

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال تیر - ستون بتنی تقویت شده با پوشش الیاف کربنی

جاسم بنی‌اسد^۱، حمیدرضا ناصری^۲، محسن خطیبی‌نیا^{۳*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-سازه، دانشگاه بیرجند

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند

*m.khatibinia@birjand.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۰۸/۰۲]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۰۳/۱۶]

چکیده- در قاب خمشی بتن‌آرمه، نیروی برشی قابل توجهی در اتصالات آن تحت بار جانبی ایجاد می‌شود که با تغییرشکل‌های زیادی همراه است. از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رفتار قاب خمشی تحت بار جانبی، عملکرد صحیح اتصالات است. در این پژوهش، ۶ الگوی تقویت اتصال تیر-ستون بتن مسلح تقویت‌شده با استفاده از ورق‌های الیاف کربنی (CFRP) پیشنهاد شده و عملکرد لرزه‌ای اتصال بررسی شده است. برای رسیدن به این هدف، ابتدا مدل‌سازی اتصال تیر-ستون تقویت‌شده با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس انجام شده است. در این مدل، مدل‌سازی بتن با استفاده از مدل الاستوپلاستیک آسیب‌دیده و ورق‌های CFRP به صورت الاستیک و ارتوتروپیک مدل شده‌اند. سپس با استفاده از نتایج تحلیل، انتخاب بهترین الگوی تقویت اتصال تیر-ستون با ورق‌های CFRP بر پایه‌ی بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصالات از لحاظ میزان باربری، جذب انرژی، سختی اولیه و تغییر سازوکار شکست اتصال تعیین شده است. نتایج نشان می‌دهد که چیدمان مناسب ورق‌های CFRP می‌تواند باعث افزایش میزان باربری، بار ترک‌خوردگی، سختی اولیه، استهلاک انرژی و جذب انرژی اتصال شود. همچنین الگوهای تقویتی پیشنهادی باعث انتقال شکست از بر ستون به تیر در اتصال می‌شود.

واژگان کلیدی: اتصال تیر-ستون، تقویت اتصال، ورق‌های الیافی کربنی، بهبود عملکرد لرزه‌ای

۱- مقدمه

که اتصال از مقاومت و شکل‌پذیری کافی در تحمل بارهای نهایی تیر و ستون برخوردار باشد. در بسیاری از سازه‌های بتن مسلح که در معرض زلزله‌های شدید قرار گرفته‌اند، شکست برشی اتصال مشاهده شده است. این امر ممکن است به دلیل این باشد که سازه‌های بتن مسلح در منطقه‌ی اتصال تیر-ستون خود از لحاظ تقویت‌های عرضی ناکافی یا بر اساس طراحی ستون ضعیف-تیر قوی، مطابق با آیین‌نامه‌های قبلی (بدون جزییات لرزه‌ای) انجام شده باشد. در نتیجه ظرفیت برشی آن اتصال کم باشد. پس شکست اتصال تیر-ستون باعث

امروزه تقویت و بهسازی سازه‌های موجود بخش اعظم فعالیت‌های ساختمانی را به‌ویژه در کشورهای پیشرفته تشکیل می‌دهد. وجود ضعف اولیه در طراحی و اجرا، تغییر کاربری برخی سازه‌ها و افزایش بارهای وارده و همچنین کاهش سطح عملکرد سازه‌های بتن مسلح به علت گذشت زمان و زوال بتن از دلایل نیاز به بهسازی و تقویت سازه‌های بتن مسلح است. یکی از مسائل تعیین‌کننده‌ی رفتار سازه‌های بتنی در مقابل بار زلزله، رفتار اتصال و شکل‌پذیری مناسب آن است. در حقیقت شرط رسیدن به شکل‌پذیری کافی در تیرها و ستون‌ها آن است

استفاده از ورق‌های FRP صورت گرفت و دوباره آزمایش انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که شکل‌پذیری نمونه تقویت‌شده تا حدود ۳۲ درصد نسبت به نمونه تقویت نشده افزایش داشته است. پروین [9، 8] تقویت اتصالات بتنی با استفاده از FRP را مورد مطالعه قرار داد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، ورق‌های FRP باعث بهبود مقامت و افزایش شکل‌پذیری اتصال می‌شود. لی و همکاران [10] آزمایش‌های مختلفی را روی اتصالات تیر به ستون بتنی که به وسیله‌ی ورق‌های FRP تقویت شده بود انجام دادند. نتایج نشان داد که سختی و ظرفیت تحمل بار اتصالات بهبود قابل توجهی یافته است. بالسامو^۵ و همکاران [11] رفتار یک قاب ۴ طبقه با دیوار برشی و مقیاس کامل را آزمایش کردند. برای این منظور، قاب تقویت‌شده تحت بارهای شبه دینامیکی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تقویت نمودن قاب نه تنها توانست پایداری موضعی قاب را بهبود بخشد بلکه صدمات متمرکز را کاهش داد. به علاوه ظرفیت جابه‌جایی و دوران اتصال بدون هیچ‌گونه کاهش در مقاومت افزایش یافت. مهینی و رونق [12، 13] مدل آزمایشگاهی یک اتصال خارجی از ساختمان ۸ طبقه بتنی که با ورق‌های CFRP تقویت شده بود را بررسی نمودند. مطالعات آزمایشگاهی آنها نشان داد که در اتصالات تقویت شده، شکست از ستون فاصله می‌گیرد همچنین ماکزیمم ظرفیت ممان قابل تحمل اتصال در حدود ۶٫۸ درصد افزایش پیدا می‌کند.

