

محاسبه ضریب رفتار سیستم ترکیبی قاب خمشی ویژه و دیوار برشی بتنی دارای بازشو، تقویت شده با الیاف پلیمری کربن

سیدفتح اله ساجدی*

دانشیار گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

مصطفی عچرش عمیری

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - سازه، واحد آبادان، دانشگاه آزاد اسلامی، آبادان، ایران

f_sajedi@yahoo.com

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۵

چکیده:

امروزه کاربرد کامپوزیت‌های پلیمری تقویتی به صورت گسترده در بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌ها رایج است. سابقه سازه‌های تقویت شده با ورق‌های پلیمری بیشتر مربوط به تقویت تیر و ستون است، و تأثیر این ورق‌ها بر ظرفیت دیوار برشی‌های بازشودار، عمدتاً در قاب‌های یک دهانه با ارتفاع کمتر از چهار طبقه، بررسی شدند. در این تحقیق، ضریب رفتار سیستم ترکیبی قاب خمشی بتنی ویژه همراه با دیوار برشی بتنی بازشودار و تقویت شده با الیاف پلیمری تقویتی کربن، محاسبه شد. دیوار برشی بتنی به عنوان تقویت کننده به قاب خمشی بتن مسلح ویژه در دو ارتفاع ۸ و ۱۲ طبقه که از قبل طراحی شدند، اضافه شد، سپس در دیوارها بازشوهای دایره‌ای، لوزی و مستطیلی ایجاد شدند و به اطراف بازشوهای الیاف تقویتی کربن در امتدادهای ۴۵ و ۹۰ درجه در یک طرف و دو طرف دیوار افزوده شدند. نتایج تحلیل نشان داد که مقاومت سازه با ایجاد بازشو در دیوار کم شد، و وقتی که الیاف به اطراف بازشو اضافه شدند، مقاومت کمی افزایش یافت؛ این افزایش ناچیز مقاومت به دلیل کم بودن میزان الیاف است. برای پاسخ به این شبهه اطراف بازشو به مساحت دیوار یک لایه الیاف در یک طرف، در دو طرف و دولایه الیاف در یک طرف دیوار چسبانده شدند؛ تحلیل نتایج نشان داد که هرچه سطح الیاف تقویتی بر روی دیوار افزایش یابد، ظرفیت و ضریب رفتار سازه بیشتر می‌شود. افزودن الیاف تقویتی در دو طرف دیوار اثر بهتری بر ضریب رفتار و ظرفیت سازه نسبت به کاربرد دو لایه الیاف در یک طرف دیوار داشت.

کلید واژگان: لرزه‌خیزی، ضریب رفتار، قاب خمشی بتن مسلح ویژه، دیوار برشی بتنی دارای بازشو، الیاف پلیمری کربن

۱- مقدمه

رفتار بسیاری از اعضاء سازه در هنگام وقوع زمین لرزه‌های متوسط تا شدید از محدوده ارتجاعی فراتر رفته و وارد محدوده غیرارتجاعی یا غیرخطی می‌گردد. در نتیجه طراحان و مهندسين سازه برای تحلیل باید از تحلیل‌های غیرارتجاعی استفاده نمایند، اما غالباً به دلیل پرهزینه بودن تحلیل‌های غیرارتجاعی و غیرخطی، وقت‌گیر بودن آن‌ها، ضعف دانش در استفاده و تاثیر این روش‌ها و سهولت روش‌های ارتجاعی، تحلیل‌ها و طراحی-های متداول براساس روش‌های تحلیل ارتجاعی سازه انجام می‌شوند. در تحلیل نوع ارتجاعی، سازه در مرحله ارتجاعی قرار دارد و از نیروهای زلزله به صورت کاهش یافته استفاده می‌گردد. برای کاهش این نیروها در محدوده ارتجاعی اعضاء از ضریبی به نام ضریب کاهش^۱ و یا ضریب رفتار سازه استفاده می‌گردد [۱].

قاب‌های خمشی، قاب‌هایی هستند که برای تحمل بار ثقلی و جانبی از آن‌ها استفاده می‌شود. این قاب‌ها باید طوری طراحی شوند که اعضاء و اتصالات آن‌ها بتوانند شکل‌پذیری لازم را در سیستم باربر جانبی تامین نمایند [۲].

دیوار برشی‌های بتنی دیوارهای بتن‌آرمه‌ای هستند که برای مقاومت در مقابل بارهای جانبی باد یا زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دیوارها ممکن است به تنهایی و یا به کمک قاب، بارهای جانبی را به زمین منتقل کنند. دیوار برشی‌ها از نظر معماری انواع مختلفی دارند که یکی از آن‌ها، دیوار برشی دارای بازشو است که این بازشوها به دلایل مکانیکی و معماری (تعبیه پنجره، درب و...) در دیوار برشی ایجاد می‌شوند. وجود این بازشوها در دیوار برشی باعث ایجاد تاثیراتی در مقاومت نهایی، تغییر در رفتار توزیع نیروها و تغییر در سازوکار شکست می‌شوند. همچنین با توجه به اینکه بعضی از دیوار برشی‌ها با استفاده از آیین‌نامه‌های قدیمی طراحی شده‌اند و این آیین‌نامه‌ها رفتار شکل‌پذیری دیوار برشی را تامین نمی‌نمایند و با توجه به عدم تطابق طرح لرزه‌ای این آیین‌نامه‌ها با آیین‌نامه‌های جدید، نیاز به ترمیم و تقویت این دیوارها امری اجتناب‌ناپذیر است [۳-۴].

به دلایل مذکور و گسترش روزافزون طراحی و ساخت سازه‌های بتنی، بالاجبار باید به تقویت و تعمیر این گونه سازه‌ها توجه خاصی مبذول گردد.

برای تعمیر سازه‌های بتنی می‌توان از روش‌های گوناگونی استفاده نمود که برخی از این روش‌ها عبارتند از:

۱- کاهش بارگذاری و سبک نمودن سازه

۲- استفاده از روش پیش‌تنیدگی خارجی
 ۳- تقویت به وسیله بتن‌پاشی
 ۴- افزایش سطح مقطع بتن با بتن‌ریزی مجدد
 ۵- تزریق مواد پلیمری
 ۶- استفاده از ورق‌های فولادی و الیاف پلیمری تقویتی^۲ و چسباندن آن‌ها به قسمت‌های مختلف اجزای بتنی.

در میان روش‌های گفته شده استفاده از ورق‌های فولادی و کامپوزیتی سریع‌تر و کاربردی‌ترین روش است. استفاده از ورق‌های فولادی به علت مقاومت کم آن‌ها در برابر زنگ‌زدگی و خوردگی در کنار وزن بالای آن‌ها به تدریج منسوخ شده است. در چند سال گذشته در جهت بهبود خواص سازه، استفاده از ورق‌های پلیمری FRP به علت نسبت مقاومت به وزن بالا، مقاومت در برابر خوردگی و برتری‌های دیگر این ورق‌ها با توجه به کاهش روزافزون قیمت آن‌ها، افزایش یافته است. استفاده از مواد مرکب ساخته شده از الیاف در محیط رزین پلیمری به عنوان پلیمرهای مسلح شده با الیاف به عنوان یک ضرورت در جایگزینی مصالح سنتی و شیوه‌های موجود معرفی شده است. سیستم FRP به این صورت تعریف می‌شود که الیاف و رزین‌ها برای ساخت چند لایه مرکب مورد استفاده قرار می‌گیرند، به نحوی که رزین‌های مصرفی به منظور چسباندن چندلایه مرکب به سطح بتن زیرین و پوشش‌ها به منظور محافظت مصالح ترکیب شده، استفاده می‌شوند. تحقیقات انجام شده در خصوص سازه‌های تقویت شده با ورق‌های FRP بیشتر مربوط به تقویت تیر و ستون است، در حالی که تاثیر ورق‌های FRP بر ظرفیت دیوار برشی‌های به خصوص دیوار برشی‌های دارای بازشو کمتر یا فقط در سطح قاب‌های یک دهانه و ارتفاع کمتر از چهار طبقه، مورد توجه قرار گرفته است [۵]. بنابراین، هدف از انجام این تحقیق، محاسبه ضریب رفتار قاب خمشی ویژه با دیوار برشی بتنی دارای بازشوها تقویت شده با الیاف پلیمری می‌باشد.

ابتدا برای دسترسی به مدل تحلیلی و تشخیص روش‌های مرتبط، مدل آزمایشگاهی انجام شده موجود مدنظر قرار گرفته و به صورت عددی شبیه‌سازی شد و پس از آزمون و خطا صحت-سنجی مدل نرم‌افزاری بررسی شده و سپس به کمک تحلیل غیرخطی نرم‌افزار اجزاءمحدود آباکوس مدل‌سازی، تحلیل و بررسی گردیدند.

هاسلتون و همکاران^۳ به بررسی ایمنی لرزه‌ای سازه‌های قاب خمشی پیرامونی و قاب خمشی فضایی پرداختند. آن‌ها نتیجه

³ Haselton et al.

¹ Behavior Coefficient

² Fiber Reinforced Polymer (FRP)

پس از آزمایش، دیوار تعمیر شده و میلگردها تعویض شدند و تقویت برشی در بخش بحرانی انجام شد. دیوار اصلاح شده با سابقه بارگذاری در آزمون قبلی مورد آزمایش قرار گرفت. پاسخ دیوار تعمیر شده تنها تا لحظه تسلیم رضایت بخش بود، در حالی که تنها تعداد کمی چرخه جابجایی توانست قبل از خرابی انجام دهد [۱۱]. در خصوص تاثیر مساحت و موقعیت بازشدگی بر رفتار و ظرفیت نهایی دیوار برشی‌های بتن مسلح عربزاده و مظفرجری تحقیقی انجام دادند. نتایج نشان داد که مساحت ناحیه موثر تحت فشار دیوار از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر مقاومت نهایی دیوار برشی‌های بتن مسلح دارای بازشدگی می‌باشد. حاصل کار آن‌ها به شرح زیر است:

مساحت و موقعیت بازشدگی به طور مستقیم باعث تغییر در مساحت این ناحیه می‌گردند. هم‌چنین موقعیت گشودگی در مقایسه با مساحت آن پارامتری تاثیرگذارتر در کاهش ظرفیت نهایی دیوار برشی‌های بتن مسلح می‌باشد [۱۲]. حسینی و همکاران در تحقیقی به ارزیابی بازشو در خارج از مرکزیت دیوار پرداختند که نتیجه گرفتند که ایجاد بازشو در دیوار تا ۴۵٪ باعث کاهش ظرفیت دیوارها نسبت به حالت بدون بازشو می‌شود [۱۳]. تحقیقات انجام شده در بهسازی لرزه‌ای دیوار برشی‌های بتن-مسلح تقویت شده با FRP با توجه به مزایای بسیار زیاد FRP در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها از جمله ضریب ارتجاعی بسیار بالای آن‌ها نسبت به فولاد، مقاومت کششی بسیار زیاد در راستای الیاف، وزن بسیار کم، دوام بالا و قابلیت اجرای ساده به هنگام استفاده از سازه 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 بر اعضای سازه‌های بتن‌آرمه می‌توان به آزمایش‌های گسترده بهرنیا و کلوشانی اشاره کرد که به بررسی اثر ورق‌های FRP پرداختند و نتیجه گرفتند که با افزایش طول ورق‌های FRP مقدار بار نهایی افزایش پیدا کرده و از یک طول به بعد، با افزایش طول مقدار بار نهایی کاهش می‌یابد. با تغییر زاویه قرارگیری ورق‌های FRP، مقدار بار نهایی نیز تغییر پیدا کرده است که با زاویه صفر درجه بیشترین مقدار بار نهایی در تیر بدست آمد. با چسباندن CFRP به سطح بالا و پایین تیر، علاوه بر وجوح کنار تیر مقدار بار نهایی تیر در حدود ۱۸٪ افزایش می‌یابد [۱۴]. نادری و اسمعیلی‌زاده در مقاله‌ای، نتایج مطالعات انجام شده بر عملکرد تیرهای بتنی تقویت شده با

گرفتند که قاب خمشی فضایی اضافه مقاومت بیشتری در مقایسه با نوع پیرامونی دارد [۶]. آنها به بررسی خطر فروپاشی سازه‌های قاب خمشی ویژه بتن مسلح با هدف صحت‌سنجی ایمنی لرزه‌ای به‌کار گرفته در آیین‌نامه‌های ساختمانی پرداختند. مطالعه آن‌ها نشان داد که کاهش برش پایه حداقل به‌طور چشم‌گیری خطر فروپاشی لرزه‌ای سازه‌های بلندمرتبه (بلند پریود) در منطقه با خطر لرزه‌ای بالا را افزایش می‌دهد [۷].

