های تقویت در دیوار دارای بازشوی ۵۰۰×۵۰۰ دو طبقه دارای حالات تقویت تک لایه کامل عرضی و تقویت تک لایه کامل و تقویت تک لایه دو جهته در تیرهای کوبله است. مدل‌های تقویت در دیوار دارای بازشوی ۳۰۰×۵۰۰ دو طبقه دارای تقویت تک لایه با نوارهای ۱۰۰ میلی‌متری و CFRP و تقویت تک لایه یک جهته در تیرهای کوبله، تقویت دو لایه و تقویت دو لایه یک جهته در تیرهای کوبله، تقویت تک لایه و تقویت تک لایه دو جهته در تیرهای کوبله و تقویت تک لایه کامل عرضی است. نتایج

سپس با انتخاب مدل دوم از حالات تقویت (تقویت با نوارهای ۱۰۰ میلی‌متری با فاصله مرکز به مرکز ۲۰۰ میلی‌متر) به بررسی و مدل‌سازی تقویت انجام شده با الیاف CFRP پرداخته شده است. نتیجه به دست آمده از مدل‌سازی عددی انجام شده بار نهایی جانبی را ۲۵۴ کیلو نیوتن نشان داده که این عدد در تحقیق آزمایشگاهی حاضر ۲۴۹ کیلو نیوتن بدست آمده است. با توجه به اختلاف ۲ درصدی بین نتایج آزمایشگاهی و نتیجه حاصل از تحلیل عددی اختلاف بدست آمده مورد قبول واقع شده و قابل صرف‌نظر است.



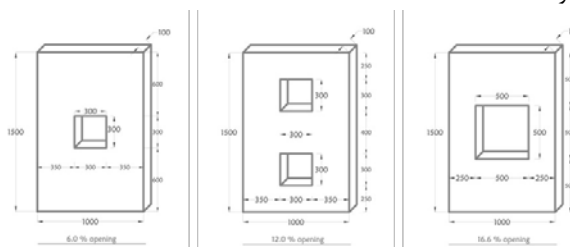
شکل ۸: نحوه مدل‌سازی CFRP مدل ارائه شده در آزمایش با مدل‌سازی عددی



شکل ۹: نمودار مقایسه نتایج نمونه آزمایشگاهی با نتایج مدل عددی

مطالعه پارامتریک

در ادامه جهت بررسی تأثیر ایجاد بازشو در میزان کاهش باربری جانبی با استفاده از نمونه بدون بازشوی تحقیقات آلتین و همکاران مطابق شکل ۱۰، ۵ حالت بازشو در دیوار ایجاد شده و سپس با بررسی‌های عددی میزان کاهش ظرفیت باربری جانبی در آنها بررسی گردیده است. همانگونه که در جدول ۱ نشان داده شده است میزان کاهش ظرفیت باربری جانبی مدل‌های ارائه شده بین ۲۳٪ در مدل دارای بازشوی ۳۰۰×۳۰۰ میلی‌متر تک تا ۶۷٪ در نمونه دارای دو بازشوی ۵۰۰×۵۰۰ میلی‌متر به نسبت نمونه بدون بازشو است.



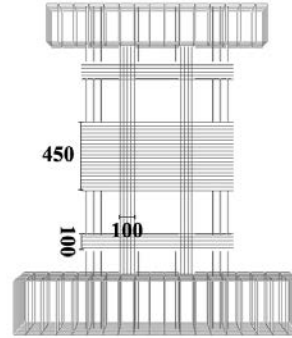
جدول ۲: جمع بندی مقایسه مقادیر افزایش ظرفیت در اثر تقویت در تمام نمونه ها