هدف از این پژوهش، بررسی ارزیابی عملکرد لرزه‌ای الگوهای مختلف پیشنهادی تقویت اتصال تیر به ستون بتنی با استفاده از CFRP و تعیین بهترین الگو است. برای دستیابی به این هدف، ۶ الگوی تقویت اتصال تیر به ستون بتن مسلح تقویت‌شده با CFRP پیشنهاد شده است. همچنین، موقعیت، چیدمان و طول الیاف پوششی در چگونگی عملکرد لرزه‌ای اتصال با تعیین بیشینه نیروی قابل تحمل، جذب و استهلاک انرژی اتصال بررسی شده است. برای تعیین عملکرد لرزه‌ای این الگوهای پیشنهادی، ابتدا مدلسازی اتصال تیر به ستون تقویت شده با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس انجام

آسیب‌های جدی و فروپاشی ساختمان می‌شود. امروزه تقویت ظرفیت اتصال در حوزه‌ی طراحی لرزه‌ای برای سازه‌های بتن مسلح از مسائل مهم است و یکی از دغدغه‌های طراحان به شمار می‌آید.

در دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰، ژاکت‌های فولادی برای تقویت اتصالات پیشنهاد شد [1]. در سال ۱۹۹۹، پوربا^۱ و مفتی^۲ [2] سه نمونه ستون با مقاطع دایروی ساخته و دو نمونه از آنها را به وسیله‌ی ورق‌هایی از جنس کربن دورپیچ تقویت نمودند و بعد از بارگذاری نمونه تحت بار محوری، مشاهده شد که ظرفیت باربری ستون‌ها ۹۰ درصد افزایش یافته است. در سال ۲۰۰۱، بالدیو^۳ و همکاران [3] دو قاب که به وسیله آیین‌نامه‌های قبل از ۱۹۷۰ طراحی شده بودند را تحت آزمایش قرار دادند. پس از تقویت تیر و ستون‌ها با استفاده از الیاف کربنی تک‌سویه، شکل‌پذیری تغییرمکانی آنها از ۲ به ۷ افزایش یافت. در سال ۲۰۰۳، نوردین [4] نشان داد که مقاومت‌سازی یک عضو با الیاف کربنی (CFRP) باعث افزایش سختی و مقاومت می‌شود. ژو و همکاران [5] تعدادی ستون و تیر را به وسیله الیاف FRP شیشه‌ای مقاوم‌سازی نمودند همچنین در این مطالعه، تأثیر مواد خورنده روی این سازه‌ها را بررسی کردند. نتایج مطالعات آزمایشگاهی آنها نشان داد، در صورت استفاده از سه لایه FRP، ظرفیت خمشی تیرهای بررسی شده بیش از ۵۰ درصد افزایش پیدا می‌کند. از طرفی، مقاومت خمشی تیرهای بتن مسلح مقاوم‌سازی شده که به مدت شش ماه داخل مواد شیمیایی قرار گرفته بودند، در مقایسه با تیرهای مقاوم‌سازی نشده بیشتر بوده است. تلاش پژوهشگران در سال‌های اخیر به خاطر بالا بردن ظرفیت خمشی اعضای بتنی، شیوه‌های جدید مقاوم‌سازی و سهولت مقاوم‌سازی و بالا بردن ظرفیت سازه‌ها باعث شده تا مهندسین سازه روی به استفاده از سیستم‌های پلیمری تقویت‌شده بیاورند [6]. مسلم [7]، ۶ نمونه اتصال بتنی داخلی با مقیاس ۱/۲ تحت بارگذاری چرخه‌ای را بررسی نمود. در این پژوهش، ابتدا نمونه‌ها تا مرحله شکست بارگذاری شده و سپس تقویت اتصال با تزریق اپوکسی و

1 Purba

2 Mufti

3 Pulido

4 Carbon Fiber Reinforced Polimer

5 Balsamo

اتصالات وظیفه انتقال کامل تمامی لنگرهای خمشی، پیچشی و نیروهای محوری و برشی بین اعضا متصل به هم را عهده دارند. به وجود آمدن تغییر شکل‌های جزئی در محل اتصال باعث می‌شود که این وظیفه به طور کامل انجام نشود. اتصال تیر-ستون در بین انواع اتصالات دیگر در قاب‌های بتن مسلح حائز اهمیت خاصی است. زیرا لنگرهای منفی بیشینه و همچنین نیروهای برشی بیشینه در محل اتصال اتفاق وجود دارد و در نتیجه تراکم آرماتور گذاری مورد نیاز فوق‌العاده زیاد می‌شود. از طرفی، در سازه‌های نامعین استاتیکی پس از شکست اتصال، لزوماً سازه فرو نخواهد ریخت و در صورتی که اتصال بتواند رفتاری نرم داشته باشد پس از تشکیل مفصل پلاستیک از درجات نامعینی سیستم کم شده و یک باز توزیع ممان در اعضای مجاور به اتصال صورت خواهد گرفت که باعث خواهد شد که سازه بتواند بارهای بیشتری را تحمل کند. اگر بتوان سیکل مفصل پلاستیک را به بیرون از ناحیه اتصال هدایت نمود در این صورت عملکرد سیستم بهبود خواهد یافت. به ویژه در قاب‌های بتن آرمه مطلوب این است که مفصل پلاستیک به خارج از ناحیه اتصال تیر به ستون و به درون تیر هدایت شود. این موضوع باعث می‌شود که حین وقوع زلزله از تشکیل طبقه نرم جلوگیری شود و فلسفه تیر ضعیف-ستون قوی نیز رعایت شود. برای رسیدن به این هدف، می‌توان با مقاوم‌سازی اتصال تیر به ستون عملکرد لرزه‌ای قاب بتنی را بهبود داد. در این مطالعه سعی می‌شود با ارائه الگوهای مختلف و بررسی عملکرد آن‌ها، بهترین الگوی مقاوم‌سازی مشخص شود.

۴ - مدل سازی اتصال تیر-ستون

در این مطالعه، برای مدل‌سازی اتصال تقویت شده و بررسی عملکرد لرزه‌ای آن از نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس [15] استفاده شده است. برای این منظور، مدل‌سازی بتن با استفاده از المان‌های C3D8R با هشت درجه آزادی در هر گره، آرماتورها با استفاده از المان‌های خطی دو گره‌ای T3D2 و مدل‌سازی CFRP از المان S8R انجام شده است. برای اطمینان

شده است. در مدل اجزای محدود، برای مدل‌سازی بتن از مدل الاستوپلاستیک آسیب دیده و ورق‌های CFRP به صورت الاستیک و ارتوتروپیک مدل شده‌اند. سپس این مدل‌های اجزای محدود تحت بارگذاری چرخه‌ای مشخص تحلیل شده و با استفاده از نتایج تحلیل، بیشینه نیروی قابل تحمل، جذب و استهلاک انرژی اتصال برای هر یک از الگوهای پیشنهادی تعیین شده است. نتایج نشان می‌دهد که چیدمان مناسب ورق‌های CFRP می‌تواند باعث افزایش میزان باربری، بار ترک‌خوردگی، سختی اولیه، استهلاک و جذب انرژی اتصال شود. همچنین، سازوکار شکست اتصال در الگوهای تقویتی پیشنهادی از بر ستون به تیر انتقال یافته است.

۲ - پوشش الیاف کربن

پوشش الیاف کربن یا CFRP موادی غیرفلزی و مقاوم در برابر خوردگی هستند که این ویژگی‌ها در کنار خواص مهم دیگر مانند مقاومت کششی زیاد آن‌ها را برای استفاده به عنوان آرماتور مناسب می‌دانند. از آنجایی که CFRPها مصالحی ناهمسانگرد هستند نوع و مقدار فیبر و رزین استفاده شده، سازگاری فیبر و کنترل کیفیت لازم هنگام ساخت آن نقش اصلی را در بهبود خواص مکانیکی آن دارد. از جمله مزایای CFRP می‌توان به مقاوم کششی بیشتر در مقایسه با فولاد، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت و دوام در برابر عوامل شیمیایی، مقاومت مناسب در حرارت‌های بالا، وزن کم، هزینه اجرای مناسب، طول آزاد، ضخامت بسیار کم، اجرای ساده ورق‌ها و سطح اجرا شده بسیار تمیز بعد از اجرا اشاره نمود. همچنین مواد CFRP دارای معایبی است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به قیمت بالای مصالح، پایین بودن ضریب ارتجاعی، مقاومت کم در برابر پدیده خستگی، ایجاد پدیده ترد شکنی و حساسیت به خراش و ساییدگی در هنگام نصب نام برد [14].

۳- عملکرد اتصال تیر-ستون

در طراحی سازه‌های بتن آرمه با اتصالات صلب، فرض بر گیرداری کامل اعضا در محل اتصالات است. این گونه

ورق‌های تک محوره مسلح شده کامپوزیتی به صورت موازی با محور طولی تیر قرار داده شده‌اند. آزمایش با اعمال یک بار ثابت در انتهای ستون و یک بار ثابت در نوک تیر انجام گرفته است. هندسه مدل آزمایشگاهی همراه با جزئیات مقاوم‌سازی در شکل (۱) نشان داده شده است.

همچنین، مشخصات بتن، فولاد و CFRP مدل آزمایشگاهی در جداول (۱ تا ۴) نشان داده شده است.

جدول (۱) مشخصات CFRP آزمایشگاهی [۱۲]

G_{xy} (MPa)	G_{xz} (MPa)	G_{yz} (MPa)	E_z (MPa)	E_y (MPa)	E_x (MPa)
12576	12576	7147	18581	18581	240000
σ_x (MPa)	σ_y (MPa)	σ_z (MPa)	σ'_x (MPa)	σ'_y (MPa)	σ'_z (MPa)
80	80	80	3900	53.7	53.7

Table 1 Properties of the CFRP experimental [12]

جدول (۲) مشخصات بتن [۱۲]

Modulus of Elasticity (Gpa)	Poisson's ratio Modulus	Tensile strength (Mpa)	Compressive strength (Mpa)
276	0.15	4	40

Table 2 Properties of concrete [12]

جدول (۳) مشخصات پلاستیک بتن [۱۲]

Dilation	Eccentricity	f_{b0} / f_c	K	Viscosity Parameter
31	0.1	1.16	0.67	0.001

Table 3 Properties of plasticity concrete

جدول (۴) مشخصات فولاد [۱۲]

Modulus of Elasticity (Gpa)	Yield stress (Mpa)	Diameter (mm)	Steel
200	507	12	Longitudinal reinforcement
200	382	6.5	Lateral reinforcement

Table 4 Properties of steel [12]

پس از تحلیل مدل در نرم‌افزار آباکوس، نتایج مدل اجزائی محدود و نتایج آزمایشگاهی [12] در شکل (۲) نشان داده شده است.

از درستی مدل‌سازی اجزائی محدود اتصال تقویت شده و فرضیه‌های بکار گرفته شده در نرم‌افزار آباکوس، نتایج حاصل از مدل اجزائی محدود با نتایج آزمایش عملی که به وسیله میهنی و رونق [12، 13] انجام گرفته، مقایسه شده است.

میهنی و رونق [12، 13]، یک اتصال خارجی ساختمان ۸ طبقه بتنی در مقیاس آزمایشگاهی را بررسی و مطالعه کردند. در این اتصال، تیرها به عمق ۱۸۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۳۰ میلی‌متر و عرض ستون‌ها ۱۸۰ میلی‌متر و عمق آن‌ها ۲۲۰ میلی‌متر است. تیر و ستون‌ها هرکدام شامل آرماتورهای طولی به قطر ۱۲ میلی‌متر است که در چهار گوشه مقطع قرار دارند. میلگردهای عرضی به قطر ۶/۵ میلی‌متر و به فاصله مرکز به مرکز ۱۵۰ میلی‌متر و در انتهای تیر و ستون به ترتیب ۳۰ میلی‌متر و ۲۵ میلی‌متر (به منظور جلوگیری از گسیختگی موضعی) در نظر گرفته شد. همچنین، در محل اتصال از دو عدد آرماتور برشی به قطر ۶/۵ میلی‌متر استفاده شده است و آرماتورهای طولی تیر به صورت خم در هسته اتصال مهار شده است. در این مطالعه تقویت اتصال با استفاده از سه لایه ورقه CFRP با ضخامت ۰/۱۶۵ و به طول ۲۰۰ میلی‌متر که از بر ستون به سمت تیر استفاده شده (که به آن تقویت جان می‌گویند) انجام شده است.

شکل (۱) مشخصات مدل آزمایشگاهی [۱۲]

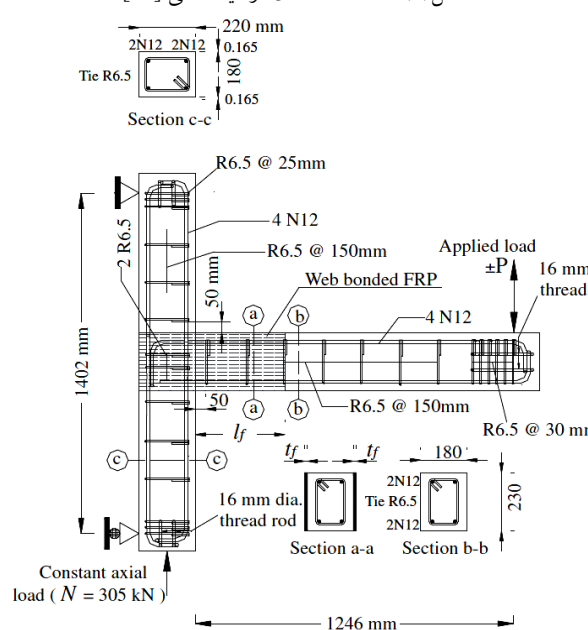


Fig. 1. Experimental model [12]

بررسی شده است. برای این منظور، طول‌های ۱۸، ۲۳ و ۲۸ سانتی‌متر برای هر یک از الگوهای پیشنهادی در نظر گرفته شده است. پس، ۱۸ حالت مقاوم‌سازی اتصال ایجاد شده که در جدول (۵)، شماره‌گذاری آنها نمایش داده شده است.

شکل (۴) الگوهای پیشنهادی تقویت اتصال تیر به ستون

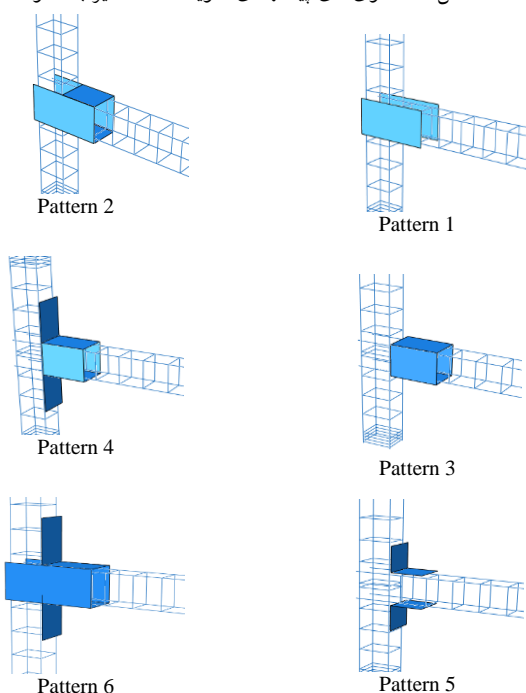


Fig. 4. The proposed model for retrofitted beam-column joint

جدول (۵) حالت‌های مقاوم‌سازی ارائه شده

The along plate of joint location			Case
28cm	23cm	18cm	
1-3	1-2	1-1	1
2-3	2-2	2-1	2
3-3	3-2	3-1	3
4-3	4-2	4-1	4
5-3	5-2	5-1	5
6-3	6-2	6-1	6

Table 5 The cases of the proposed retrofitting

برای بررسی عملکرد الگوهای پیشنهادی، مدل اجزای محدود این الگوها در نرم‌افزار آباکوس تحت بارگذاری ارائه شده در مطالعه آزمایشگاهی مهینی و رونق [12] قرار گرفته است. در این بارگذاری نمونه‌ها تا تغییر مکان ۳ سانتی‌متر ارزیابی شده‌اند. پس از تحلیل مدل نتایج ارزیابی این الگوها در جدول (۶) نمایش داده شده است.

شکل (۲) مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی [۱۲] و مدل تحلیلی اتصال

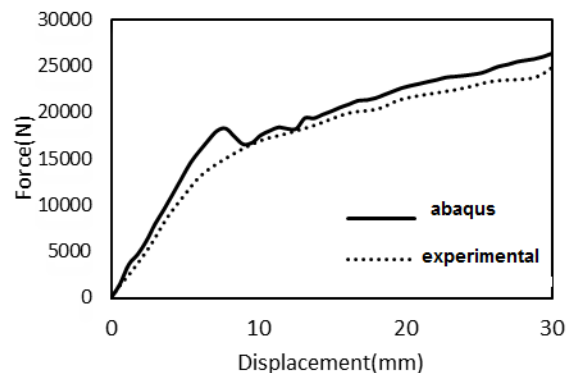


Fig. 2. Comparing diagram of forces-displacement laboratory samples [12] with that of analysis model of connection

با مقایسه نتایج مشاهده می‌شود که انطباق مناسبی در نمودار پاسخ بار-جاب‌جایی در کل مسیر بارگذاری بین نمونه تحلیلی و آزمایشگاهی وجود دارد. همچنین، برای مدل اجزای محدود مشاهده می‌شود که در جابه‌جایی ۷ میلی‌متر کاهش نیرو رخ داده است که این کاهش به دلیل شکست پوشش بتن و در نتیجه ایجاد کشش در فولادها است. با توجه به شکل (۳)، محل شکست تیر در مدل اجزای محدود مانند مدل آزمایشگاهی از ستون فاصله گرفته و در محل شروع اتصال ورق CFRP اتفاق افتاده است.

شکل (۳) مدل اجزای محدود اتصال تقویت شده با CFRP

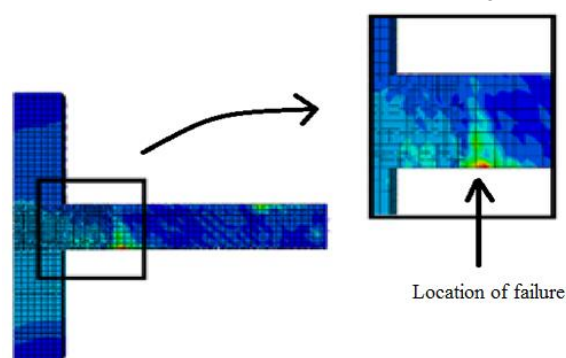


Fig. 3. Finite Element model of reinforced connection with CFRP

۵- بررسی الگوهای پیشنهادی مقاوم‌سازی اتصال تیر-ستون

در این مطالعه، ۶ الگوی چیدمان CFRP برای تقویت اتصال و بهبود عملکرد اتصال پیشنهاد شده است. الگوهای پیشنهادی این مطالعه در شکل (۴) نشان داده شده است. همچنین در این الگوها تأثیر طول ورق CFRP در عملکرد اتصال

بقیه الگوهای پیشنهادی بهینه است و می‌تواند بهترین حالت برای مقاوم‌سازی اتصال باشد. با توجه به بهینه‌بودن و عملکرد مناسب این اتصال، استهلاک انرژی این اتصال را در بخش بعدی بررسی می‌کنیم.

۶- استهلاک انرژی

با توجه به نتایج بخش قبل، نیروی استهلاک انرژی در اتصال تقویت‌شده بتنی را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم. برای بررسی استهلاک انرژی اتصالات تقویت‌شده، بارگذاری چرخه‌ای شکل (۵) بر الگوهای اتصال تقویت‌شده اعمال می‌شود. با توجه به بیشینه نیرو برای حالت (۲-۳)، بارگذاری چرخه‌ای اعمالی به نمونه‌ها در شکل (۵) نشان داده شده است. این بارگذاری مشابه بارگذاری در مطالعه مهینی و همکاران [13] است.

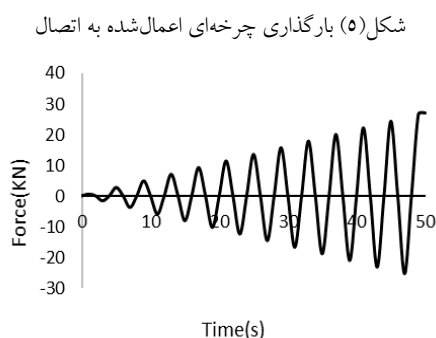


Fig. 5. Cyclic loading applied to the connection

پس از تحلیل اتصال تقویت حالت (۲-۳) تحت بارگذاری چرخه‌ای شکل (۵)، نمودار هیستریزس اتصال تحت بارگذاری چرخه‌ای در شکل (۶) نمایش داده شده است.

شکل (۶) نمودار هیستریزس حالت (۲-۳) تحت بارگذاری چرخه‌ای

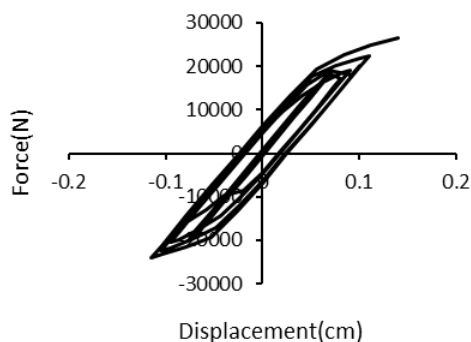


Fig. 6. Hysteresis graph of case (2-3) subjected to load cyclic

جدول (۶) نتایج ارزیابی عملکرد الگوهای پیشنهادی

Case	Location of failure	Force	Energy absorbed	Percent improvement energy	Failure
No sheet	Near Column	21043	41986	-	Sudden
1-1	Beam	25710	55756	32.79	Flexibility
1-2	Beam	26266	56047	33.48	Flexibility
1-3	Beam	26349	56176	33.79	Flexibility
2-1	Beam	25723	56127	33.67	Flexibility
2-2	Beam	26362	57536	37.03	Flexibility
2-3	Beam	27603	58305	38.86	Flexibility
3-1	Beam	25231	55126	31.29	Flexibility
3-2	Beam	25336	55610	32.44	Flexibility
3-3	Beam Column	25676	55797	32.89	Flexibility
4-1	Beam	26294	56294	34.07	Flexibility
4-2	Beam	26780	57980	38.09	Flexibility
4-3	Near beam	27674	58754	39.99	Flexibility
5-1	Column	23883	53812	28.16	Flexibility
5-2	Near column	24557	53934	28.46	Sudden
5-3	Beam column	24925	54055	28.74	Flexibility
6-1	Beam	25068	55191	31.45	Sudden
6-2	Beam	26387	55869	33.06	Flexibility
6-3	Beam	26440	55940	33.23	Flexibility

Table 6 Results of the performance assessment of the proposed patterns

با توجه به نتایج جدول (۶) مشاهده می‌شود که در تمامی الگوهای مقاوم‌سازی پیشنهادی نیروی مقاوم، انرژی جذب‌شده و نیروی مورد نیاز برای رسیدن به جابه‌جایی مورد نیاز نسبت به حالت بدون تقویت افزایش یافته است و در بیشتر حالات شکست از بر ستون فاصله گرفته است و فقط در چهار حالت (۳-۳)، (۱-۵)، (۲-۵)، (۶-۱) تقویت‌شده، تنش زیادی در ستون ایجاد می‌شود و شکست در نزدیک ستون اتفاق می‌افتد. در بین الگوهای پیشنهادی، تغییر طول برای الگوهای (۲ و ۴) تاثیر زیادی در افزایش نیرو و جذب انرژی دارد. که این تغییر برای طول‌های کم نسبت به طول‌های زیاد، تاثیر بیشتری دارد. همچنین، تغییر طول برای الگوی (۵) ناچیز است و تاثیر قابل توجهی ندارد. تقویت اتصال الگوی (۶) که به صورت L شکل در بالا و پایین اتصال است، در مقایسه با بقیه الگوها تأثیر چندانی در تقویت اتصال ندارد و فقط به میزان کم ویژگی الاستیک اتصال را بهبود می‌دهد. همچنین حالت (۳-۴) بیشترین جذب انرژی را در میان تمامی الگوهای مقاوم‌سازی داشته است و نسبت به

همچنین، عملکرد این الگوهای پیشنهادی مقاوم‌سازی با الگوهای پیشنهادی در مطالعات گذشته مقایسه شد. برای رسیدن به اهداف تعیین شده در این مطالعه، ابتدا دقت و درستی مدل‌سازی اجزای محدود اتصال بتنی تقویت شده در نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس با تنظیمات خسارت بتن و مطالعات گذشته تایید شد. سپس عملکرد الگوهای پیشنهادی تحت بارگذاری مشخص تعیین و مقایسه شد. به‌طور کلی نتایج حاصل‌شده در این پژوهش عبارت‌اند از:

- تقویت مناسب اتصال با الیاف کربنی باعث فاصله گرفتن محل شکست از بر ستون و شرایط تیر ضعیف-ستون قوی بر مبنای آیین‌نامه‌های معتبر طراحی را ارضا می‌نماید.
- با تقویت محل اتصال تیر مدل ارایه شده در مطالعه [14]، عملکرد اتصال در جذب انرژی حدود ۶ درصد بیشتر بهبود می‌یابد. بنابراین الگوی مناسب مقاوم‌سازی اتصال می‌تواند عملکرد اتصال و استهلاک انرژی آن را بهبود دهد.
- بهترین نوع تقویت اتصال، روش تقویت‌شده اتصال به بصورت الگوی (۴) و به طول ۲۸ سانتی‌متر از بر ستون است که جذب انرژی و استهلاک انرژی را به‌طور چشم‌گیری بهبود می‌بخشد. همچنین در شرایط بارگذاری رفت و برگشت رفتاری قابل قبول را از خود نشان می‌دهد.
- در الگوی تقویتی حالت (۴-۳) که به اندازه ۲۸ سانتی‌متر از بر ستون امتداد یافته است حدود ۶۸٪ جذب انرژی نسبت به حالت بدون تقویت بهبود می‌یابد. بنابراین می‌توان در اتصالات ضعیف سازه از این الگوی تقویت استفاده نمود.

References

- ۷- مراجع
- [1] Hadiqa SA, Moheini; "Assessment of behavior factor and performance level of RC frames retrofitted by polymer CFRP"; International Conference of lightweight and earthquake, ACECR University of Kerman, (1389). (In Persian)
- [2] Purba B, Mufti A; "Investigation of the behavior of circular concrete columns reinforced with carbon fiber reinforced polymer (CFRP) jackets"; Canadian Journal of Civil Engineering 26 (1999) 590-596.
- [3] Pulido C, Saiidi S, Sanders D, Itani A; "Experimental validation and analysis of a CFRP retrofit of two-column bent"; In Proceedings of the 3rd International Conference on Composites in Infrastructure, San Francisco, CA, USA, 10-12 June 2002.

همان‌گونه که قبلاً گفته شد سطح زیر نمودار نیرو- تغییرمکان تحت بارگذاری چرخه‌ای نماینگر مقدار انرژی استهلاک شده در سازه (عضو) است. با توجه به شکل (۶)، استهلاک انرژی این اتصال برابر ۱۱۲۶۷۱ نیوتن-میلی‌متر است که نسبت به حالت بدون تقویت حدود ۶۵ درصد بهبود یافته است. بنابراین عملکرد اتصال تقویت‌شده در مقایسه با نمونه بدون تقویت آن به‌طور چشمگیری بهبود یافته است. همچنین تقارن در نمودار هیستریزس نیز نشان‌دهنده رفتار یکسان اتصال در برابر بارهای چرخه‌ای است و هرچه مقدار این تقارن در نمودار بیشتر باشد رفتار یکنواختی از سازه در بارهای رفت و برگشت و به ویژه بارگذاری زلزله که طبیعتی رفت و برگشت دارد خواهد داشت. از طرفی، با توجه به برتری حالت (۴-۳)، عملکرد این مدل تحت بارگذاری چرخه‌ای شکل (۵) ارزیابی شده است و نتایج آن در شکل (۷) نمایش داده شده است.

شکل (۷) نمودار هیستریزس حالت (۴-۳) تحت بارگذاری چرخه‌ای

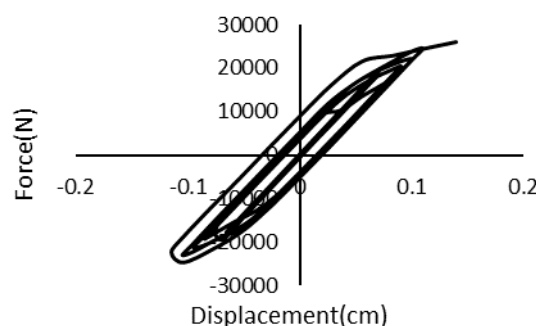


Fig. 7. Hysteresis graph of case (4-3) subjected to load cyclic

با مشاهده شکل (۷) نتیجه می‌شود انرژی استهلاک این اتصال برابر ۱۱۶۲۴۷۷ نیوتن-میلی‌متر است. با توجه به نمودار هیستریزس مشخص می‌شود که این اتصال حدود ۳ درصد استهلاک انرژی بیشتری نسبت به مدل ارائه‌شده در مطالعه [14] دارد. بنابراین، این الگو می‌تواند در مقاوم‌سازی اتصال سازه‌های بتنی استفاده شود.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، الگوهایی برای مقاوم‌سازی اتصال بتنی تیر-ستون ارایه شده و عملکرد آنها با یکدیگر مقایسه شد.

- [10] Li j, Samali B, Ye L, Bakoss S; "Behavior of concrete beam-column connections reinforced with hybrid FRP sheet"; *Composite Structures* 57 (2002) 357-365.
- [11] Balsamo A, Colombo A, Manfredi G, Negro P, Prota A; "Seismic behavior of a full-scale RC frame repaired using CFRP laminates"; *Engineering Structures* 27 (2005) 769-780.
- [12] Mahini S, and Ronagh H.R. "Estimation of the Ductility of Web-Bonded FRP Beams for Assessment of Strengthened RC Exterior Joints". *Composites Engineering* (2006) 581-595.
- [13] Mahini, S.S. and Ronagh H.R; "Web-bonded FRPs for relocation of plastic hinges away from the column face in exterior RC joints"; *Composite Structures* 93 (2011) 2460-2472.
- [14] Hatem Hassan A; "Stud reinforcement in beam-column joints under seismic loads"; Department Of Civil Engineering Calgary, Alberta, 2011.
- [15] ABAQUS 6.12 Analysis User's Manual Volume II.
- [4] Taghvai Abrishami M; "Seismic of reinforced concrete structures using composite"; Master thesis, University of Yazd, (1385). (In Persian)
- [5] Kin T, Li M; "Mechanical performance of composite-strengthened concrete structures"; *Composites: Part B* 32 (2001) 21-31.
- [6] Se W, Yousok K, Hyo S; "Multi-objective seismic retrofit method for using FRP jackets in shear-critical reinforced concrete frames"; *Composites: Part B* 56 (2014) 207-216.
- [7] Mosallam A; "Strength and ductility of reinforced concrete moment frame connections strengthened with quasi-isotropic laminates"; *Composites: Part B* 31(2000) 481-497.
- [8] Parvin A, Wu S; "Ply angle effect on fiber composite wrapped reinforced concrete beam-column connections under combined axial and cyclic loads"; *Composite Structures* 82 (2008) 532-538.
- [9] Parvin A, Granata P; "Investigation on the effects of fiber composites at concrete joints"; *Engineering Structures* 27 (2000) 499-509.

Seismic Assessment of Concrete Beam–Column Connection Strengthened with Carbon Fiber Reinforced Polymer

Jasem Baniasad¹, Hamid Reza Naseri², Mohsen Khatibinia^{3*}

1- M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, University of Birjand

2- Assist. prof., Department of Civil Engineering, University of Birjand

3- Assist. prof., Department of Civil Engineering, University of Birjand

*m.khatibinia@birjand.ac.ir

Abstract:

In the design process of a moment resisting frame (MRF), the principle of weak–beam and strong–column should be considered because of the occurrence of plastic hinge in the beams. This mechanism is caused because the frame is capable of dissipating significant energy and remaining stable in the inelastic region. Stability is defined as the ability of the frame to maintain its elastic level of resistance throughout the entire inelastic range of response. Using this principle, plastic hinges can be developed in the beams adjacent to the connections and usually very close to the column face. This mechanism allows the cracks to be caused by the plastic hinging. The cracks can also propagate into the connection core region, and initiate a brittle failure mechanism. Furthermore, the mechanism has not been established in many existing MRFs - designed based on the previous codes. Hence, the methods have been proposed and developed in order to relocate the plastic hinges away from the column face. Fiber Reinforced Polymer (FRP) has been used as a strengthening solution of beam–column connections and successfully reported for retrofitting existing structures. In fact, the web–bonded FRP retrofitting system can control the mechanism of plastic hinge and provide the strong–column weak–beam concept. Due to many advantages, such as high strength, low weight, endurance and convenience, Carbon Fiber–Reinforced Polimers (CFRPs) have been used in strengthening concrete structures. However, the strength and stiffness of CFRP are severely reduced at elevated temperatures, which will affect the strengthening effect seriously. In this study, six schemes are proposed for strengthening concrete beam–column connections using CFRP and the seismic performance of strengthened connections is investigated. In order to achieve this purpose, seven downscaled RC exterior joint of a typical ordinary MRF are chosen, and modeling this strengthened connection is implemented in a general finite element program, ABAQUS software. In the finite element model of strengthened concrete beam–column connection, the concrete is modeled using the damaged plastic model. The sheets of CFRP are also considered as the elastic and orthotropic model. These schemes of strengthened concrete beam–column connections are tested under moderately monotonic/cyclic loads. In order to verify the finite element model of the connection, the analysis results of this model is compared with the experimental investigation on the external beam–column connection repaired using CFRP. The results demonstrate the verification of the finite element model. Selection of the best scheme of strengthened concrete beam–column connection using CFRP is based on the improvement of the seismic performance of connection such as the load–carrying capacity, the energy absorption, the initial stiffness and changing failure mechanism of connection. The nonlinear results show that the proper layout of CFRP sheets can increase the load–carrying capacity, the energy absorption and the initial stiffness of connections. Furthermore, the proposed schemes of strengthened concrete beam–column connection cause the failure to relocate from the column face and locate in beam. Therefore, the best proposed scheme of strengthened concrete beam–column connection using CFRP can be recommended and utilized in the practical projects of concrete structures.

Keywords: beam–column connection, strengthening connection, Carbon Fiber Reinforced Polimer, improvement of seismic performance