بهارلو و حجازی به ارزیابی پاسخ دیوارهای برشی بتن‌آرمه دارای بازشو تحت بارگذاری چرخه‌ای پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که حضور بازشو در دیوارهای بتنی به میزان ۱۸/۱۶٪ سطح دیوار باعث کاهش، ۲۴٪ مقاومت و ۴۳٪ سختی اولیه دیوار بازشودار نسبت به نمونه بدون بازشو شده است [۸]. فتوحی‌سرا در پایان‌نامه خود به بررسی ایمنی لرزه‌ای قاب خمشی ویژه و سیستم دوگانه قاب خمشی همراه با دیواربرشی بتنی ویژه پرداخت. در این تحقیق تحلیل و طراحی غیرخطی دو ساختمان ۵ و ۱۰ طبقه براساس آیین‌نامه‌های ASCE 7-10 و ACI318-14 و ۲۸۰۰ ایران (ویرایش چهارم) انجام شدند. طبق نتایج به دست آمده نسبت متوسط احتمال فروریزش و سپس با اعمال عدم قطعیت، نسبت متوسط احتمال فروریزش تعدیل شده، محاسبه شدند. سپس نسبت‌های متوسط احتمال فروریزش تعدیل شده با مقادیر مجاز مقایسه گردیدند. او با توجه به تامین مقادیر مجاز به این نتیجه رسید که مقادیر ضریب رفتار فرضی در آیین‌نامه ASCE 7-10، و نیز ۲۸۰۰ ایران مقادیر قابل‌قبولی دارد. در صورت عدم تامین مقادیر مجاز باید ضریب رفتار جدیدی فرض گردد و یا محدودیت‌های دیگری بر سیستم اعمال شوند [۹]. صاحب و دسائی روی ۱۲ مدل دیوار برشی بتنی دارای بازشو، تحقیقاتی آزمایشگاهی راجع به پیش‌بینی بارنهایی شکست و آن‌ها انجام دادند. مقایسه شکست ناشی از بار جانبی از پانل‌های یکسان با ورق‌های آزمایش شده تحت بارگذاری‌های یک‌طرفه و دوطرفه نشان داد که دیوار برشی‌ها به دلیل تقویت از چهار لبه، دارای مقاومت بیشتری بودند. ترک‌خوردگی در ورق‌های بارگذاری شده دوطرفه بیشتر بود، در حالی که بارهای نهایی تقریباً برای هر دو مورد برابر بودند و حضور بازشوها مزیت تقویت چهار لبه پانل‌های دوطرفه را خنثی کرد [۱۰]. ریوا و همکاران^۵ به بررسی مودهای شکست در دیوار برشی بتن مسلح پرداختند. دیوارهای اصلی که براساس آیین‌نامه Eurocode8 طراحی کردند، تحت بارگذاری چرخه‌ای تا لحظه شکست قرار داده شدند.

⁵ Riva et al.

⁴ Saheb and Desayi

و جداسدگی آن در برش، نحوه قرارگیری خاصی را برای FRP به صورت مورب و در جهت ترک‌های برشی، به جهت جلوگیری از جداسدگی در تحقیق آزمایشگاهی خود پیشنهاد دادند [۱۸]. مستوفی نژاد و محمودآبادی مطالعه آزمایشگاهی بر جداسدگی در اثر ترک‌های میانی در تیرها و ستون‌های تقویت شده با FRP انجام دادند، نتایج کار آن‌ها نشان داد که آماده‌سازی سطح قبل از پیوند ورق، باعث افزایش مقاومت در برابر شکستگی می‌شود [۱۹]. تعبیه بازشو در دیوار به طور واضحی بر مشخصات دیوار همچون سازوکار انتقال بار، کاهش مقاومت و سختی و کاهش سطح شکل‌پذیری تاثیر می‌گذارد. در این زمینه لمبارد و همکاران با چسباندن ورق‌های CFRP در دو طرف دیوار ارتقاء مقاومت خمشی دیوار را بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که این روش تقویت، یک روش تقویت و اصلاح لرزه‌ای مناسب برای دیوار برشی‌های بتن مسلح است. سیستم الیاف کربن می‌تواند برای بازیابی سختی ارتجاعی ابتدایی و افزایش بار عملکرد و ظرفیت نهایی، انعطاف‌پذیری دیوارهای آسیب‌دیده لرزه‌ای و هم-چنین افزایش سختی و مقاومت در اعمال تقویت دیوارهای آسیب‌دیده مورد استفاده قرار گیرد [۲۰]. لی و همکاران^۷ به بررسی رفتار دیوار برشی‌های آسیب‌دیده در زلزله، تقویت شده با نوارها و ورقه‌های FRP پرداختند و مشخص شد که تقویت با FRP به طور کلی در بهبود ظرفیت لرزه‌ای دیوارها موثر می‌باشند [۲۱]. جلال و ال‌سکاری^۸ روی میز لرزان، رفتار دیوار برشی تقویت شده با الیاف FRP را مطالعه نمودند و آن‌ها مشاهده کردند که دیوارهای بهسازی شده عملکرد رضایت‌بخشی با افزایش مقاومت خمشی در پانل ۶ طبقه نشان داد. طرح بهسازی منجر به کاهش پیچش دیوار و مقدار کشش کمتری برای میلگردهای فولادی گردید. تقاضای برش و خمش بر روی دیوارهای بهسازی شده با FRP بالاتر از موارد اصلی بود [۲۲]. از کارهای آزمایشگاهی می‌توان به بررسی رفتار چرخه‌ای دیوار برشی بتن مسلح تقویت شده با الیاف CFRP توسط آلتین و همکاران^۹ نام برد. آن‌ها نتیجه گرفتند که تقویت دیوار برشی‌های بتنی با استفاده از نوارهای CFRP یک روش موثر است. استفاده از نوارهای CFRP به طور قابل‌ملاحظه‌ای رفتار هیستریزس دیوار برشی‌های بتنی تحت بارگذاری جانبی را بهبود می‌بخشد. نوارهای CFRP در بهبود سختی جانبی اولیه موثر نیستند، با این وجود، محدود شدن گسترش ترک‌های برشی روی دیوار توسط نوارهای CFRP انجام می‌شود که کاهش سختی جانبی را

CFRP در دماهای بالا و یخزدگی را ارائه دادند. در این بررسی‌ها، ۲۴ تیر بتنی غیرمسلح به ابعاد $350 \times 100 \times 100$ میلی‌متر، با استفاده از سه رده مقاومتی بتن، ساخته شدند. پس از عمل‌آوری، این تیرها با ورق‌های CFRP انعطاف‌پذیر و سخت، مقاوم‌سازی شدند. پس از سفت و سخت‌شدن چسب به کار رفته برای چسباندن ورق‌های CFRP، نمونه‌ها در شرایط دمایی ۲۰-، ۵۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و آزمایش خمشی چهار نقطه‌ای روی آن‌ها انجام شد. نتایج حاصله نشان داد که پارگی ورق‌های CFRP در دمای اتاق ناشی از ترک‌های خمشی و در دماهای بالا و پایین، ناشی از تنش‌های برشی بوده است. تغییرات دمایی موجود علاوه بر تاثیرش بر مقاومت چسبندگی بین ورق‌های CFRP، بر خواص مصالح نیز تاثیر جدی داشته است. بررسی مقاومت نهایی تیرهای تقویت شده نیز بیانگر آن است که با رسیدن چسب به دمای گذار شیشه‌ای کاهش مقاومت نهایی، قابل‌توجه است [۱۵]. مستوفی‌نژاد و محمدی انایی در مقاله‌ای اثر تقویت اجزای مرزی دیوار توسط الیاف FRP بر رفتار دیواربرشی بتن‌آرمه را لاغر را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که چسباندن یک لایه کامپوزیت روی اجزای مرزی دیوار و تغییر در طول ورق FRP تأثیر چشم‌گیری بر افزایش باربری دیوار ندارد. در این حالت افزایش طول ورق نیز تأثیرگذار نخواهد بود. استفاده از تعداد لایه‌های بیشتر FRP در ناحیه مفصل خمیری باعث بهبود باربری دیوار ضعیف خواهد شد، به گونه‌ای که استفاده از ۵ لایه ورق FRP باربری دیوار ضعیف را به دیوار استاندارد نزدیک کرده و باعث افزایش بار تسلیم میلگردها می‌شود. هر چند تغییر در طول ورق FRP تغییری در سختی اولیه دیوار تقویت شده نداشت، اما کاهش عرض ورق کامپوزیت منجر به کاهش سختی اولیه دیوار تقویت شده گردید. در نهایت تقویت اجزای مرزی دیوار توسط الیاف FRP باعث بهبود باربری دیوار شده است [۱۶]. ناطقی‌الهی و همکاران به بررسی و تخمین سختی و ظرفیت بار نهایی قاب بتنی میان‌پر پرداختند. نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی به دست آمده بیانگر آن است که تقویت قاب بتنی میان‌پر تقویت شده با کامپوزیت FRP باعث افزایش ظرفیت باربری نهایی و سختی سازه می‌شود [۱۷]. یکی از معایب بسیار مهم استفاده از مصالح FRP وقوع پدیده جداسدگی است. بزرگترین مشکل این است که هنوز روش‌های دقیقی برای جلوگیری از جداسدگی به علل مختلف آن، توسعه نیافته است. چن و تنگ با توجه به دو مود محتمل پارگی FRP

⁸ Galal and El-Sokkary

⁹ Altin et al.

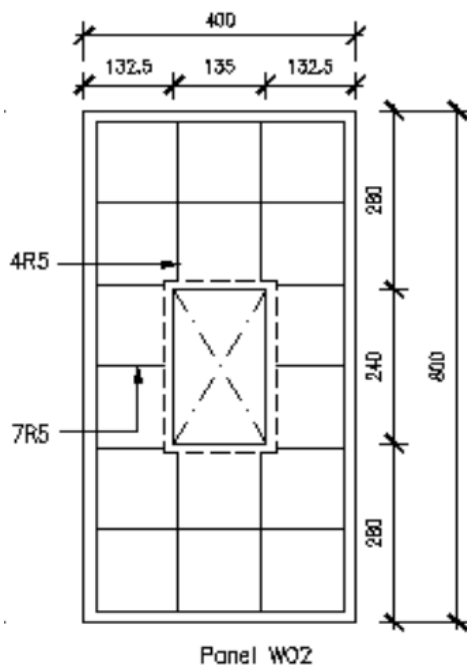
⁶ Lombard et al.

⁷ Li et al.

بازشو در دیوار ظرفیت دیوار کاهش می‌یابد و با افزودن CFRP به اطراف بازشو مقاومت محوری دیوار افزایش پیدا می‌کند [۲۷].

۲- معرفی مدل آزمایشگاهی

قبل از ارائه نتایج عددی می‌بایست از درستی روش حل عددی خود اطمینان حاصل نمود. از این رو قبل از شبیه‌سازی مدل‌های مدنظر برای اطمینان از صحت کار، مدل‌های آزمایشگاهی "بشار و همکاران" را مدل‌سازی کرده و نتایج به دست آمده را از تحلیل نرم‌افزاری با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شدند. پس از اطمینان از درستی مدل شبیه‌سازی شده به توسعه مدل مدنظر اقدام گردید. بشار و همکاران آزمایش‌هایی بر روی دیوار برشی بتنی دارای بازشو تقویت شده با الیاف پلیمری کربن تحت بارگذاری ثقلی انجام دادند [۲۷]. برای صحت‌سنجی نرم‌افزار، دیوار wo2b از مدل‌های بشار با ضخامت ۴۰، ارتفاع ۸۰۰ و عرض ۴۰۰ میلی‌متر و بازشو با ابعاد 135×240 میلی‌متر و نسبت مساحت بازشو به دیوار حدود ۱۰٪ است. تمامی ابعاد دیوار با نسبت ثلث حالت واقعیت لحاظ شده‌اند. (شکل ۱) استفاده شده است.