نام دیوار	مقاومت نهایی دیوار تقویت نشده (kN)	مقاومت نهایی دیوار تقویت شده (kN)	نسبت دریافت معادل نیروی نهایی دیوار تقویت شده (درصد)	درصد افزایش ظرفیت نسبت به حالت تقویت نشده	درصد افزایش ظرفیت
نمونه کنترل	۱۴۸,۰۳۳	-	-	-	-
نمونه کنترل دارای تقویت	-	۲۵۰,۷۵	۰,۹۷	٪۶۹	-
۳۰۰×۳۰۰ تک بدون تقویت	۱۱۳,۴۰۶	-	-	-	-
با تقویت تک لایه	-	۱۸۸,۳۰۴	۰,۸۷	٪۶۶	٪۲۷,۲
با تقویت دو لایه	-	۲۰۳,۳۹۴	۰,۹۹	٪۷۹	٪۳۷,۳
Fully Wrapped	-	۲۲۱,۰۶۵	۰,۹۹	٪۹۵	٪۴۹,۳
۳۰۰×۳۰۰ دویل بدون تقویت	۹۸,۹۰۱۶	-	-	-	-
با تقویت تک لایه	-	۱۵۰,۷۶۲	۰,۹۸	٪۵۲	٪۱,۸
با تقویت دو لایه	-	۱۶۵,۰۶۶	۰,۹۹	٪۶۷	٪۱۱,۵
با تقویت تک لایه و تقویت دو جهته در تیر پیوند	-	۱۵۵,۸۱۹	۰,۹۱	٪۵۷	٪۵,۲
Fully Wrapped	-	۱۷۹,۴۶۱	۰,۹۹	٪۸۱	٪۲۱,۲
۵۰۰×۵۰۰ تک بدون تقویت	۶۱,۷۵۷۷	-	-	-	-
با تقویت تک لایه	-	۱۲۹,۳۲۴	۰,۹۹	٪۱۰۹	-٪۱۲,۶
با تقویت دو لایه	-	۱۴۷,۶۶۱	۱,۹۹	٪۱۳۹	-٪۰,۲
Fully Wrapped	-	۱۵۷,۸۲۹	۱,۹۸	٪۱۵۵	٪۶,۶
۵۰۰×۵۰۰ دویل بدون تقویت	۴۸,۸۱۹	-	-	-	-
Fully Wrapped	-	۸۵,۸۸۶۴	۰,۹۶	٪۷۶	-٪۴۱,۹
تقویت کامل تک لایه و تقویت دو جهته در تیر پیوند	-	۸۸,۳۷۷۲	۰,۹۶	٪۸۱	-٪۴۰,۳
۵۰۰×۳۰۰ دویل بدون تقویت	۶۱,۷۵۷	-	-	-	-
تقویت تک لایه	-	۱۱۷,۸۵۳	۰,۷۹	٪۹۱	-٪۲۰,۴
تقویت دو لایه	-	۱۲۳,۳۶۶	۰,۷۹	٪۱۰۰	-٪۱۶,۶
تقویت تک لایه و تقویت دو جهته در تیر پیوند	-	۱۲۳,۴۱	۰,۹۰	٪۹۹	-٪۱۶,۶
Fully Wrapped	-	۱۳۷,۳۱۲	۰,۹۹	٪۱۲۲	-٪۷

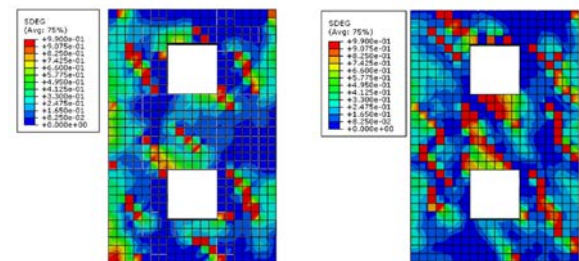
نتایج بدست آمده :

(۱) ایجاد بازشو در دیوار با تغییر الگوی مسیر انتقال بار و حرکت نیرو از محل اعمال آن به تکیه‌گاه بر ظرفیت باربری و استهلاک انرژی دیوار در جهت کاهش پارامترهای گفته شده تأثیر چشمگیری دارد.

عددی حاصل از تقویت‌های فوق ، عددی بین ۵۲٪ در نمونه دارای بازشوی ۳۰۰×۳۰۰ در دو طبقه با تقویت تک لایه یکسویه تا ۱۵۵٪ افزایش در دیوار دارای بازشوی ۵۰۰×۵۰۰ یک طبقه با تقویت کامل در ظرفیت باربری جانبی را بدون در نظر گرفتن اثر جداسدگی، مطابق جدول ۲ نشان داده است. به عنوان نمونه ، مدل دارای بازشوی ۳۰۰×۳۰۰ در دو طبقه با نوارهای تقویتی تک لایه و تقویت یک جهته در تیر کوپله و اثر تقویت بر الگوی کاهش سختی و ترک خوردگی در شکل ۱۱ نمایش داده شده است .



(الف)

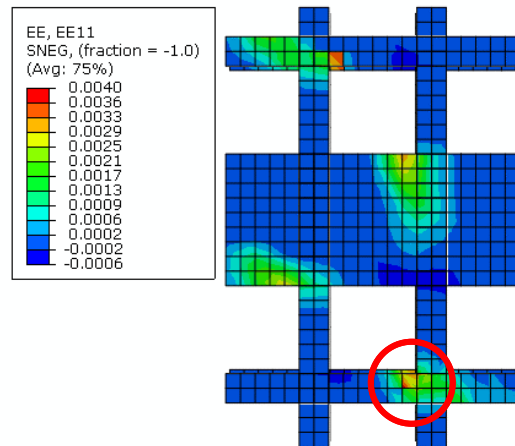


(ج)

(ب)

شکل ۱۱: (الف) نمونه دارای بازشوی ۳۰۰×۳۰۰ در دو طبقه با نوارهای تقویتی تک لایه و تقویت یک جهته در تیر کوپله (ب) الگوی کاهش سختی در نمونه تقویت نشده (ج) الگوی کاهش سختی در نمونه تقویت شده

بررسی پدیده جداسدگی بر روی نمونه‌ها و محاسبه کرنش معادل جداسدگی با فرمول‌های ارائه شده در ACI440-2R-08 نشان می‌دهد که منظور نمودن این پدیده افزایش مقاومت را به اعداد ۸٪ تا ۶۳٪ محدود می‌نماید زیرا قبل از اینکه بتوان از حداکثر ظرفیت کششی نوارهای CFRP استفاده کرد از بتن جدا می‌شوند. به عنوان نمونه پدیده جداسدگی در مدل قبلی در شکل زیر نشان داده شده است [۲۶].



شکل ۱۲: جداسدگی در نمونه ۳۰۰×۳۰۰ دو طبقه در حالت تقویت تک لایه در لحظه جداسدگی

- [9] Sánchez-Alejandre A and Alcocer S. 2010. Shear strength of squat reinforced concrete walls subjected to earthquake loading - trends and models. *Journal of Engineering Structures*, 32: 2466-2476.
- [10] Carrillo J and Alcocer S. 2012. Seismic performance of concrete walls for housing subjected to shaking table excitations. *Journal of Engineering Structures*, 41: 98-107.
- [11] Mosoarca M. 2013. Failure analysis of RC shear walls with staggered openings under seismic loads. *Journal of Engineering Failure Analysis*.
- [12] Chen J and Teng J. 2003. Shear capacity of FRP-strengthened RC beams: FRP debonding.
- [13] Abdalla H, Torkey A, Haggag H and Abu-Amira A. 2003. Design against cracking at openings in reinforced concrete beams strengthened with composite sheets. *Journal of Composite Structures*, 60:197-204.
- ۱۴- کلوشانی ع، بهفرنیا ک. ۱۳۸۵. تقویت تیر بتن آرمه دارای بازشو در جان با ورق های FRP. هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران
- [15] Bank L. 2006. Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials. First published, New Jersey and Canada: John Wiley & Sons, 551 p.
- [16] Chen J and Teng J. 2003. Shear capacity of FRP-strengthened RC beams: FRP debonding. *Journal of Construction and Building Materials*, 17: 27-41.
- [17] Oehlers D and Seracino R. 2004. Design of FRP and Steel Plated RC Structures. First published, London: ELSEVIER Ltd., 228 p.
- [18] Rosenboom O and Rizkalla S. 2008. Experimental study of intermediate crack debonding in fiber-reinforced polymer strengthened beams. *ACI Structural Journal* 2008; 105-S05: 41-50.
- [19] Mostofinejad D, Mahmoudabadi E. 2010. Grooving as alternative method of surface preparation to postpone debonding of FRP laminates in concrete beams. *Journal of Composites for Construction*, 14: 804-811.
- [20] Lombard J, Lau D, Humar J, Foo S and Cheung M. 2000. 12th world conference of earthquake engineering. Seismic strengthening and repair of reinforced concrete shear walls.
- [21] Li B, Qian K, and Tran C. 2013. Retrofitting earthquake-damaged RC structural walls with openings by externally bonded FRP strips and sheets. *Journal of Composites for Construction*, 16: 259-270.
- [22] El-Sokkary H, Galal K, Ghorbanirehani I, Léger P and Tremblay R. 2013. Shake table tests on FRP-Rehabilitated RC shear walls. *Journal of Composites for Construction*, 17: 79-90.
- [23] Mohammed B, Ean L and Malek M. 2013. One way RC wall panels with openings strengthened with CFRP. *Journal of Construction and Building Materials*, 40: 575-583.
- [24] Altin S, Anil Ö, Koprman Y and Kara M. 2013. Hysteretic behavior of RC shear walls strengthened with CFRP strips. *Journal of Composites: Part B*, 44: 321-329.
- [25] Behfarnia k and Sayah A.R. 2012. FRP strengthening of shear walls with openings. *Asian Journal of Civil Engineering (building and housing): VOL. 13, NO. 5: 691-704.*
- [26] ACI Committee 440. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. ACI 440.2R-08, American Concrete Institute: Farmington Hills, MI; 2008