شکل ۱- نمای دیوار برشی [۲۷]

کنترل می‌کند [۲۳]. در تحقیق دیگری کهوری و رهبررنجی به تحلیل عددی دیوارهای برشی بتن مسلح و دارای بازشو قبل و بعد از مقاوم‌سازی با الیاف پلیمری کربن پرداختند. آن‌ها نشان دادند که جهت قرارگیری الیاف تاثیر زیادی در افزایش مقاومت نهایی و جابجایی مربوطه دارد [۲۴]. موسوی به ارزیابی و تحلیل رفتار لرزه‌ای دیوار برشی تقویت شده با کامپوزیت CFRP به روش اجزاء محدود پرداخت. او یک قاب ساده و دو قاب به صورت شطرنجی و ضربدری تقویت شده با کامپوزیت CFRP را در نرم‌افزار آباکوس مدل کرد. نتایج نشان داد که تقویت دیوار برشی با کامپوزیت CFRP باعث افزایش مقاومت نهایی، افزایش مقاومت تسلیم و افزایش شکل‌پذیری، همراه با استهلاک انرژی بیشتری در مقایسه با دیوار تقویت نشده می‌شود. و همچنین استفاده از الیاف به صورت همزمان خمشی و برشی، سبب افزایش باربری محوری، تقویت‌های خمشی و برشی می‌گردد [۲۵]. پودات در تحقیقی تاثیر ایجاد بازشو و همچنین نحوه قرارگیری FRP بر ظرفیت دیوار برشی را بررسی قرار نمود. در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار آباکوس یک دیوار برشی بدون بازشو را مدل و نتایج را با یک نمونه آزمایشگاهی معتبر مقایسه کرد. سپس مدل‌های بازشودار را با الیاف FRP تقویت و نحوه تاثیر آن‌ها را بر مقاومت برشی دیوار سنجید. پس از آن با تغییر آرایش FRP به بررسی تاثیر آرایش FRP و حالات مختلف نصب الیاف FRP پرداخت. بررسی نمودارهای نتایج او نشان داد استفاده از الیاف FRP روش مناسبی برای تقویت دیوار برشی‌های دارای بازشو است [۵]. عروجی به بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمان بتنی دارای دیوار برشی تقویت شده با الیاف پلیمری پرداخت. در این تحقیق اثر تغییر بتن پای دیوار برشی با بتن مهندسی شده^۱ بررسی شد. با توجه به مدل‌سازی دیوار برشی با استفاده از نتایج آزمایشگاهی تحقیقات تومسن^۱ به این نتیجه رسید که ارتفاع مطلوب برای بهبود چرخه‌های هیستریزس دیوار برشی‌ها، تبدیل بتن دیوار برشی به ECC در ناحیه ۱۰٪ تا ۲۰٪ ارتفاع دیوار است. مقدار کمتر از ۱۰٪ اثر چندانی ندارد و مقدار بیشتر از ۲۰٪ دارای اثر نامطلوبی است. او نتیجه گرفت که تغییر بتن پای دیوار به ECC باعث افزایش ضریب رفتار نشد و حتی ضریب رفتار را تا حدودی کاهش داد [۲۶]. بشار و همکاران^۱ در یک تحقیق آزمایشگاهی به بررسی تغییر مکان جانبی چند دیوار برشی بتنی ساده، بازشودار و تقویت شده با نوارهای CFRP در امتداد ۴۵ و ۹۰ درجه تحت بار قائم پرداختند. و نتیجه گرفتند که با ایجاد

^۱ Bashar et al.

2

^۱ Engineered Cementitious Composite (ECC)

^۱ Thomsen

در این مدل از الیاف پلیمری CFRP با زوایای صفر و ۹۰ درجه در اطراف بازو استفاده شده است. مشخصات CFRP در جدول ۱ داده شده است.

جدول ۱- مشخصات هندسی CFRP [۲۷]

نمونه	طول (mm)	عرض (mm)	ضخامت (mm)
CFRP 0	۳۸۵	۶۰	۰/۱۶۷
CFRP90	۴۹۰	۶۰	۰/۱۶۷

جدول ۳- مشخصات مصالح استفاده شده در تحقیق

مصالح	نسبت پواسون (V)	ضریب یانگ E (GPa)	چگالی (ρ) $10^{-9} \frac{ton}{mm^3}$	تنش تسلیم f_y (MPa)
CFRP	۰/۳	۲۳۰	۱/۵۵	۴۸۰۰
فولاد	۰/۳	۲۰۵	۷/۸۵	۴۷۸
بتن	۰/۲۱	۲۱	۲/۴	۲۱/۳۵

میزان میلگرد مصرفی در دیوار به صورت درصدی از مقطع دیوار بیان شده است، به این صورت که برای میلگردهای قائم ۰/۰۰۵ مقطع و برای میلگردهای افقی ۰/۰۰۹ سطح مقطع به کار رفته است. تمام میلگردها از نمره ۵ بودند و پوشش بتن دور میلگردها ۱۵ میلی متر منظور شد.

جدول ۴- پارامترهای خمیری مدل CDP در آباکوس [۲۸]

توضیح	مقدار	پارامتر
زاویه اتساع	۳ ۰	ϕ
پتانسیل خروج از مرکزیت خمیری	۱ ۰/۱	e
نسبت فاصله بین محور هیدرواستاتیک با نصف-النهار فشاری ^۴ و نصفالنهار کششی ^{۱۵}	۱ ۱/۶	f_{b0}/f_{c0}
پارامتر k_c	۶ ۰/۶۷	k_c
پارامتر ویسکوارتجاعی	۰ ۰/۰۱	μ

جدول ۲- محاسبات میلگردهای دیوار

$400 * 800 * 40 = 1280000 mm^3$	حجم دیوار
$1280000 * 0.09 = 115200 mm^3$	سطح مقطع میلگردهای افقی
$S_{\phi 5} = 52 * 3.1415 / 4 = 19.62$ $mm^2 * 19.62 * (400 - (2 * 15)) = 7259$	سطح مقطع میلگرد نمره ۵
$115200 / 7259 = 15.86$ $16 \cong$	تعداد میلگردهای افقی
$1280000 * 0.05 = 64000 mm^3$ $mm^3 * 19.62 * (800 - (2 * 15)) = 15107$	سطح مقطع میلگردهای قائم
$64000 / 15107 = 4.2$ براساس تقارن $6 \cong$	تعداد میلگردهای قائم

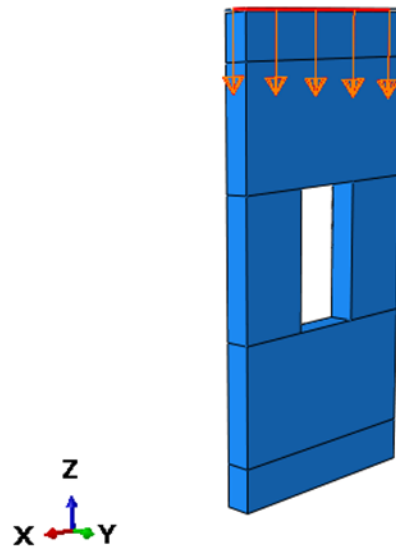
برای اعمال بارگذاری از روش تغییرمکان-کنترل استفاده می شود و با دادن تغییرمکان مقدار نیرو محاسبه می گردد که در اینجا ۱/۳ میلی متر تغییرمکان داده شده است.

برای مدل رفتاری فولاد در نرم افزار آباکوس از سخت شوندهگی دوخطی استفاده شد. همچنین برای تعریف مدل های رفتاری در کشش و فشار از مدل خمیری آسیب دیده بتن استفاده گردید که بر اساس تاریخچه، اکثر محققین از این روش استفاده نمودند [۲۸]. در جداول ۳ و ۴ به ترتیب مشخصات مصالح استفاده شده در تحقیق و پارامترهای خمیری مدل CDP به کار رفته در آباکوس داده شده اند. قابل ذکر است که حداقل مقاومت فشاری بتن برای شکل پذیری ویژه در نظر گرفته شده است.

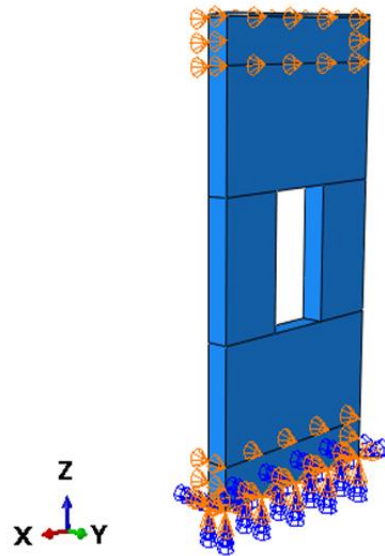
¹ Tension Meridian

¹ Concrete Damaged Plastic (CDP) Model

¹ Compression Meridian



شکل ۲- اعمال بارگذاری



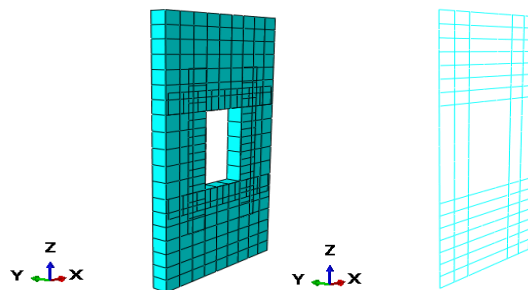
شکل ۳- اعمال شرایط مرزی

۳- مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های عددی و آزمایشگاهی

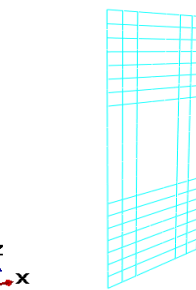
شکل ۶ نمودار مدل عددی بار-جابجایی را نشان می‌دهد. در مقاله بشار و همکاران نتایج به صورت نمودار ارائه نشدند و فقط مقدار نهایی در متن مقاله آورده شد و لذا مقایسه انجام شده براساس مقدار نهایی نمودار می‌باشد. درصدهای اختلاف بین مدل‌های عددی و آزمایشگاهی در جدول ۶ داده شده‌اند.

برای اعمال شرایط مرزی طبق شکل ۳ پای دیوار را گیردار کرده و به اندازه ۷۵ میلی‌متر از بالا و پایین در جهت Y بسته می‌شود. همچنین نحوه اتصال میلگردها به بتن از نوع ناحیه جاسازی شده^۶ و نحوه اتصال الیاف پلیمری به بتن از نوع tie تعریف شده است.

نوع شبکه‌بندی استفاده شده در قسمت‌های بتن دیوار و قاب، اجزاء هشت گرهی مکعبی آجری شکل (solid از نوع Extrusion)، میلگرد بیم دوگره‌ای (shell از نوع planer) و CFRP از پوسته چهارگره‌ای (wire از نوع planer) شکل می‌باشد. اندازه شبکه برای بتن، میلگرد و CFRP ۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است.

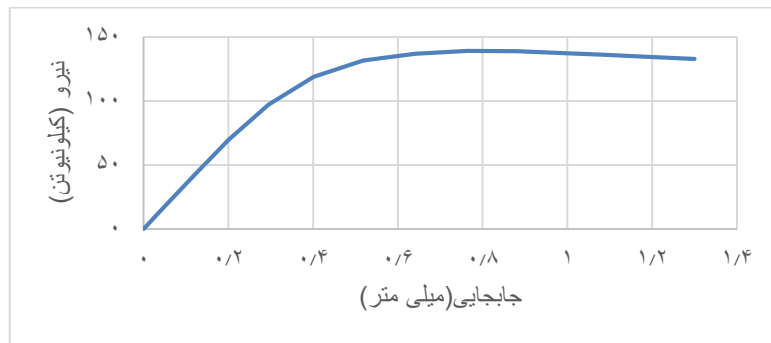


شکل ۴- شبکه‌بندی اطراف بازشو



شکل ۵- مدل‌سازی اطراف باشو

¹ Embded Region



شکل ۶- نمودار بار-جابجایی مدل عددی با اندازه بهینه شبکه

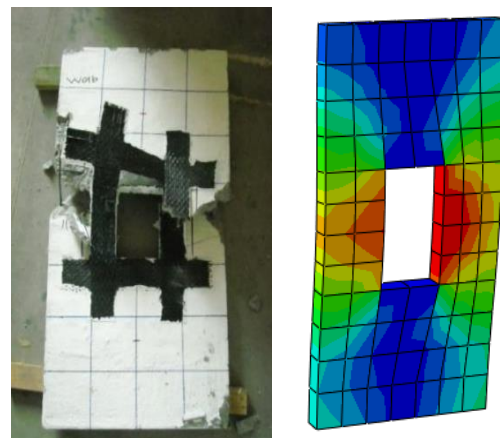
جدول ۶- درصد اختلاف بین مدل‌های عددی و آزمایشگاهی

مدل عددی با اندازه شبکه میلی‌متر	نیروی قابل تحمل (kN)	خطا (%)
۵۰	۱۳۹/۱۲	۰/۰۱۴
مدل آزمایشگاهی	۱۳۹/۱	صفر

۴- مطالعه عددی

پس از صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی شده و اطمینان از درستی کار مدل‌سازی، مدل مدنظر شبیه‌سازی شد. هدف اولیه این مطالعه، محاسبه ضریب رفتار قاب خمشی ویژه با دیوار برشی بتنی دارای بازشوهای مستطیلی، دایره‌ای و لوزی شکل، و تقویت شده با الیاف پلیمری می‌باشد. به همین منظور قاب‌های بررسی شده در این تحقیق، ۳۶ نوع قاب خمشی بتنی ویژه در ۸ و ۱۲ طبقه و ۴ دهانه هستند که با استفاده از دیوار برشی بتنی و الیاف تقویتی پلیمری کربن در برابر نیروهای جانبی مقاوم‌سازی شده‌اند، تعداد دهانه‌ها تعمداً این گونه لحاظ شد تا اگر نکاتی خاص در حالت عدم وجود تقارن در مساله ایجاد می‌شوند، مشخص شوند. قاب‌ها به صورت سه بعدی و به عنوان بخشی از ساختمان مسکونی در منطقه‌ای با خطر لرزه‌خیزی خیلی زیاد و خاک نوع ۳ بر طبق استاندارد ۲۸۰۰ ایران و آیین‌نامه آبا طراحی شده‌اند. طول دهانه‌ها در هر طبقه ۴ متر و ارتفاع هر طبقه ۳ متر فرض شده است. باید ذکر شود که ابتدا قاب‌های خمشی ویژه طراحی شدند و در مرحله‌های بعد دیوار برشی و الیاف پلیمری کربن به سازه موجود افزوده شدند.

شکل ۷ خرابی دیوار در مدل‌های عددی و آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل دیده می‌شود که، خرابی در منطقه‌ای که بازشو قرار دارد ایجاد شده است که این امر صحت کار در مدل عددی را نشان می‌دهد.



شکل ۷- نمایش خرابی در مدل‌های عددی و آزمایشگاهی

جدول ۷ - مشخصات مصالح قاب‌ها

مصالح	نسبت پواسون (V)	ضریب یانگ E (GPa)	چگالی $(\rho)(10^{-9} \frac{ton}{mm^3})$	تنش تسلیم $f_y(MPa)$
CFRP	۰/۳	۲۳۰	۱/۵۵	۴۸۰۰
فولاد	۰/۳	۲۰۵	۷/۸۴۹	۴۷۸
بتن دیوار	۰/۲۱	۲۱	۲/۴	۲۱/۳۵
بتن قاب	۰/۲۰	۲۷/۳۸۶	۲/۴	۳۰

۴۰ درجه فرض کرد [۲۸] در این تحقیق مقدار این زاویه ۳۰ درجه منظور شد. همچنین برای مدل‌سازی خواص فولاد از نمودار سخت‌شوندگی دو خطی استفاده شده است. [۳۱-۲۹]

در این تحقیق برای تعریف مدل رفتاری بتن مصرفی در دیوار قاب‌ها در حالات کشش و فشار از مدل CDP استفاده شد که مشخصات آن در جدول ۸ ارائه شده است. مقدار زاویه اتساع را می‌توان بین ۳۰ تا

جدول ۸ - پارامترهای مدل CDP بتن در آباکوس [۸]

شرح پارامتر	مقدار	پارامتر
زاویه اتساع	۳۰°	ϕ
پتانسیل خروج از مرکزیت خمیری	۰/۱	e
نسبت فاصله بین محور هیدرواستاتیک با نصف‌النهار فشاری و نصف‌النهار کششی	۱/۱۶	f_{b0}/f_{c0}
پارامتر k_c	۰/۶۶۷	k_c
پارامتر ویسکوارتجاعی	۰/۰۰۱	μ

به بتن از نوع Embed Region و اتصالات ایف پلیمری به بتن و قاب‌ها به یکدیگر و دیوار به قاب‌ها از نوع tie تعریف شده است.

برای اعمال شرایط مرزی طبق شکل ۸ پای دیوار را گیردار کرده و بالا و پایین قاب در جهت Y بسته می‌شوند. همچنین اتصال میلگردها



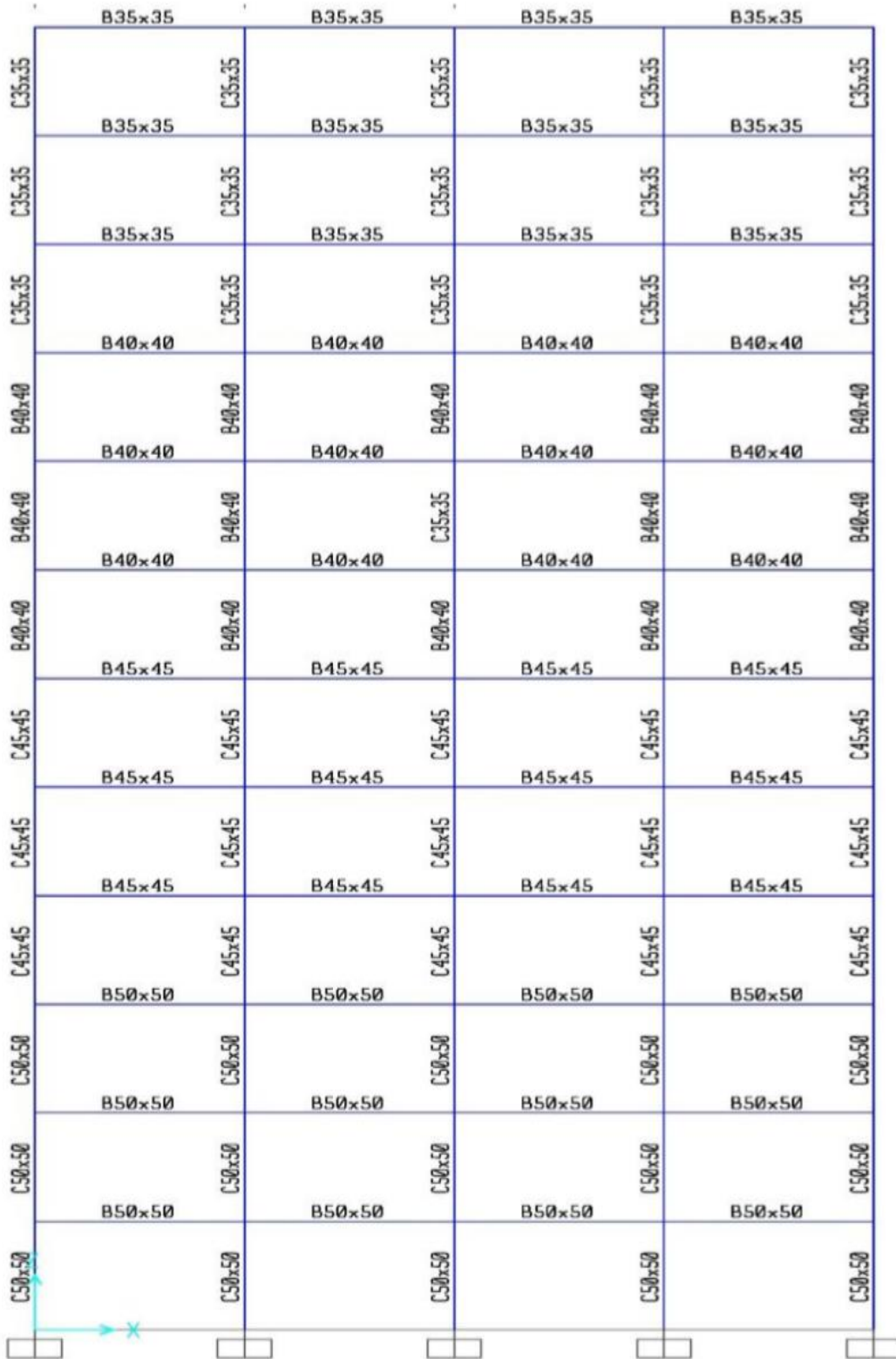
شکل ۸ - نحوه اعمال شرایط مرزی در قاب‌های تحقیق

طراحی از آیین نامه ACI318-05 استفاده شده است و علاوه بر ترکیبات بارگذاری این آیین نامه، ترکیبات آیین نامه آبا نیز به نرم افزار اضافه شده است. پس از انجام تحلیل و طراحی در نرم افزار ETABS مقاطع تیر و ستون به شرح اشکال ۹ و ۱۰ به ترتیب برای قاب های ۸ و ۱۲ طبقه داده شده است. برای مدل سازی قاب ها از مقاطع بهینه تیر و ستون که در اشکال ۱۱ و ۱۲ داده شده اند، استفاده گردیده است.

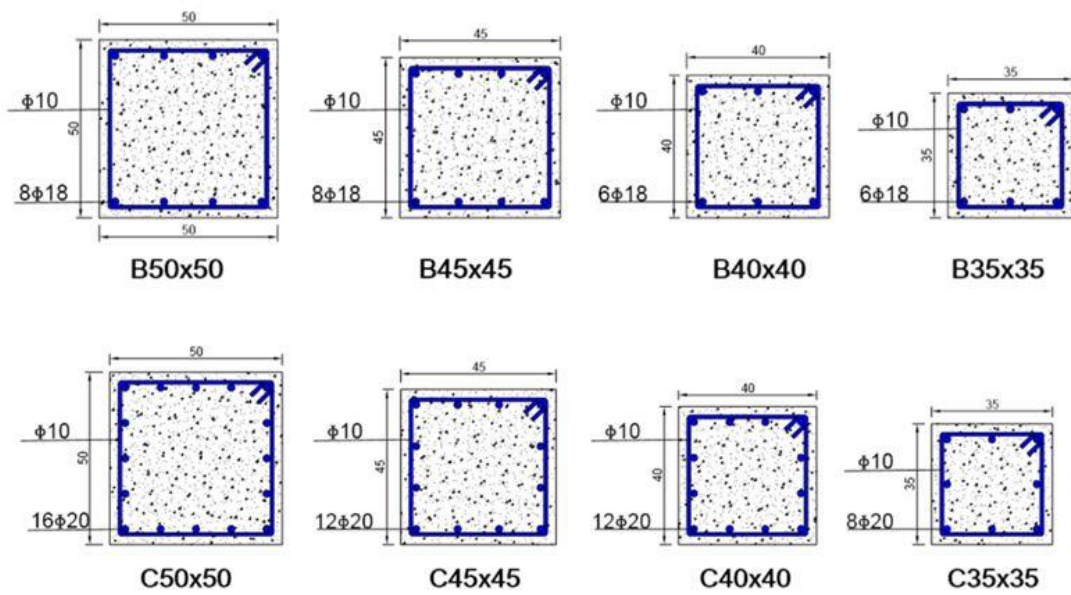
نوع شبکه بندی استفاده شده در بتن های دیوار و قاب، اجزاء هشت گرهی مکعبی آجری شکل (Solid از نوع Extrusion)، میلگرد خرپایی دو گرهی (Wire از نوع Planer) و CFRP پوسته ای چهار گرهی (Shell از نوع Planer) می باشد. اندازه شبکه برای بتن دیوار، قاب، میلگرد و CFRP به ترتیب برابر با ۰/۱، ۰/۲، ۰/۱۵، ۰/۱ متر در نظر گرفته شده است. آیین نامه آبا در نرم افزار ETABS وجود ندارد، بنابراین برای تحلیل و

	B35x35	B35x35	B35x35	B35x35
C35x35	B35x35	B35x35	B35x35	B35x35
C35x35	B35x35	B35x35	B35x35	B35x35
C35x35	B40x40	B40x40	B40x40	B40x40
B40x40	B40x40	B40x40	B40x40	B40x40
B40x40	B40x40	B40x40	B40x40	B40x40
B40x40	B45x45	B45x45	B45x45	B45x45
C45x45	B45x45	B45x45	B45x45	B45x45
C45x45	B45x45	B45x45	B45x45	B45x45
C45x45	B50x50	B50x50	B50x50	B50x50
C50x50	B50x50	B50x50	B50x50	B50x50
C50x50	B50x50	B50x50	B50x50	B50x50
C50x50	B50x50	B50x50	B50x50	B50x50

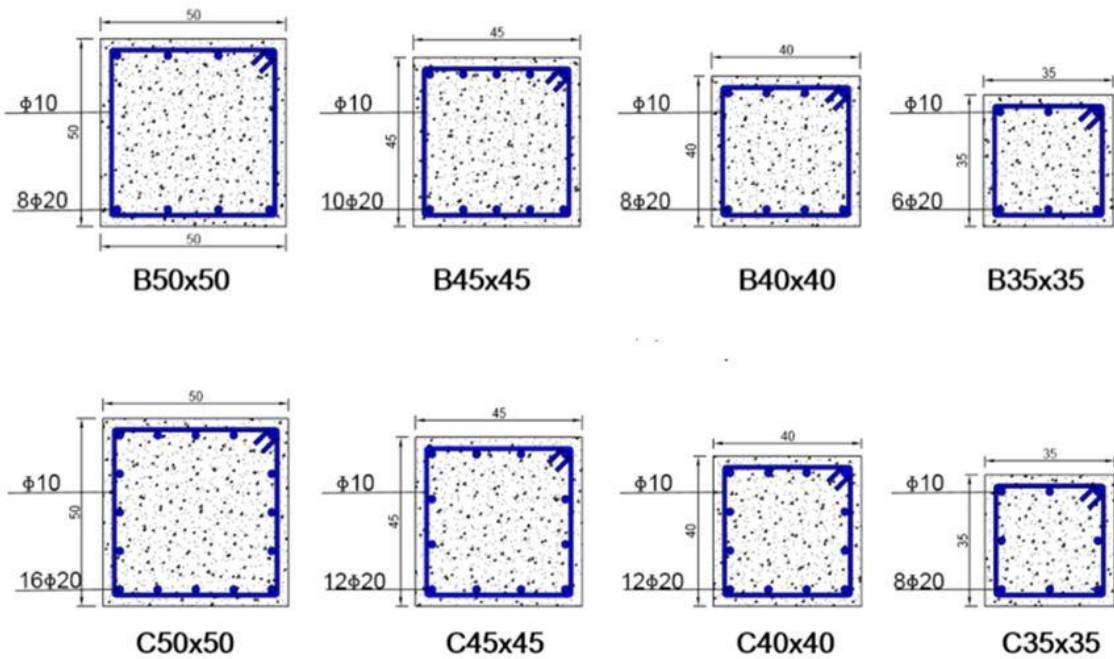
شکل ۹- مقاطع تیر و ستون در قاب ۸ طبقه



شکل ۱۰- مقاطع تیر و ستون در قاب ۱۲ طبقه



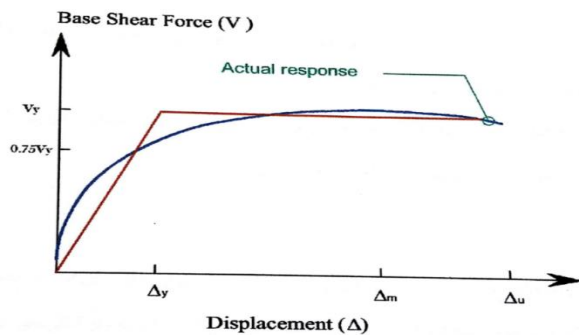
شکل ۱۱- جزئیات مقاطع عرضی تیر و ستون قاب‌های ۸ طبقه



شکل ۱۲- جزئیات مقاطع عرضی تیر و ستون قاب‌های ۱۲ طبقه

۴-۱- بررسی و مقایسه نتایج مطالعه عددی

پس از گرفتن خروجی از نرم‌افزار نمودارها استخراج شده و با روش پریستلی و پاولی^۷ منحنی پوش آور دوخطی شده سپس با استفاده از روش چوپرا ضریب رفتار و نسبت شکل‌پذیری و سایر مشخصات لازم به دست آمدند. روش دوخطی کردن پریستلی و پائولی به این صورت است که یک مقدار برای V_y (مقاومت تسلیم سازه) فرض شده، سپس از مبدأ به نقطه $0.75V_y$ روی منحنی تغییرمکان- نیروی برش پایه مطابق شکل ۱۳ وصل نموده و تا خط V_y ادامه داده می‌شود. از محل تقاطع این دو خط منحنی مذکور نمودار دوخطی فرض می‌شود [۳۵].



شکل ۱۳- روش دوخطی کردن نمودار پوش آور پریستلی و پائولی [۳۵]
تحقیقات محققین دانشگاه برکلی^۸ نشان داد که اجزا تشکیل دهنده ضریب رفتار از چهار تا هستند که در رابطه زیر ذکر شدند.

$$R = R_S R_\mu R_R R_\xi$$

در رابطه فوق R_S ضریب اضافه مقاومت، R_μ ضریب ناشی از شکل‌پذیری، R_R ضریب نامعینی و R_ξ ضریب میرایی می‌باشد. ضریب نامعینی را طبق تحقیقات برترو و ویتکر^۹ [۳۶] قاب‌های با ۴ دهانه خمشی مقاوم در برابر زلزله در هر جهت را به عنوان تعداد دهانه‌های بهینه برای تأمین مقاومت جانبی در برابر زلزله پیشنهاد می‌نمایند که در این حالت‌ها $R_R = 1$ خواهد بود. هم‌چنین ضریب میرایی در اینجا یک فرض شده است و در نتیجه ضریب رفتار از رابطه زیر به تعیین می‌شود.

$$R = R_\mu R_S$$

که مقدار ضریب‌های شکل‌پذیری و اضافه مقاومت را پس از دوخطی کردن نمودار با توجه به کدی که نوشته شده به دست می‌آیند و با جایگذاری در رابطه فوق ضریب رفتار به دست می‌آید. که مقادیر حاصله در جداول ۱۲ و ۱۳ ارائه شدند.

در انتخاب مقاطع تیر و ستون تمام ضوابط مربوط به قاب با شکل‌پذیری زیاد مندرج در آیین‌نامه آبا از جمله ابعاد تیر و ستون، درصد میلگردهای مصرفی، پوشش روی میلگردها، فاصله میلگردها و تمام الزامات رعایت شده است. برای تعیین ویژگی‌های دیوار برشی از حداقل مقدار مجاز آیین‌نامه مبحث نهم از جمله بخش ۹-۱۹، برای طراحی مقاومت در برابر برش از بند ۱۶-۱۵-۹ و همچنین طراحی مقاومت در برابر لنگر خمشی و نیروی محوری از ضوابط فصل چهاردهم این آیین‌نامه استفاده شده است [۳۲]. همچنین تعیین ضخامت دیوار برشی‌ها بر اساس بخش ۲-۵ کتاب دیوارهای برشی انجام گرفته است که نتایج آن در جدول ۹ و ۱۰ آورده شده است [۳۳].

جدول ۹- ضخامت دیوار برشی‌های بتنی قاب ۸ طبقه

ضخامت دیوار (m)	طبقه
۰/۲۵	اول و دوم
۰/۲۲	سوم و چهارم
۰/۱۸	پنجم و ششم
۰/۱۴	هفتم و هشتم

جدول ۱۰- ضخامت دیوار برشی‌های بتنی قاب ۱۲ طبقه

ضخامت دیوار (m)	طبقه
۰/۲۵	اول تا سوم
۰/۲۲	چهارم تا ششم
۰/۱۸	هفتم تا نهم
۰/۱۴	دهم تا دوازدهم

در این تحقیق تغییرمکان هدف برای تعیین ضریب رفتار قاب‌ها، براساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران منظور شده که در آن تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر هر طبقه برای سازه‌های با زمان تناوب کمتر از ۰/۷ ثانیه، برابر با ۰/۰۲۵ و برای سازه‌های با زمان تناوب بیشتر از ۰/۷ ثانیه، برابر با ۰/۰۲ منظور شده است. در این پایان‌نامه فرض شده تحت اثر الگوی بار جانبی تمام طبقات به طور هم‌زمان به حداکثر تغییرمکان مجاز جانبی نسبی مندرج در آیین‌نامه می‌رسند، البته این اتفاق در واقعیت نمی‌افتد. بنابراین تغییرمکان هدف از رابطه جدول ۱۱ بدست می‌آید.

جدول ۱۱- تغییرمکان هدف براساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۳۴]

تغییرمکان هدف (cm)	قاب
$0.025 \times 8 \times 300 = 60$	۸ طبقه با زمان تناوب کمتر از ۰/۷ ثانیه
$0.025 \times 12 \times 300 = 90$	۱۲ طبقه با زمان تناوب کمتر از ۰/۷ ثانیه

^۱ Bertero & Whittaker

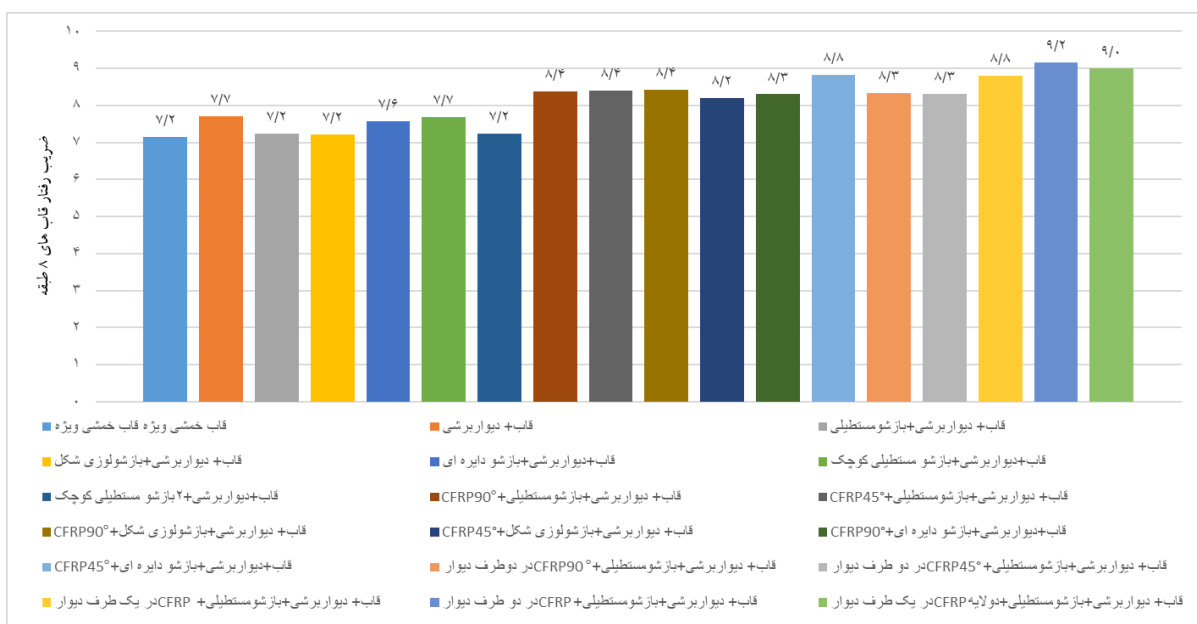
^۷ Priestly & Paulay

^۸ Berkeley

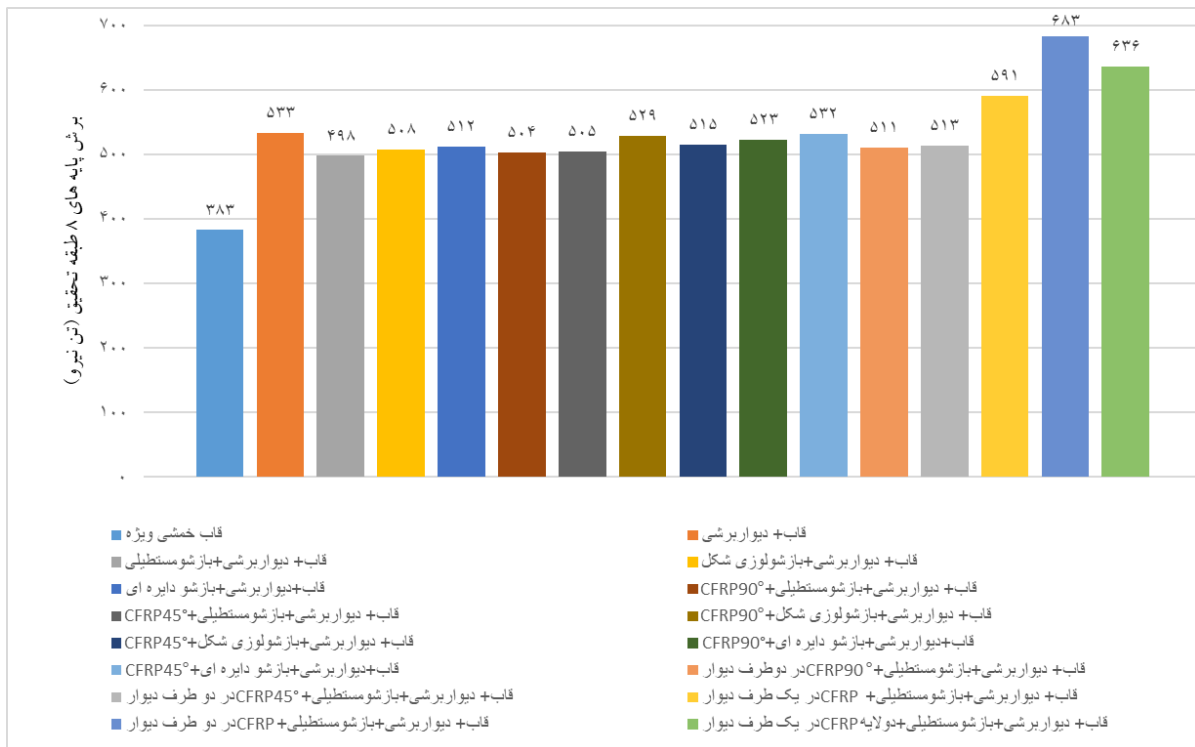
جدول ۱۲- نتایج محاسبات تعیین برش پایه و ضریب رفتار قاب‌های ۸ طبقه تحقیق

نام قاب	μ	R	$R\mu$	R_s	V_u (tonf)
قاب خمشی ویژه	۲/۴	۷/۲	۲	۱/۶	۳۸۳
قاب+دیواربرشی	۶/۶	۷/۷	۴/۲	۲/۸	۵۳۳/۴
قاب+دیواربرشی+بازشومستطیلی	۳/۸	۷/۲	۳/۲	۲/۳	۴۹۸/۱
قاب+دیواربرشی+بازشولوزی شکل	۵/۸	۷/۲	۳/۸	۱/۹	۵۰۸/۲
قاب+دیواربرشی+بازشو دایره ای	۵/۶	۷/۶	۳/۸	۲	۵۱۲/۲
قاب+دیواربرشی+بازشو مستطیلی کوچک	۶/۴	۷/۷	۴/۱	۱/۹	۵۱۴/۹
قاب+دیواربرشی+دو بازشو مستطیلی کوچک	۴/۲	۷/۲	۳/۴	۲/۱	۴۹۲/۶
قاب+دیواربرشی+بازشومستطیلی+CFRP۹۰°	۵	۸/۳	۳/۷	۲/۳	۵۰۳/۹
قاب+دیواربرشی+بازشومستطیلی+CFRP۴۵°	۵	۸/۳	۳/۷	۲/۳	۵۰۴/۵
قاب+دیواربرشی+بازشولوزی شکل+CFRP۹۰°	۵/۶	۸/۴	۳/۸	۲/۳	۵۲۹/۲
قاب+دیواربرشی+بازشولوزی شکل+CFRP۴۵°	۵/۶	۸/۲	۳/۸	۲/۱	۵۱۵/۱
قاب+دیواربرشی+بازشو دایره ای+CFRP۹۰°	۵/۳	۸/۳	۳/۸	۲/۲	۵۲۲/۹
قاب+دیواربرشی+بازشو دایره ای+CFRP۴۵°	۵/۳	۸/۸	۳/۸	۲/۵	۵۳۲/۳
قاب+دیواربرشی+بازشومستطیلی+CFRP۹۰° در دو طرف دیوار	۵/۳	۸/۴	۳/۸	۲/۲	۵۱۰/۸
قاب+دیواربرشی+بازشومستطیلی+CFRP۴۵° در دو طرف دیوار	۵/۳	۸/۴	۳/۷	۲/۲	۵۱۳/۴
قاب+دیواربرشی+بازشومستطیلی+CFRP در یک طرف دیوار	۵/۷	۸/۸	۴/۵	۲/۵	۵۹۱
قاب+دیواربرشی+بازشومستطیلی+CFRP در دو طرف دیوار	۵/۹	۹/۲	۴/۶	۲/۷	۶۸۳/۴
قاب+دیواربرشی+بازشومستطیلی+دولایه CFRP در یک طرف دیوار	۵/۷	۹	۴/۵	۲/۶	۶۳۵/۹

μ : شکل پذیری R: ضریب رفتار R_s : ضریب ناشی از شکل پذیری $R\mu$: ضریب اضافه مقاومت V_u : برش پایه



نمودار ۱- مقایسه ضریب رفتار قاب‌های ۸ طبقه تحقیق



نمودار ۲- برش پایه در قاب‌های ۸ طبقه تحقیق

افزایش ضریب رفتار تا ۹/۲ شد، که البته ضریب اضافه مقاومت نیز تقریباً همچون ضریب رفتار با افزودن دیوار برشی و الیاف پلیمری تقویتی افزایش یافته و با ایجاد باز شو کاهش یافت. ضریب شکل پذیری در قاب ۸ طبقه ۲/۴ به دست آمد که با افزودن دیوار برشی به ۶/۶ افزایش یافت. همچنین با ایجاد باز شو در دیوار شکل پذیری تا مقدار ۳/۸ نیز کاهش پیدا کرد، ولی با افزودن الیاف پلیمری تقویتی تا مقدار ۵/۹ افزایش یافت.

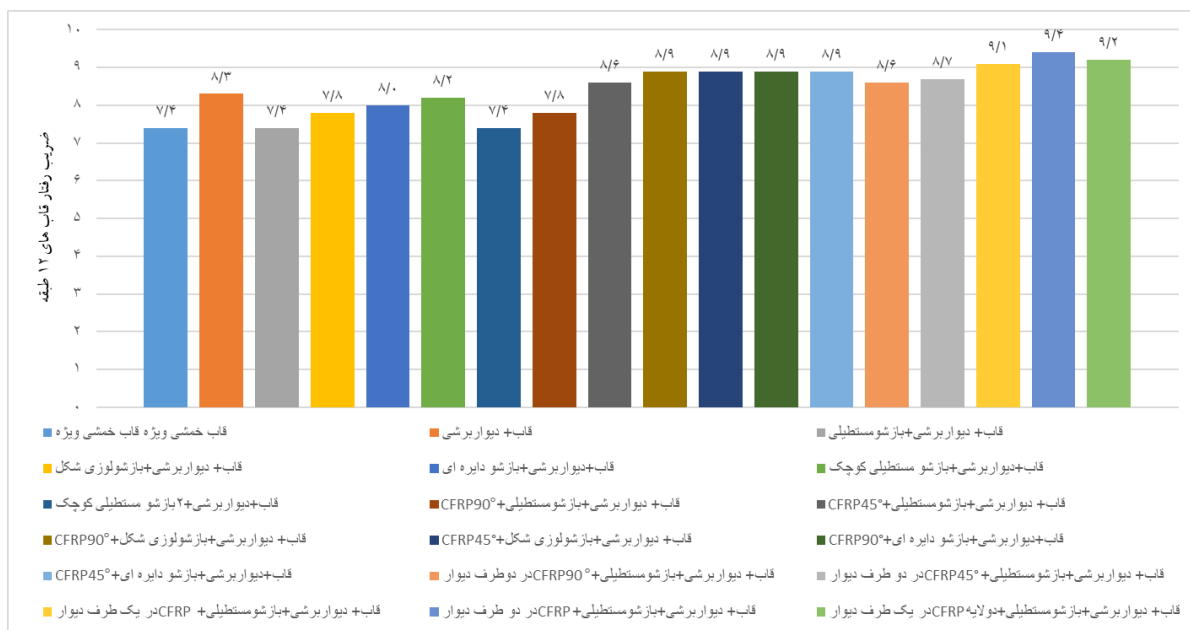
طبق نمودارهای ۱ و ۲، برش پایه قاب خمشی ۸ طبقه با افزودن دیوار برشی به مقدار ۳۹٪ افزایش یافته است که البته با ایجاد باز شو در دیوار برش پایه در قابها نسبت به قاب فاقد باز شو از ۳٪ تا ۸٪ کاهش ایجاد شد. بیشترین ضریب رفتار و برش- پایه را بین باز شوهای با مساحت برابر، باز شو دایره ای شکل داشت. مجموعاً بیشترین ضریب رفتار و برش پایه را باز شو مستطیل شکل کوچک داشت که نشان می دهد هر چه باز شو کوچک تر شود، ظرفیت سازه بیشتر می شود. با افزودن الیاف پلیمری تقویتی به اطراف باز شو در یک طرف دیوار مقاومت قاب ۱٪ تا ۴/۱٪ افزایش یافته و با کاربرد الیاف در دو طرف دیوار تا ۷٪ نسبت به الیاف یک طرفه افزایش ایجاد شد. ضریب رفتار و برش پایه الیاف پلیمری تقویتی کربن به کار رفته در امتداد ۴۵ درجه بیشتر از امتداد ۹۰ درجه در تمام حالات بود. با کاربرد الیاف فقط در یک طرف دیوار به صورت کامل، ۱۸٪ افزایش مقاومت نسبت به دیوار با باز شو ایجاد شد و با استفاده از الیاف در دو طرف دیوار تا ۳۷٪ افزایش به دست آمد. استفاده از دو لایه الیاف در یک طرف دیوار ۲۷٪ افزایش نشان داد.

ضریب رفتار قاب ۸ طبقه ۷/۲ به دست آمد و با اضافه نمودن دیوار برشی به قاب به ۷/۷ رسید. با ایجاد باز شو در دیوار ضریب رفتار کاهش پیدا کرد. افزودن الیاف پلیمری تقویتی کربن باعث

جدول ۱۳- نتایج محاسبات تعیین برش پایه و ضریب رفتار قاب‌های ۱۲ طبقه تحقیق

Vu (tonf)	R _s	R _μ	R	μ	نام قاب
۳۴۱/۴	۱/۹	۲	۷/۴	۲/۲	قاب خمشی ویژه
۵۷۱/۵	۲/۷	۳/۸	۸/۳	۵/۶	قاب+ دیواربرشی
۴۸۰/۹	۲/۱	۳/۵	۷/۴	۴/۵	قاب+ دیواربرشی+بازشو مستطیلی
۵۱۹/۸	۲/۶	۳/۲	۷/۸	۳/۸	قاب+ دیواربرشی+بازشولوزی شکل
۵۲۲/۶	۲/۵	۳/۲	۸	۴/۳	قاب+دیواربرشی+بازشو دایره ای
۵۳۱/۹	۲/۵	۳/۶	۸/۲	۴/۶	قاب+دیواربرشی+بازشو مستطیلی کوچک
۴۵۸	۲/۴	۳/۱	۷/۴	۳/۵	قاب+دیواربرشی+دو بازشو مستطیلی کوچک
۴۸۶/۲	۲/۴	۳/۶	۷۸	۴/۶	قاب+ دیواربرشی+بازشو مستطیلی+CFRP۹۰°
۴۹۱	۲/۴	۳/۶	۸/۶	۴/۶	قاب+ دیواربرشی+بازشو مستطیلی+CFRP۴۵°
۵۳۹/۳	۲/۶	۳/۵	۸/۹	۵	قاب+ دیواربرشی+بازشولوزی شکل+CFRP۹۰°
۵۳۴	۲/۶	۳/۵	۸/۹	۴/۸	قاب+ دیواربرشی+بازشولوزی شکل+CFRP۴۵°
۵۳۹/۳	۲/۶	۳/۵	۸/۹	۵	قاب+دیواربرشی+بازشو دایره ای+CFRP۹۰°
۵۴۴/۷	۲/۶	۳/۵	۸/۹	۵	قاب+دیواربرشی+بازشو دایره ای+CFRP۴۵°
۵۰۲/۹	۲/۴	۳/۵	۸/۶	۴/۷	قاب+ دیواربرشی+بازشو مستطیلی+CFRP۹۰° در دو طرف دیوار
۵۰۷/۹	۲/۴	۳/۶	۸/۷	۴/۷	قاب+ دیواربرشی+بازشو مستطیلی+CFRP۴۵° در دو طرف دیوار

μ: شکل پذیری	R: ضریب رفتار	R _μ : ضریب ناشی از شکل پذیری	R _s : ضریب اضافه مقاومت	V _u : برش پایه
--------------	---------------	---	------------------------------------	---------------------------



نمودار ۳ - مقایسه ضریب رفتار قاب‌های خمشی ۱۲ طبقه تحقیق

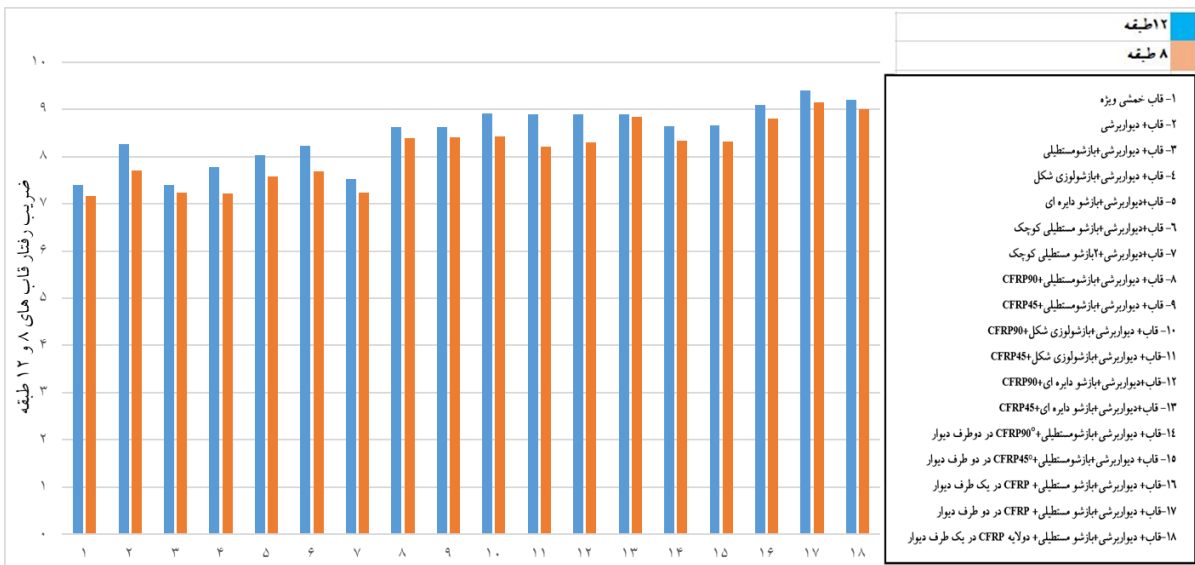


نمودار ۴ - مقایسه برش پایه قاب‌های خمشی ۱۲ طبقه تحقیق

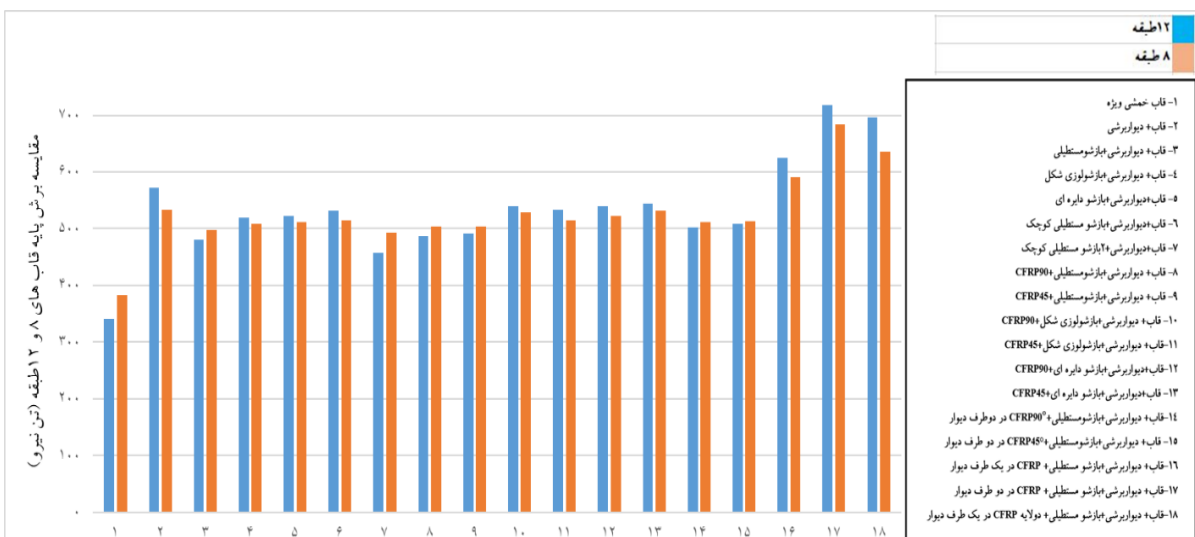
رفتار کاهش پیدا کرد. اضافه کردن الیاف پلیمری تقویتی کربن باعث افزایش ضریب رفتار تا ۹/۴ شد. ضریب اضافه مقاومت نیز تقریباً همچون ضریب رفتار با افزودن دیوار برشی و الیاف پلیمری تقویتی افزایش یافته و با ایجاد بازشو کاهش نشان داده است. ضریب شکل‌پذیری در قاب ۱۲ طبقه ۲/۲ به دست آمد که با افزودن دیوار برشی به قاب به ۵/۴ افزایش یافت. همچنین با ایجاد بازشو در دیوار برشی شکل‌پذیری تا مقدار ۳/۵ کاهش پیدا کرد و با افزودن الیاف پلیمری تقویتی کربن تا ۵/۲ افزایش یافت.

طبق نمودارهای ۳ و ۴ برش پایه قاب خمشی ویژه ۱۲ طبقه با افزودن دیوار برشی به قاب ۶۷٪ افزایش یافت که البته با ایجاد بازشو در دیوار قاب‌ها، برش پایه در این حالت نسبت به قاب با دیوار فاقد بازشو از ۷/۵٪ تا ۲۴٪ برش پایه کاهش نشان داد. بیشترین ضریب رفتار و برش پایه را بین بازشوهایی با مساحت برابر بازشو دایره‌ای شکل داشت. در مجموع بهترین عملکرد را بازشو مستطیلی کوچک داشت که نشان می‌دهد هرچه بازشو کوچک‌تر شود، ظرفیت سازه بیشتر می‌شود. با افزودن الیاف پلیمری تقویتی کربن به اطراف بازشوها در یک سمت دیوار از ۱٪ تا ۴/۱٪ افزایش مقاومت حاصل شد و با کاربرد الیاف در دو طرف دیوار مقاومت تا ۵٪ افزایش یافت. ضریب رفتار و برش - پایه الیاف مصرفی در امتداد ۴۵ درجه بیشتر از کاربرد آن‌ها در امتداد ۹۰ درجه در تمام حالت‌ها بود. با کاربرد الیاف فقط در یک طرف دیوار به صورت کامل، ۳۱٪ افزایش مقاومت نسبت به دیوار با بازشو ایجاد شد و با استفاده از الیاف در دو طرف دیوار تا ۴۹٪ افزایش به دست آمد. استفاده از دو لایه الیاف در یک طرف دیوار ۴۴٪ افزایش نشان داد.

ضریب رفتار قاب ۱۲ طبقه ۷/۴ به دست آمد که با اضافه نمودن دیوار برشی به قاب به ۸/۲ رسید. با ایجاد بازشو در دیوار ضریب



نمودار ۵ - مقایسه ضریب رفتار قاب‌های ۸ و ۱۲ طبقه



نمودار ۶ - مقایسه برش پایه قاب‌های ۸ و ۱۲ طبقه

دو طرف دیوار مقدار ضریب رفتار بیشتری نیست به دلایه کردن الیاف در یک طرف دیوار داشتند. طبق نمودار ۶ در تمامی حالت‌های مشابه، قاب مدل‌های ۸ و ۱۲ طبقه، اختلاف بین برش‌پایه آن‌ها ناچیز بوده در حالی که در مدل‌های قاب و قاب با دیوار این اختلاف بیشتر می‌باشد. بیشترین برش‌پایه متعلق به قاب‌های خمشی ویژه با دیواربرشی با باز شو مستطیلی تقویت شده با الیاف پلیمری به صورت کامل و پس از آن‌ها دیوار برشی فاقد باز شو و کمترین برش‌پایه مربوط به قاب خمشی ویژه فاقد دیوار برشی می‌باشند. از بین قاب‌های دارای دیوار با باز شو، قاب‌های دارای دیوارهای باز شو دار دایره‌ای

طبق نمودار ۵ مشهود است که ضریب رفتار قاب‌های ۱۲ طبقه در تمامی حالت‌ها از قاب‌های ۸ طبقه بیشتر است. قاب‌های خمشی دارای باز شوهای دایره‌ای و لوزی شکل و تقویت شده با الیاف پلیمری کربن در هر دو حالت ۸ و ۱۲ طبقه مقدار ضریب رفتار بیشتری داشتند. ضریب رفتار قاب‌های خمشی ویژه دارای دیوار برشی با باز شوهای دایره‌ای و مستطیلی کوچک در هر دو حالت ۸ و ۱۲ طبقه نسبت به سایر مدل‌های باز شو دار مقدار بیشتری بوده است. در هر دو حالت ۸ و ۱۲ طبقه قاب‌های خمشی دارای باز شو تقویت شده با الیاف پلیمری به صورت کامل در هر

✓ با اضافه شدن الیاف پلیمری تقویتی کربن به صورت سرتاسری روی دیوار در یک طرف و دو طرف به ترتیب ۱۸٪ و ۳۷٪ افزایش مقاومت نشان داده است.

✓ اضافه کردن دو لایه الیاف پلیمری تقویتی کربن در یک طرف دیوار باعث افزایش ۲۷٪ برش پایه شد.

✓ ضریب رفتار در قاب خمشی ویژه با اضافه کردن دیوار برشی از ۷/۲ به ۷/۷ افزایش پیدا کرد.

✓ با ایجاد بازشو در دیوار ضریب رفتار تمامی قابها کاهش یافت، به گونه‌ای که بیشترین کاهش را دیوار با دو بازشو کوچک با ضریب رفتار ۷/۲ و کمترین کاهش را دیوار با بازشو مستطیلی کوچک با ضریب رفتار ۷/۷ داشتند.

✓ با افزودن الیاف پلیمری تقویتی کربن ضریب رفتار قابها افزایش یافت، بیشترین افزایش مربوط به دیوار با بازشو دایره‌ای با الیاف در امتداد ۴۵ درجه‌ای با ضریب رفتار ۸/۸ و کمترین افزایش متعلق به دیوار با بازشو لوزی و الیاف در امتداد ۴۵ درجه با ضریب رفتار ۸/۲ بودند.

✓ با قراردادن الیاف پلیمری تقویتی کربن در دو طرف دیوار ضریب رفتار از ۸/۳ به ۸/۴ تغییر کرد و با اضافه کردن الیاف در سرتاسر یک طرف دیوار، دو طرف دیوار و دو لایه سراسری در یک طرف دیوار ضریب رفتار به ترتیب به ۸/۸، ۹/۲ و ۹ افزایش یافت.

✓ ضریب شکل‌پذیری در قاب ۸ طبقه ۲/۴ بود که با افزودن دیوار برشی به ۶/۶ افزایش یافت.

✓ با ایجاد بازشو در دیوار ضریب شکل‌پذیری به مقدار ۳/۸ کاهش یافت که با افزودن الیاف تقویتی کربن تا ۵/۹ افزایش پیدا نمود.

✓ ضریب اضافه مقاومت قاب بدون دیوار برشی ۱/۶ به دست آمد که با افزودن دیوار برشی به ۲/۸ افزایش یافت و البته با ایجاد بازشو در دیوار ۱/۹ کاهش پیدا کرد که با افزودن الیاف تقویتی کربن تا ۲/۷ افزایش نشان داد.

✓ ب: در قاب‌های ۱۲ طبقه

✓ اضافه کردن دیوار به قاب خمشی ویژه برش پایه را به میزان ۶۷٪ افزایش داد.

✓ ایجاد بازشو در دیوار باعث کاهش برش پایه گردید که به ازای بازشوهای مختلف با مساحت برابر مقادیر

لوزی و مستطیلی شکل کوچک دارای برش پایه تقریباً برابری هستند و نسبت به سایر مدل‌های بازشودار مقدار برش پایه بیشتری دارند. در میان قاب‌های تقویت شده با الیاف پلیمری کربن، قاب‌های بازشودار دایره‌ای و لوزی شکل تقویت شده با الیاف در امتدادهای ۹۰ و ۴۵ درجه ظرفیت بیشتری نسبت به سایر قاب‌های تقویت شده داشتند که این افزایش ظرفیت برای قاب‌های ۱۲ طبقه بیشتر از ۸ طبقه بوده است. در هر دو حالت ۸ و ۱۲ طبقه قاب‌های خمشی دارای بازشو تقویت شده با الیاف پلیمری به صورت کامل در هر دو طرف دیوار مقدار ظرفیت بیشتری نسبت به دو لایه کردن الیاف در یک طرف دیوار داشتند.

۵- نتایج

✓ الف: در قاب‌های ۸ طبقه

✓ اضافه کردن دیوار به قاب خمشی ۳۹٪ برش پایه را افزایش داده است.

✓ ایجاد بازشو در دیوار باعث کاهش برش پایه گردید که برای بازشوهای با اشکال مختلف و با مساحت برابر مقادیر متفاوتی داشت. کاهش میزان برش پایه برای بازشوها با اشکال مختلف به شرح زیرند:

✓ بازشو مستطیلی ۷٪

✓ بازشو لوزی شکل ۴/۹٪

✓ بازشو دایره‌ای شکل ۴/۱٪

✓ دو بازشو کوچک مستطیلی ۸/۳٪

✓ بازشو مستطیلی کوچک با ابعاد نصف ابعاد بازشو مستطیلی اصلی ۳/۷٪

✓ افزودن ورق‌های پلیمری تقویتی کربن در اطرف بازشوها باعث افزایش برش پایه به شرح زیر گردیدند:

✓ ورق‌های پلیمری تقویتی اضافه شده در امتداد ۹۰ و ۴۵ درجه به ترتیب زیر:

✓ ۱٪ و ۱/۲٪ برای بازشو مستطیلی شکل.

✓ ۴/۱٪ و ۱/۳٪ برای بازشو لوزی شکل.

✓ ۱/۹۵٪ و ۳/۹٪ برای بازشو دایره‌ای شکل.

✓ بیشترین درصد افزایش برش پایه برای بازشو در امتداد ۴۵ درجه و تقویت شده با الیاف در راستای ۹۰ درجه بوده است.

✓ دیوار با بازشو مستطیلی و تقویت شده با الیاف پلیمری کربن در دو طرف آن در امتدادهای ۹۰ و ۴۵ درجه به ترتیب ۲/۴٪ و ۳٪ افزایش مقاومت داشته است.

- متفاوتی داشت. کاهش میزان برش پایه برای بازشوها در اشکال مختلف به شرح زیر می باشد:
- ✓ بازشو مستطیلی ۱۸٪
 - ✓ بازشو لوزی شکل ۱۰٪
 - ✓ بازشو دایره‌ای شکل ۹/۳٪
 - ✓ دو بازشو کوچک مستطیلی ۲۴٪
 - ✓ و بازشو مستطیلی کوچک با ابعاد نصف ابعاد بازشو مستطیلی اصلی ۷/۵٪.
 - ✓ افزودن ورق‌های پلیمری تقویتی کربن در اطرف بازشوها باعث افزایش برش پایه به شرح زیر گردیدند:
 - ✓ ورق‌های پلیمری کربن اضافه شده در امتداد ۹۰ و ۴۵ درجه به ترتیب زیر:
 - ✓ ۱/۲۵٪ و ۲٪ برای بازشو مستطیلی شکل.
 - ✓ ۳/۸٪ و ۲/۶٪ برای بازشو لوزی شکل.
 - ✓ ۳/۹٪ و ۴/۲٪ برای بازشو دایره‌ای شکل.
 - ✓ دیوار با بازشو مستطیلی و تقویت شده با الیاف پلیمری کربن در دو طرف آن در امتدادهای ۹۰ و ۴۵ درجه به ترتیب ۴/۵٪ و ۵٪ افزایش مقاومت داشته است.
 - ✓ با اضافه شدن الیاف پلیمری تقویتی کربن به صورت سرتاسری روی دیوار در یک طرف و دو طرف به ترتیب ۳۱٪ و ۴۹٪ افزایش مقاومت نشان داده است.
 - ✓ اضافه کردن دو لایه الیاف پلیمری تقویتی کربن در یک طرف دیوار باعث افزایش ۴۴٪ برش پایه شد.
 - ✓ ضریب رفتار در قاب خمشی ویژه با اضافه کردن دیوار برشی از ۷/۴ به ۸/۳ افزایش پیدا کرد.
 - ✓ با ایجاد بازشو در دیوار ضریب رفتار تمامی قاب‌ها کاهش یافت، به گونه‌ای که بیشترین کاهش را دیوار با دو بازشو کوچک با ضریب رفتار ۷/۴ و کمترین کاهش را دیوار با بازشو مستطیلی با ضریب رفتار ۸/۲ داشتند.
 - ✓ با افزودن الیاف پلیمری تقویتی کربن ضریب رفتار قاب‌ها افزایش یافت. بیشترین افزایش مربوط به دیوار با بازشو دایره‌ای با الیاف در امتداد ۴۵ درجه با ضریب رفتار ۸/۹ و کمترین افزایش متعلق به دیوار با بازشو مستطیلی و الیاف در امتداد ۹۰ درجه با ضریب رفتار ۸/۶ بودند.
 - ✓ با قراردادن الیاف پلیمری تقویتی کربن در دو طرف دیوار ضریب رفتار از ۸/۶ به ۸/۷ افزایش یافت.
- ✓ با اضافه کردن الیاف در سرتاسر یک طرف دیوار، دو طرف دیوار و دولایه سراسری در یک طرف دیوار ضریب رفتار به ترتیب به ۹/۱، ۹/۴ و ۹/۲ افزایش یافت.
- ✓ ضریب شکل‌پذیری در قاب ۱۲ طبقه ۲/۲ و با افزودن دیوار برشی به ۵/۶ افزایش یافت.
- ✓ با ایجاد بازشو در دیوار ضریب شکل‌پذیری به مقدار ۳/۵ کاهش یافت که با افزودن الیاف تقویتی تا ۵/۲ افزایش پیدا نمود.
- ✓ ضریب اضافه مقاومت قاب بدون دیوار برشی ۱/۹ به دست آمد که با افزودن دیوار به ۲/۷ افزایش یافت و البته با ایجاد بازشو در دیوار به ۲/۱ کاهش و با افزودن الیاف تا ۲/۸ افزایش نشان داد.
- ✓ **ج: نتایج مشترک**
- ✓ ایجاد بازشو در دیوار باعث کاهش برش پایه و ضریب رفتار گردید.
- ✓ هرچه مساحت بازشو کوچک‌تر شد، سازه ظرفیت بیشتری از خود نشان داد.
- ✓ استفاده از یک بازشو با سطح ثابت ضریب رفتار و برش پایه بهتری دارد، نسبت به وقتی که یک بازشو به دو بازشو با مجموع سطح ثابت تبدیل شد.
- ✓ بازشو دایره‌ای شکل بین تمامی بازشوهای تحقیق ضریب رفتار و برش پایه بیشتری داشت.
- ✓ استفاده از الیاف در امتداد ۴۵ درجه نسبت به امتداد ۹۰ درجه ظرفیت بیشتری را نشان داد.
- ✓ هرچه سطح الیاف پلیمری تقویتی کربن بر روی دیوار افزایش پیدا کرد، ظرفیت سازه بیشتر شد.
- ✓ اضافه کردن الیاف پلیمری تقویتی کربن در دو طرف دیوار اثر بهتری بر ضریب رفتار و ظرفیت سازه نسبت به دو لایه کردن الیاف در یک طرف دیوار داشت.

مراجع

World Conference on Earthquake Engineering, 2004; Vancouver, B.C., Canada.

[۱۳] عرب‌زاده، ا.، مظفرجری، م.، ۱۳۹۴، مقایسه تاثیر مساحت و موقعیت گشودگی بر رفتار و ظرفیت نهایی دیوارهای برشی بتن- مسلح، نشریه بتن دانشگاه تربیت مدرس، سال ۸، شماره ۲، صص ۱۱۷-۱۲۸.

[۱۴] بهارلو، م.، حجازی، م.، ۱۳۹۸، ارزیابی پاسخ دیوارهای برشی بتن‌آرمه دارای بازشو تحت بارگذاری چرخه‌ای، مجله تحقیقات بتن ایران، دوره ۱۲، شماره ۲، صص ۹۳-۷۷.

[۱۵] کلوشانی، ع.، بهفرنیا، ک.، ۱۳۸۵، تقویت تیر بتن‌آرمه دارای بازشو در جان با ورق‌های FRP، هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران.

[۱۶] نادری، م.، اسمعیلی‌زاده، س.، ۱۳۹۵، مقاومت نهایی تیرهای بتنی تقویت شده با CFRP انعطاف‌پذیر و سخت، در دمای بالا و یخ‌زدگی، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی عمران و محیط زیست امیرکبیر، دوره ۴۸، شماره ۱، صص ۵۲-۳۹.

[۱۷] مستوفی‌نژاد، د.، محمدی‌انایی، م.، ۱۳۸۹، اثر تقویت اجزای مرزی دیوار توسط مواد FRP، بر رفتار دیوار برشی بتن‌آرمه لاغر، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی عمران و محیط زیست امیرکبیر، دوره ۴۲، شماره ۳.

[۱۸] ناطقی‌الهی، ف.، دهقانی، ا.، علی‌نژاد، م.ج.، ۱۳۹۶، مدل-سازی و بررسی رفتار قاب‌های بتنی میان‌پر تقویت شده با کامپوزیت‌های پلیمری مسلح الیافی، نشریه علمی-ترویجی مصالح و سازه‌های بتنی، انجمن علمی بتن ایران، سال ۲، شماره ۱.

[19] Chen J, Teng J, Shear capacity of FRP-strengthened RC beams: FRP debonding, Journal of Construction and Building Materials, 2003; 17(1): 27-41.

[20] Mostofinejad D, Mahmoudabadi E. Grooving as alternative method of surface preparation to postpone debonding of FRP laminates in concrete beams, Journal of Composites for Construction, 2010; 14(6): 804-811.

[21] Lombard J, Lau D, Humar J, Foo S, Cheung M. Seismic strengthening and repair of reinforced concrete shear walls, 12th world conference of earthquake engineering. 2000.

[22] Li B, Qian K, Tran C. Retrofitting earthquake-damaged RC structural walls with openings by externally bonded FRP strips and sheets, Journal of Composites for Construction, 2013; 16(2): 259-270.

[23] El-Sokkary H, Galal K, Ghorbanirehani I, Léger P, Tremblay R. Shake table tests on FRP-Rehabilitated RC shear walls, Journal of Composites for Construction, 2013; 17(1): 79-90.

[۱] اکبری، ر.، ماهری، م.ر.، ۱۳۸۱، بررسی ضریب رفتار سیستم سازه‌ای قاب بتن مسلح مقاوم‌شده با بادبند فولادی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ایمن‌سازی و بهسازی سازه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

[۲] وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت امور مسکن و ساختمان، ۱۳۸۷، مبحث دهم طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، تهران، ایران.

[3] Kheyroddin A, Naderpour H, Nonlinear Finite Element Analysis of R/C Shear, Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, 2006; 32(B2): 79-89.

[4] Salonikios TN, Kappos AJ, Tegos IA, Penelis G. Cyclic Load Behavior of Low-Slenderness Reinforced Concrete Walls: Failure Modes, Strength and Deformation Analysis and Design Implications, ACI Structural Journal, 1999; 96(4): 649-660.

[۵] پودات، م.، ۱۳۹۲، بررسی اثر تقویت FRP بر ظرفیت نهایی دیوار برشی بتنی دارای بازشو با استفاده از اجزا محدود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

[6] Haselton CB, Liel AB, Dean BS, Chou JH, Deierlein GG. Seismic Collapse Safety and Behavior of Modern Reinforced Concrete Moment Frame Buildings, 2007; Structural Engineering Research Frontiers.

[7] Haselton CB, Liel AB, Deierlein GG, Dean BS, Chou JH. Seismic collapse safety of reinforced concrete buildings: I. Assessment of ductile moment frames, Journal of Structural Engineering, 2011; 137(4): 481-491.

[۸] بهارلو، م.، حجازی، م.، ۱۳۹۸، ارزیابی پاسخ دیوارهای برشی بتن‌آرمه دارای بازشو تحت بارگذاری چرخه‌ای، مجله تحقیقات بتن ایران، دوره ۱۲، شماره ۲، صص ۹۳-۷۷.

[۹] شفیع‌نیا، م.، ۱۳۹۸، بررسی آزمایشگاهی و نرم‌افزاری رفتار ستون‌های دایره‌ای با پوسته GRP پر شده از بتن پر مقاومت مسلح و تقویت شده با FRP تحت بارگذاری محوری، پایان‌نامه دکترای تخصصی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران.

[۱۰] فتوحی‌سرا، ش.، ۱۳۹۶، بررسی ایمنی لرزه‌ای سیستم‌های قاب خمشی ویژه و دوگانه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

[11] Saheb M, Desayi P. Ultimate strength of RC wall panels with openings, Journal of Structural Engineering, 1990; 116(6): 1565 - 1577.

[12] Riva P, Meda A, Giuriani E. Experimental test on a full scale repaired R.C. structural wall, The 13th

[۳۵] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۳، آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله- استاندارد ۲۸۰۰ ایران، ویرایش چهارم، تهران، ایران.

[36] Hosseini Bai SM, Gholamzadeh M. Bilinearization of the Pushover curve and determination of behavior coefficient by Chopra method, Third Annual Conference on Architectural, Urban Planning and Urban Management Research, 2017; Shiraz, Iran.

[37] Whittaker AS, Uang CM, Bertero VV. Earthquake Simulation Tests and Associated Studies of a 0.3-Scale Model of a Six-Story Eccentrically Braced Steel Structure, Report No. UCB/EERC-87/02, Earthquake Engineering Research Center, 1987; University of California, Berkeley, CA.

[24] Altin S, Anil Ö, Koprman Y, Kara M. Hysteretic behavior of RC shear walls strengthened with CFRP strips, Journal of Composites, 2013; 44(1): 321-329.

[۲۵] کهوری، ر.، رهبررنجی، ا.، ۱۳۹۶، تحلیل عددی دیوارهای برشی بتن مسلح و دارای بازشو قیل و بعد از مقاوم‌سازی با الیاف پلیمری کربن، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و شهرسازی ایران معاصر، تهران، ایران.

[۲۶] موسوی، س.م.، ۱۳۹۲، بررسی رفتار دیوار برشی تقویت شده به‌وسیله مواد کامپوزیت پلیمری FRP، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی آبا، ایران.

[۲۷] عروجی، ش.، ۱۳۹۴، بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمان بتنی دارای دیوار برشی تقویت شده با الیاف پلیمری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان، اهواز، ایران.

[28] Mohammad BS, Ean LW, Anwar Hossain KMA. CFRP Composites for Strengthening of Reinforced Concrete Walls with Openings, International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), 2015; 1(4): 1841-1852.

[29] Shafieinia M. Laboratory and software study of the behavior of circular columns with GRP shell filled with high-strength reinforced concrete and reinforced with FRP under axial loading. PhD thesis. Faculty of Engineering. Islamic Azad University. Ahvaz Branch. Ahvaz. Iran. 2019. (In Persian).

[30] Yun, X., Gadner, L., 2017, Stress-strain curves for hot-rolled steels, Journal of Constructional Steel research, Vol. 123, pp. 36-46.

[31] Li, G., Chen, B., Yang, Z., Feng, Y., 2018, Experimental and numerical behaviour of eccentrically loaded high strength concrete-filled high-strength square steel tube stub columns, Journal of Thin-Walled Structure, Vol. 127, pp. 483-499.

[32] Behnam, H., Kuang, J.S., Samali, B., 2018, Parametric finite element analysis of RC wide beam-column connections, Journal of Computers and Structures, Vol. 205, pp. 28-44.

[۳۳] وزارت راه و شهرسازی معاونت مسکن و ساختمان، ۱۳۹۲، مقررات ملی ساختمان ایران مبحث نهم طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، ویرایش چهارم، تهران ایران.

[۳۴] خیرالدین، ع.، ۱۳۹۵، دیوارهای برشی، چاپ اول، سمنان، ایران.

Calculation of the Behavior Coefficient of the Combined System of Special Moment-resisting Frame and Concrete Shear Wall with Openings Reinforced with CFRP

Seyed Fathollah Sajedi

Associate professor, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Mostafa Echresh Omeiry

M.Sc. student, Department of Civil Engineering, Abadan Branch, Islamic Azad University, Abadan, Iran

Abstract

Today, the reinforcing polymer composites are widely applied to improve the seismic behavior of the structures. The history of structures reinforced with polymer sheets is mostly related to the reinforcement of beams and columns. In this study, the behavior coefficient of a special concrete moment-resisting frame in combination with a concrete shear wall (CSW) with opening and retrofitted with Carbon fiber reinforced polymer (CFRP) was calculated. The CSW was added as a reinforcement to the pre-designed concrete moment-resisting frame at two heights of 8 and 12 floors, then circular, rhombic and rectangular openings were created in the walls and CFRP were added around the openings along 45 and 90 degrees on one side and both sides of the wall. The results of the analyses presented that the strength of the structure decreased with the opening of the wall, and when the fibers were added around the opening, the resistance increased slightly; this slight increase in strength is due to the low amount of fibers. To cope with this issue, a layer of fibers was glued to the wall area on one side, on both sides, and two layers of fibers on one side of the wall around the opening. The interpretation of the results indicated that the higher the level of reinforcing fibers on the wall, the higher the capacity and behavior coefficient of the structure. The addition of CFRP on both sides of the wall had a better effect on the behavior coefficient and capacity of the structure than the application of two layers of fibers on one side of the wall.

Keywords: Seismicity, Behavior coefficient, Special concrete moment-resisting frame, Shear wall with opening, Carbon fiber reinforced polymers (CFRP).



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license:

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)