۲) شکل و محل بازشو نه تنها در ظرفیت باربری جانبی بلکه در نحوه ایجاد ترک در دیوار نیز تأثیر داشته و شرایط تقویت و بهسازی لرزه‌ای را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

۳) با توجه به ابعاد دیوار بدون بازشو (۱۵۰۰×۱۰۰۰ میلی‌متر) در حالتی که مساحت بازشو ۶٪ سطح دیوار باشد (بازشوی تکی ۳۰۰×۳۰۰ میلی‌متر) درصد کاهش باربری ۲۳٪ و در حالتی که مساحت بازشو ۳۳٪ سطح بازشو باشد (بازشوی دو طبقه ۵۰۰×۵۰۰ میلی‌متر) ۶۷٪ درصد کاهش در باربری جانبی رخ خواهد داد.

۴) با توجه به هندسه هر دیوار و شرایط آرماتورگذاری الگوهای ایجاد و گسترش ترک متفاوت خواهد بود. تقویت باید بر اساس آن الگوها و در محل‌های مورد نیاز انجام شود. یکی از نواحی بسیار مهم در تقویت فضای بین دو بازشو در تراز ارتفاعی خصوصاً تیرهای کوبله هستند که حتماً نیاز به تقویت، خصوصاً تقویت برشی دارند و هر چه این فضا کمتر باشد (بازشوها بزرگ‌تر باشد) تقویت بیشتر و قوی‌تری مورد نیاز است.

۵) به علت احتمال زیاد وقوع پدیده جدشدگی (Debonding) لزوماً استفاده از تعداد لایه‌های بیشتر در تقویت، نمی‌تواند کارساز باشد. به عبارتی دیگر هر چه تعداد لایه‌های پوشش‌های CFRP اضافه شود نمی‌توان نتیجه گرفت که باربری جانبی افزایش یافته است.

۶) در این تحقیق استفاده از پوشش‌های CFRP در صورت کنترل پدیده جدشدگی و استفاده از ظرفیت نهایی ورق‌های تقویتی، بهبودی معادل ۵۲٪ تا ۱۵۵٪ روی بازیابی خصوصیات دیوار ضعیف شده به علت ایجاد بازشو داشته است. در حالتی که اثر پدیده جدشدگی نیز لحاظ شود در دیوارهای با ابعاد بازشوی متفاوت ظرفیت باربری دیوار تنها از ۸٪ تا ۶۳٪ افزایش را نشان خواهد داد.

منابع و مراجع :

- [1] CWight J and Macgregor J. 2012. Reinforced Concrete Mechanics and Design. 6th edn, New Jersey: Pearson Education, 1157 p.
- [2] Paulay T and Paulay M. 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. First published, New Jersey and Canada: John Wiley & Sons, 744 p.
- [3] Galal K, and El-Sokkary H. 2008. Recent advancements in retrofit of RC shear walls. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 12-17.
- [4] Federal Emergency Management Agency (FEMA). 2006. Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. FEMA 547, FEMA, Washington, D.C Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Italy: Faculty of Engineering Department of Civil Engineering of the University of Florence ; 2010.
- [5] Weng K, Pampanin S and Elwood K. 2011. Seismic performance of reinforced concrete buildings in the 22 February christchurch (Lyttelton) earthquake. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 44:239-278.
- [6] Saheb M and Desayi P. 1990. Ultimate strength of RC wall panels with openings.
- [7] Riva P, Meda A and Giuriani E. 2004. Experimental test on a full scale repaired R.C. structural wall. The 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, pp: 456.
- [8] Su R and Wong S. 2007. Seismic behaviour of slender reinforced concrete shear walls under high axial load ratio. *Journal of Engineering Structures*, 29: 1957-1965.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی

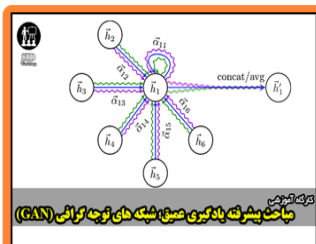


عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛
شبکه های توجه گرافی
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از
وب آوساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی