

بررسی تأثیر چیدمان های رایج ورق FRP بر بهبود عملکرد لرزه‌های اتصال کناری تیر به ستون بتن آرمه

علی عباسی

دانشجوی رشته کارشناسی ارشد سازه
ma.abbasi2008@yahoo.com

غلامرضا عاطفت دوست

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان
gh_atefatdoost@iauest.ac.ir

دریافت مقاله: ۱۳۹۶-۷-۱۲

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷-۱-۲۸

چکیده

در سازه های بتن آرمه به طور خاص با سیستم قاب خمشی، اتصالات تیر- ستون نقش کلیدی در استهلاک انرژی زلزله دارند. در زلزله های گذشته آسیب پذیر بودن این اتصالات بارها گزارش شده است لذا در سازه های آسیب پذیر بهسازی عملکرد لرزه ای این اتصالات می تواند به بهبود عملکرد کل سازه کمک کند. بهسازی لرزه ای اتصالات به کمک الیاف FRP در سالهای اخیر به طور وسیعی مورد توجه قرار گرفته است. تحقیقات گذشته نشان داده که آرایش یا چیدمان ورقهای FRP می تواند در بازدهی این روش مقاومتی تأثیرگذار باشد. در این تحقیق پنج آرایش از ورقهای FRP بر روی یک اتصال کناری مورد بررسی قرار گرفت و نمودار هیستریزس بار جابجایی و مقادیر نیاز لرزه ای چهار گانه اعم از مقاومت، شکل پذیری، استهلاک انرژی، سختی اولیه اتصال و همچنین مکانیزم های شکست مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت آرایش بهینه پیشنهاد گردید. بهینه ترین آرایش تقویت به ازاء کلیه مقادیر چندگانه نیاز لرزه ای، آرایش ضربدری می باشد که بیشترین تأثیر در بهبود عملکرد لرزه ای اتصال تقویت نشده را نسبت به سایر آرایشها دارد. کلیه مدل ها به روش عددی اجزا محدود در نرم افزار آباکوس ایجاد گردیده و در کلیه حالات، بارگذاری به صورت سیکلیک اعمال شده است. واژه های کلیدی: اتصال تیر-ستون، ورق FRP، نیاز لرزه ای، چیدمان ورق FRP و آرایش بهینه

در کلیه سازه‌ها از جمله سازه‌های بتن آرمه، اتصالات وظیفه یکپارچه کردن سازه و همچنین انتقال نیروها و لنگر از یک عضو به عضو سازه‌ای دیگر را دارند [۱] اتصال تیر به ستون در سازه‌های بتن آرمه به خصوص در سازه‌های با سیستم باربر قاب خمشی نقش ارزنده‌ای در استهلاک انرژی زلزله داشته که این استهلاک انرژی به علت شکل پذیری و مقاومت این نوع اتصالات است [۲]. در عمل مواردی پیش می‌آید که اتصال به دلایل طرح یا اجرای نامناسب نیاز به مقاومسازی پیدا می‌کند [۳]. در سالهای اخیر تکنیکهای مختلفی جهت مقاومسازی اتصالات بتن آرمه پیشنهاد شده است که استفاده از کامپوزیت FRP یکی از رایج‌ترین آن در صنعت ساختمان کشورمان می‌باشد. سهولت اجراء، سبکی و بازدهی بالا از دلایل فراگیر شدن این نوع ایفای کامپوزیت در بحث مقاومسازی اتصالات است [۴].

۲- مروری بر پیشینه تحقیق

در زمینه مقاومسازی اتصالات به کمک الیاف FRP در سالهای اخیر تحقیقات مختلفی به دو صورت آزمایشگاهی و عددی صورت گرفته است. در سال ۲۰۰۰ مسلم و همکاران در تحقیقی آزمایشگاهی که بر روی شش نمونه اتصال داخلی تیر به ستون بتن آرمه با مقیاس ۲:۱ انجام دادند به بررسی تأثیر الیاف در جنسهای مختلف بر بهبود شکل پذیری، قابلیت اتلاف انرژی و مقاومت خمشی اتصال پرداختند آنها در کار تحقیقی خود به افزایش شکل پذیری و قابلیت اتلاف انرژی تا حدود ۴۲ درصد اشاره نمودند هر چند که ایشان برای افزایش ظرفیت خمشی، الیاف سخت تر و برای افزایش شکل پذیری الیاف نرم تر را پیشنهاد دادند [۵]. پروین و همکاران در سال ۲۰۰۲ در تحقیقی به بررسی تأثیر ضخامت و جنس الیاف FRP بر بهبود رفتار اتصال تیر به ستون بتن آرمه پرداختند، ایشان نتیجه گرفتند که در حالت کلی ورقهای FRP تا ۶۰ درصد مقاومت خمشی اتصال را افزایش می‌دهند و همچنین استفاده از ورق FRP در زیر تیر در محل انتقال برش از تیر به ستون تأثیر بسزایی در بهبود رفتار اتصال دارد [۶]. کارایانس و همکاران در سال ۲۰۰۸ در تحقیقی آزمایشگاهی که بر روی ۱۲ نمونه اتصال خارجی انجام دادند فرمهای مختلفی از تقویت اتصال اعم از جکت CFRP و تزریق رزین به محل ترکها را بررسی کردند نتایج تحقیق آنها نشان داد که استفاده از جکت بازدهی مناسب در افزایش ظرفیت و قابلیت اتلاف انرژی دارد و همچنین تزریق رزین اپوکسی به بهبود رفتار اتصال کمک شایانی می‌نماید [۷]. هلیل سیزن و همکاران در سال ۲۰۱۲ در یک تحقیق آزمایشگاهی به بررسی تأثیر الیاف FRP بر اتصال آسیب دیده پرداختند، آنها با جایگزینی جزء آسیب دیده بتن با یک ماده ضد انقباض با مقاومت بالا و پوشاندن آن با ورق FRP به نمونه بهسازی شده ای از اتصال دست یافتند که به مراتب رفتاری بهتر از اتصال اصلی در برابر بار چرخه ای از خود بروز می‌داد [۸]. دلال باشی و همکاران در سال ۲۰۱۲ یک اتصال خارجی از یک ساختمان ۸ طبقه بتنی قبل از تقویت و بعد از تقویت با استفاده از مواد پلیمری FRP مورد آزمایش قرار دادند و نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از نرم افزار را با یکدیگر مقایسه کردند و ایشان پس از استخراج نتایج و بررسی منحنی لنگر - دوران اتصال بدون تقویت و تقویت شده مشاهده کردند که سختی، مقاومت و ماکزیمم ظرفیت خمشی اتصال تقویت شده بیشتر از نمونه بدون تقویت می‌باشد و همچنین نتیجه گرفتند که در حالت کلی استفاده از مواد پلیمری FRP به منظور تقویت اتصالات در ساختمانهای بتنی می‌تواند رفتار آنها را در برابر بارگذاری سیکلی بهبود ببخشد [۹]. در سال ۲۰۱۳ کریمی و همکاران در پژوهشی به بررسی عددی رفتار اتصال خارجی تیر به ستون بتنی تقویت شده با ورقهای FRP تحت اثر بارهای لرزه ای پرداختند. آنها برای یک اتصال خارجی بتن آرمه، تأثیر ضخامت و جنس لایه های FRP بر پارامترهای لرزه ای اتصال را بررسی نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که افزایش تعداد لایه ها از یک حد به بعد تأثیری در ظرفیت اتصال ندارد و به جدادگی ورق FRP ختم می‌شود و همچنین الیاف آرامید و شیشه نسبت به کربن به دلیل مدول الاستیسیته کمتر کارایی بیشتری در جذب انرژی توسط اتصال دارند [۱۰]. تران و همکاران در سال ۲۰۱۵ به صورت آزمایشگاهی به این ایده پرداختند که به کمک کاورهای بتنی و کامپوزیت FRP، اطراف اتصال را بنحوی بپوشانند که تأثیر گوشه های تیز ستونها در محل اتصال کاهش یابد، استفاده از این ایده بر روی چهار نمونه اتصال بیانگر کارا بودن آن در مقابل بارگذاری سیکلیک می‌باشد به طوریکه هم عملکرد لرزه ای اتصال بهبود یافت و همچنین محل مفصل پلاستیک به خارج از اتصال منتقل شد [۱۱]. در سال ۲۰۱۶ الدیب و همکاران با مدلسازی عددی به مقایسه دو اتصال با و بدون تقویت الیاف کربنی (CFRP) پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که استفاده از تقویت CFRP هم به بهبود ظرفیت اتصال

کمک می کند و هم تا حد قابل توجهی از شروع و گسترش ترک در اتصال جلوگیری می نماید هر چند که آنها نتایج تحقیق خود را صرفاً به وجود ضعف در محدوده اتصال محدود کردند [۱۲]. مردوخ پور و همکاران در سال ۱۳۸۹ به صورت آزمایشگاهی و عددی بر روی دو اتصال تیر به ستون، با و بدون الیاف GFRP تحت بارگذاری سیکلیک پرداختند، ایشان در نمونه تقویت شده افزایش شکل پذیری در سیکل‌های بالای بارگذاری تا حدود ۵۴ درصد و همچنین افزایش ظرفیت باربری اتصال تا حدود ۱۸ درصد را گزارش نمودند [۱۳].

با توجه به سوابق بررسی شده درباره استفاده از تقویت FRP در مقاومسازی اتصال تیر به ستون بتن آرمه به خوبی می توان به کارا بودن این روش در بهبود رفتار این نوع اتصال پی برد. در تحقیقات گذشته عمدتاً ضخامت و تعداد لایه ها به عنوان متغیر ورق FRP مورد توجه قرار گرفته و آرایش و چیدمان کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این تحقیق هدف مقایسه آرایش مختلف از چیدمان ورق FRP بر روی یک اتصال کناری تیر به ستون بتن آرمه است، برای این مهم ابتدا تلاش شده یک اتصال با و بدون تقویت در نرم افزار آباکوس اعتبارسنجی شود و در ادامه آرایش پنج گانه از تقویت در جهت رسیدن به هدف تحقیق مورد توجه قرار گرفته است.

۳- مدل‌سازی عددی و تحلیل

برای اطمینان از صحت فرایند مدل‌سازی در نرم افزار آباکوس نمونه ای از اتصال بتنی که به صورت آزمایشگاهی در مقاله مرجع [۱۴] مورد بررسی قرار گرفته انتخاب و توسط نرم افزار آباکوس مدل‌سازی شده است. در مقاله مذکور یک نمونه اتصال بتنی تحت بار چرخه ای رفت و برگشتی به صورت تجربی و عددی مورد مطالعه قرار گرفته است و تلاش شده است که تمامی شرایط شبیه سازی مدل اتصال بتنی مانند بارگذاری، شرایط مرزی و هندسه مطابق با شرایط واقعی و بیان شده در مقاله مرجع باشد سپس نتایج تحلیل عددی مدل با نتایج تجربی و عددی ارائه شده در مقاله مقایسه شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است در حقیقت این روش پس از اعتبارسنجی به عنوان متدولوژی تحلیل عددی سایر مدل‌های اتصال بتنی مورد استفاده قرار گرفته است. برای ایجاد اتصال بتنی مورد مطالعه در این تحقیق، علاوه بر بخش بتنی اتصال لازم است که آرماتورها و الگوهای مختلف FRP در هر یک از سیستم های سازه ای ایجاد شده و در موقعیت خود مونتاژ گردند. همچنین نمونه بتنی توسط مهارهای مناسب در دو انتهای ستون و انتهای تیر در جهت جانبی نگهداری شده و امکان تغییر شکل آن فقط در صفحه اتصال وجود دارد صفحات فولادی صلب در بالا و پایین ستون و انتهای تیر به منظور اعمال بار و شرایط مرزی ایجاد گردیدند. نقاط انتهایی ستون در واقع نقاط عطف میانی در ستونهای بالا و پایین از قاب بتنی هستند. همچنین، نقطه انتهایی تیر، نقطه عطف میانی از قاب بتنی فرض شده است. کلیه این نقاط در اثر بار زلزله مفصلی فرض شده اند. این اتصال از نوع اتصال خارجی بوده که مشخصات هندسی و آرماتور گذاری آن در جدول (۱-۳) و مشخصات اصلی مصالح فولاد و بتن در جدول (۲-۳) آورده شده است.

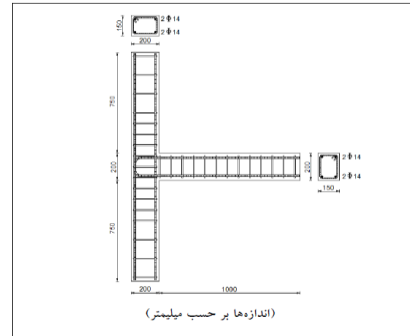
نمونه	فولاد طولی ستون	فولاد طولی تیر (فشاری=کششی)	فولاد عرضی ستون خارج از هسته	فولاد عرضی تیر	فولاد عرضی ستون در محل هسته
L2B1	۴Φ۱۴(۲٪)	۲Φ۱۴	Φ۸@۱۵۰	Φ۸@۸۰	Φ۸@۸۰

جدول (۱-۳) مشخصات هندسی و آرماتورگذاری نمونه اعتبارسنجی شده [۱۴]

مشخصات	بتن	فولاد
چگالی (kg/m ³)	۲۳۵۰	۷۸۵۰
تنش تسلیم (MPa)	-----	۴۵۰
مقاومت فشاری (MPa)	۳۰	-----
مدول الاستیسیته (GPa)	۲۷,۳	۲۰۰
تنش نهایی فشاری (MPa)	۳۵,۴	۵۰۰
تنش نهایی کششی (MPa)	۲,۵	۵۰۰

جدول (۲-۳) مشخصات مصالح نمونه اعتبارسنجی شده [۱۴]

با توجه به هندسه مدل آزمایشگاهی در شکل (۱-۳) طول تیر ۱۲۰ سانتی متر و ارتفاع اتصال ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شده است.



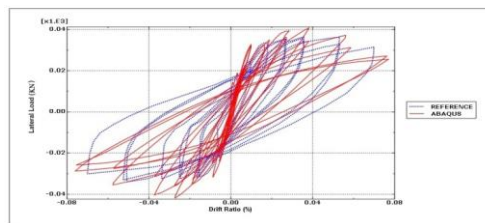
شکل (۱-۳) جزییات هندسی اتصال بتنی مورد مطالعه در مقاله مرجع [۱۴] شکل (۲-۳) روش بارگذاری سیکلیک اتصال بتنی در مرجع [۱۴]

به منظور مدلسازی رفتار غیرخطی فولاد از منحنی ایده آل رفتار پلاستیک و همچنین به منظور مدلسازی رفتار پلاستیک بتن از مدل رفتاری آسیب پلاستیک بتن (concrete damage plasticity) استفاده شده است [۱۵]. مشخصات پارامترهای پلاستیک بتن مورد استفاده در مدلسازی در جدول (۳-۳) آورده شده است.

Dilation Angle	Eccentricity	$\frac{fb_0}{fc_0}$	K	Viscosity Parameter
۳۰	۰,۱	۱,۱۶	۰,۶۶۷	۰,۰۰۱

جدول (۳-۳) مشخصات پارامترهای پلاستیک بتن [۱۴]

برای مدلسازی اتصال بتنی از المان هشت گرهی C3D8R، solid8 و برای مدلسازی میلگرد از المان دو گرهی (خرپایی) T3D2 استفاده شده است و همچنین میلگردها با استفاده از تکنیک Embedded Region در بتن قرار گرفته‌اند [۱۶، ۱۷]. پس از مدلسازی اتصال در نرم افزار آباکوس نمودار هیستریزس نیرو جابجایی حاصل از آنالیز با مقادیر آزمایشگاهی در شکل (۳-۴) مقایسه شده است همانطور که مشخص است انطباق مناسبی بین نتایج مدل عددی و نمونه آزمایشگاهی وجود دارد.



شکل (۳-۴) مقایسه منحنی هیستریزس بار جابجایی مقاله مرجع و خروجی نرم افزار آباکوس

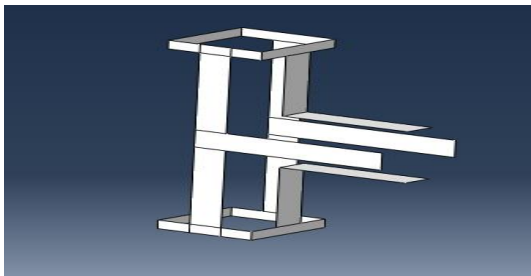
در این تحقیق هدف بررسی چیدمان های مختلف نوار FRP بر روی اتصال بتن آرمه است، بدین منظور اتصال اعتبار سنجی شده بخش قبل را به عنوان نمونه بدون تقویت انتخاب کرده و پنج آرایش رایج از ورق FRP در نظر گرفته شده است. در جدول (۴-۳)

مشخصات مکانیکی مربوط به ورق FRP مورد استفاده آورده شده است.

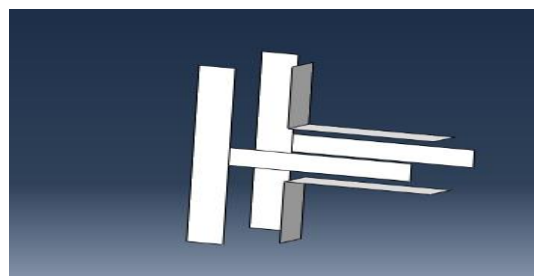
	چگالی (kg/m ²)	E1 (Gpa)	E2 (Gpa)	v12	G12 (Gpa)	G13 (Gpa)	G23 (Gpa)
CFRP	۱۵۰۰	۱۱۷	۷	۰,۲۵	۴,۲	۴,۲	۲,۷

جدول (۴-۳) ویژگی های مکانیکی کامپوزیت CFRP در مدلسازی اتصال تقویت شده [۱۸ و ۱۹]

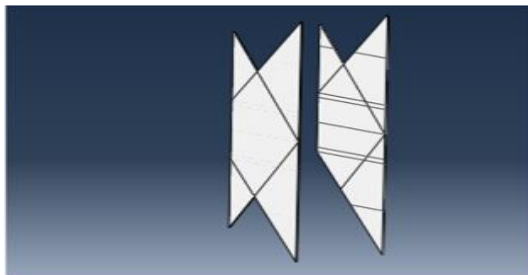
در این پژوهش اتصالات مختلف بتنی تقویت شده با FRP ، با عناوین اختصاری FRPT1، FRPT2، FRPT3، FRPX1 و FRPX2 نامگذاری شده اند. لازم به ذکر است که حرف T برای بیان الگوهای T شکل FRP و حرف X برای بیان الگوهای X شکل FRP در نظر گرفته شده است. مدل FRPT1 از الگوهای T شکل و L شکل بر روی اتصال و تیر بهره می گیرد لیکن در مدل FRPT2 از ورق های FRP به عنوان نگهدارنده در انتهای ورق های فقط روی اتصال استفاده شده است. همچنین در مدل FRPT3 از ورق های FRP نگهدارنده در انتهای ورق های FRP روی تیر و اتصال هم زمان استفاده شده است. در مدل FRPX1 ورق های FRP به صورت ضربدری به سطوح جانبی اتصال ها متصل گردیده است، اما در مدل FRPX2 علاوه بر ورق های FRP ضربدری از ورق های L شکل FRP روی تیر استفاده شده است. این تفاوت ها در الگوها و زوایای لایه چینی مختلف ورق های FRP در اشکال (۳-۵) تا (۳-۹) به وضوح نشان داده شده است. انتخاب الگوها طوری صورت گرفته است که مساحت FRP استفاده شده در تمامی الگوهای تقویت شده برابر می باشد، همچنین ضخامت هر لایه FRP برابر ۱ میلی متر و در هر مدل از یک لایه FRP برای تقویت اتصال بتنی بهره گرفته شده است و همچنین در مدلسازی الیاف FRP به کمک المان پوسته-ای S4R به صورت رفتار خطی و یک جهته مطابق شکل (۳-۱۰) آورده شده است در کامپوزیت های FRP هر لایه در شرایط تنش صفحه ای می توانند به صورت یک لایه ارتوتروپیک در نظر گرفته شود، ضمناً با توجه به مقاومت بالای الیاف کربنی جنس الیاف استفاده شده برای تقویت اتصالات بتنی از کربن فرض شده است.



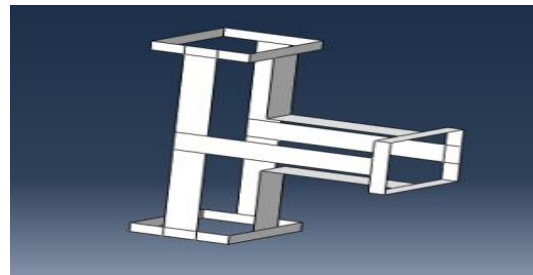
شکل (۳-۶) ایجاد مدل هندسی ورق های FRP در مدل اتصال FRPT2



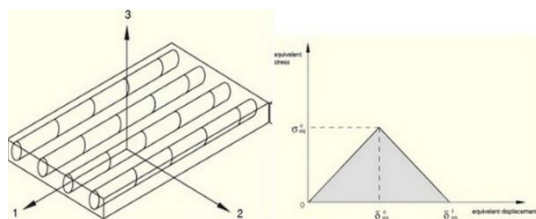
شکل (۳-۵) ایجاد مدل هندسی ورق های FRP در مدل اتصال FRPT1



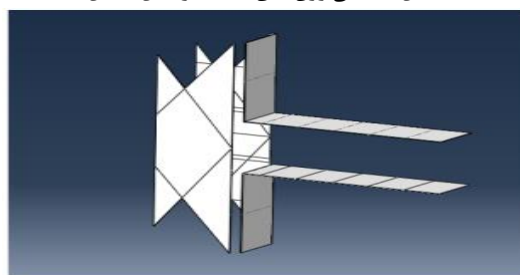
شکل (۳-۸) ایجاد مدل هندسی ورق های FRP در مدل اتصال FRPX1



شکل (۳-۷) ایجاد مدل هندسی ورق های FRP در مدل اتصال FRPT3



شکل (۳-۱۰) مدل رفتاری و جهت الیافها در مدلسازی FRP [۱۷]

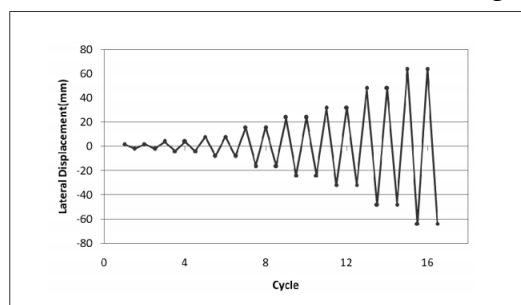


شکل (۳-۹) ایجاد مدل هندسی ورق های FRP در مدل اتصال FRPX2

در کلیه مدل‌های مورد بررسی مشخصات مصالح فولاد، بتن و ورق FRP یکسان و از اثر جداسازی ورق FRP از سطح بتن صرف‌نظر شده است بدین منظور از المان تماسی Tie که کلیه گره‌های مشترک بین ورق و سطح بتن را به هم می‌بندد استفاده شده است در کلیه مدل‌ها، بارگذاری به صورت سیکلیک مطابق شکل (۳-۱۱) اعمال شده است. مدل هندسی نهایی ایجاد شده از اتصالات بتنی تقویت شده با FRP در نرم افزار آباکوس در شکل (۳-۱۲) نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۲) مدل سازی هندسی اجزاء مختلف و فرایند مونتاژ مدل نهایی



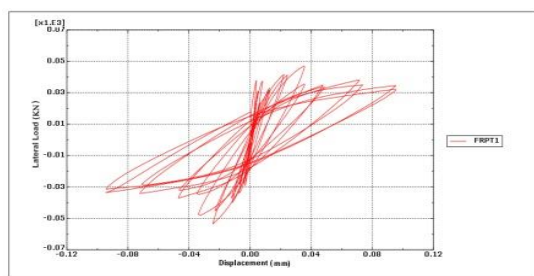
شکل (۳-۱۱) نمودار بارگذاری چرخه ای [۱۴]

۴- نتایج تحلیل مدل‌ها

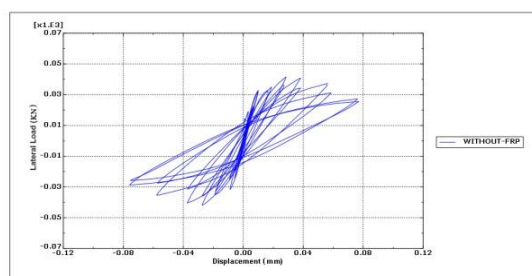
برای بررسی تاثیر الگوی استفاده از الیاف FRP، پاسخ لرزه ای مدل‌های چندگانه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پارامترهای لرزه ای که در این تحقیق جهت بررسی کارایی آرایشها مورد توجه قرار گرفته شامل ظرفیت باربری، شکل پذیری، سختی، استهلاک انرژی و انواع آسیبها می باشد. در هر حالت سعی می شود نتایج مدل با آرایش های مختلف با حالت بدون تقویت مقایسه شود.

۴-۱- نمودار بار - جابجایی

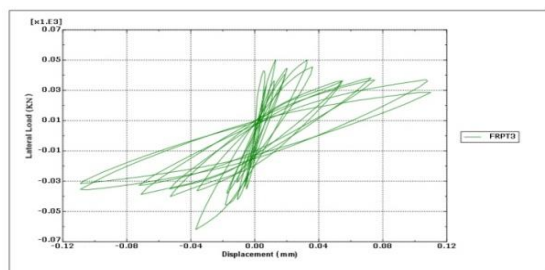
نمودارهای بار جابجایی انتهای تیر در نمونه ها و برای تمام چرخه های بارگذاری در اشکال (۴-۱) تا (۴-۶) نشان داده شده است.



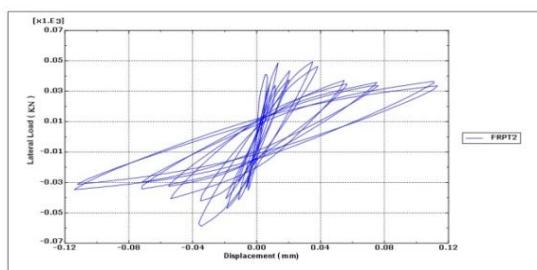
شکل (۴-۲) FRPT1 نمودار هیستریزس اتصال بتنی



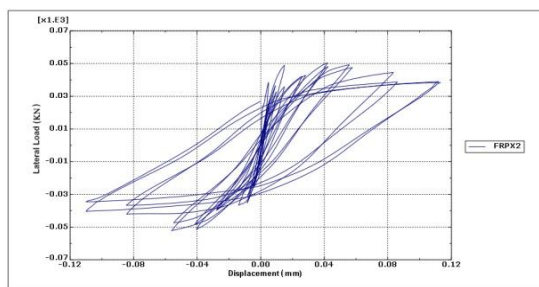
شکل (۴-۱) نمودار هیستریزس اتصال نمونه بدون



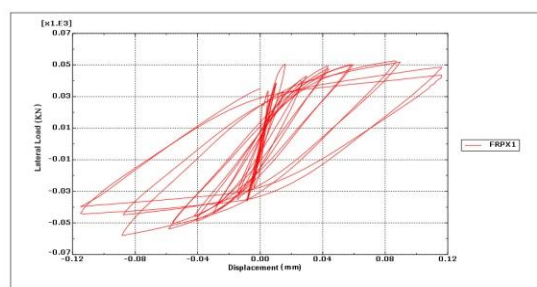
شکل (۴-۴) FRPT3 نمودار هیستریزس اتصال بتنی



شکل (۴-۳) FRPT2 نمودار هیستریزس اتصال بتنی

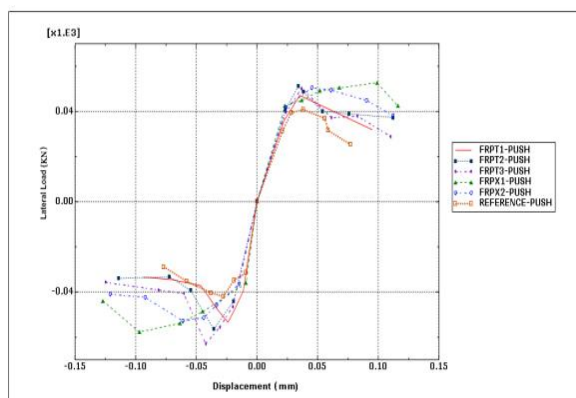


شکل (۴-۶) نمودار هیستریزس اتصال بتنی FRPX2



شکل (۴-۵) نمودار هیستریزس اتصال بتنی FRPX1

با بررسی منحنی های هیستریزس مشاهده می گردد که نمونه بدون FRP دارای حلقه های هیستریزس ضعیف تر و لاغرتری نسبت به نمونه های دیگر تقویت شده با FRP می باشد که بیانگر عملکرد نامناسب آن در طی بارگذاری چرخه ای مخصوصاً از نظر جذب و استهلاک انرژی است. بر اساس نمودارها مشاهده می شود که میزان سختی اولیه، مقاومت نهایی و استهلاک انرژی در این مدل نسبت به سایر مدل های تقویت شده با FRP پایین تر است، دلیل اصلی آن ایجاد آسیب به صورت ترک در مراحل اولیه بارگذاری رفت و برگشتی است، همچنین بر اساس نمودارهای فوق مشاهده می گردد که مدل اتصال تقویت شده ضربردی FRPX1 دارای مقاومت، سختی، شکل پذیری و قابلیت استهلاک انرژی بهتری نسبت به مدل های دیگر می باشد. ارزیابی نمونه های هیستریزس نشان می دهد که حلقه های هیستریزس در اتصال تقویت شده با الگوی ضربردی FRPX1 در مقایسه با سایر مدلها به مراتب بزرگتر و بازتر بوده که نشان دهنده عملکرد بسیار مناسب الگوی ضربردی FRPX1 در استهلاک انرژی است. همچنین در شکل (۴-۷) پوش منحنی های هیستریزس نیرو - جابجایی برای اتصالات تقویت نشده و تقویت شده با الگوهای مختلف FRP نشان داده شده است.



شکل (۴-۷) مقایسه پوش منحنی هیستریزس نیرو جابه جایی در اتصالات بتنی با الگوهای تقویتی FRP

نتایج تحلیلهای عددی در این پژوهش، پارامترهای لرزه ای اتصالات مورد بررسی را نشان می دهد. آیین نامه معیار شکست را زمانی که ظرفیت باربری اتصال به ۷۵٪ ظرفیت ماکزیمم آن برسد، در نظر می گیرد و در صورتی کارایی اتصال در برابر بار لرزه ای را مطلوب فرض می کند که شکست در تغییر مکان نسبی بیشتر از ۳٫۵٪ اتفاق افتاده باشد [۲۰]. در تمامی نمودارها، مقدار ظرفیت بیشینه در چرخه های بارگذاری، با افزایش تغییر مکان نسبی افت ناچیزی داشته و هیچ یک از نقاط بیشینه نمودارها، به ویژه در تغییر مکان کمتر از ۳٫۵٪ از ۰٫۷۵ F (peak) کمتر نشده است، از این رو می توان نتیجه گرفت که عملکرد کلیه نمونه های اتصالات بتنی تقویت شده توسط FRP تحت بارگذاری رفت و برگشتی در حد مطلوب بوده است.

۵- نیاز لرزه ای اتصالات

مطابق منحنی های پوش هیستریزس نیرو - جابجایی میتوان پارامترهای مهم لرزه ای هر اتصال را محاسبه کرد، این پارامترها شامل مقاومت نهایی، سختی، شکل پذیری و میزان استهلاک انرژی اتصال تحت بارگذاری رفت و برگشتی است. بر اساس پوش

منحنی های هیستریزیس مقادیر جدول (۵-۱) استخراج شده است، در این جدول بار نظیر تسلیم میلگردها (F_y)، مقاومت نهایی (F_{peak}) بیشترین نیروی قابل تحمل اتصال و بالاترین نقطه در منحنی پوش می باشد، تغییر مکان نظیر بار تسلیم میلگردها (u_y)، تغییر مکان نظیر حداکثر ظرفیت باربری اتصال (u_u)، شکل پذیری (μ) برابر است با نسبت تغییر مکان نظیر بار تسلیم میلگردها (F_y) به تغییر مکان نظیر آن (u_y) و انرژی جذب شده (E) مقدار انرژی است که در طول بارگذاری رفت و برگشتی جذب می شود و با سطح زیر منحنی پوش برابر است.

Connection Model	F_y (KN)	F_{Peak} (KN)	u_y (mm)	u_u (mm)	μ	$\frac{K}{\left(\frac{KN}{mm}\right)}$	E (Kj)
Without FRP	31.24	40.87	0.021	0.077	3.66	1487.62	25.18
FRPT1	35.76	45.19	0.022	0.095	4.27	1625.45	30.34
FRPT2	40.87	49.29	0.0235	0.112	4.76	1739.15	34.65
FRPT3	39.78	48.33	0.024	0.110	4.58	1657.50	33.86
FRPX1	42.35	52.60	0.023	0.116	5.04	1841.30	36.86
FRPX2	41.78	50.43	0.024	0.112	4.48	1740.83	35.45

جدول (۵-۱) مقایسه کلی نیاز لرزه ای چندگانه اتصال بتنی با آرایش های مختلف FRP

مقادیر جدول (۵-۱) شامل مقاومت نهایی، شکل پذیری، سختی و انرژی جذب شده به صورت نمودارهای میله ای شکل در اشکال (۵-۱) تا (۵-۴) نیز ارائه شده است.



شکل (۵-۲) مقایسه سختی اتصالات تقویت شده



شکل (۵-۱) مقایسه مقاومت نهایی اتصالات تقویت شده



شکل (۵-۴) مقایسه انرژی جذب شده اتصالات تقویت شده

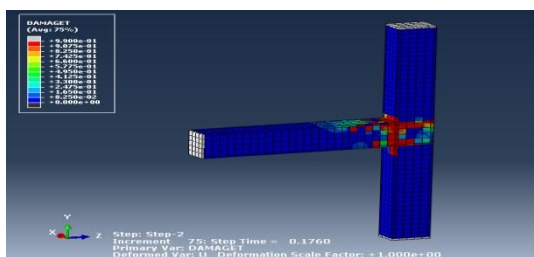


شکل (۵-۳) مقایسه شکل پذیری اتصالات تقویت شده

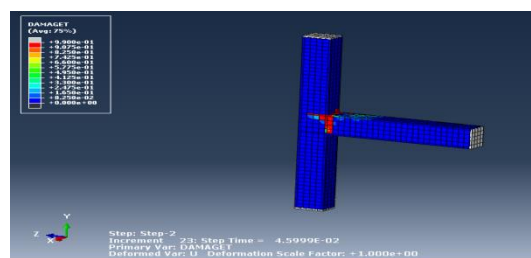
بررسی نمودارها نشان می دهد که اتصال تقویت شده ضربدری FRPX1 از عملکرد مطلوب تری نسبت به سایر اتصالات تقویت شده با FRP برخوردار است. نتایج حاکی از این است که اتصال تقویت شده ضربدری FRPX1 دارای مقاومت نهایی و سختی به ترتیب برابر با ۲۸,۷٪ و ۲۳,۸٪ بیشتر از اتصال تقویت نشده است، همچنین این اتصال تقویت شده باعث بهبود شکل پذیری و استهلاک انرژی به میزان ۳۷,۷٪ و ۴۶,۳۸٪ می گردد، بنابراین اتصال تقویت شده ضربدری FRPX1 از عملکرد مطلوبتری نسبت به سایر اتصالات تقویت شده با FRP برخوردار است.

۶- آسیبهای ایجاد شده در اتصالات بتنی مورد مطالعه

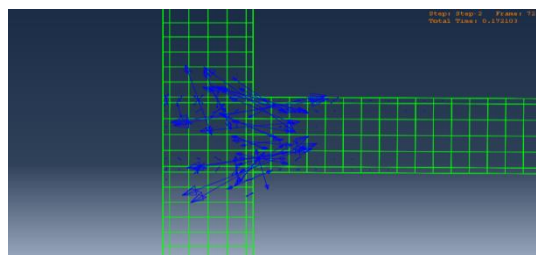
برای اتصال بدون FRP، انتقال تنش های برشی در هسته اتصال، با وجود آرماتورهای برشی افقی و قائم در محل هسته، توسط یک ناحیه ی قطری فشاری و یک مکانیزم خرابایی انجام می گیرد، بنابراین ترکهایی در ابتدای بارگذاری در سیکلهای اولیه ایجاد می شود که با افزایش تعداد سیکلها و دامنه بارگذاری، ترک های قطری بزرگتر در هسته اتفاق می افتد و شکست برشی در محل هسته به وضوح دیده می شود که توسعه ترک ها با ادامه بارگذاری چرخه ای منجر به انهدام و شکست نهایی آن شده است. در اشکال (۱-۶) تا (۴-۶) آسیب های ایجاد شده در اتصال بتنی تقویت نشده در مراحل مختلف بارگذاری نشان داده شده است:



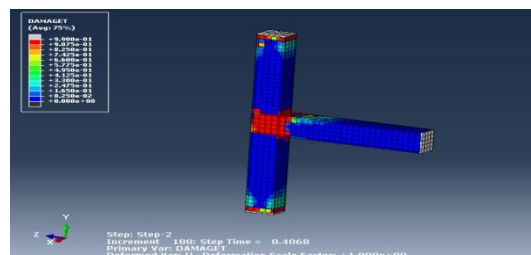
شکل (۲-۶) گسترش ترک های هسته اتصال بتنی در سیکل های میانی بارگذاری



شکل (۱-۶) ایجاد ترک در سیکل های اولیه در هسته اتصال بتنی

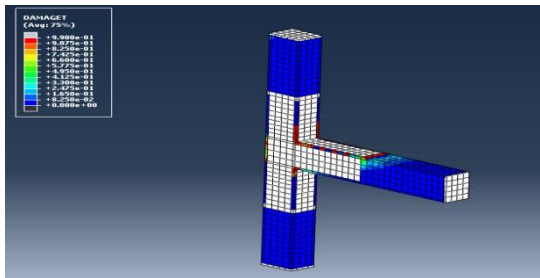


شکل (۴-۶) الگو و جهت رشد ترک های برشی در هسته اتصال بتنی

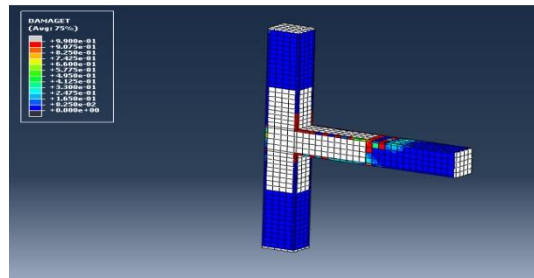


شکل (۳-۶) مود شکست برشی در هسته اتصال بتنی

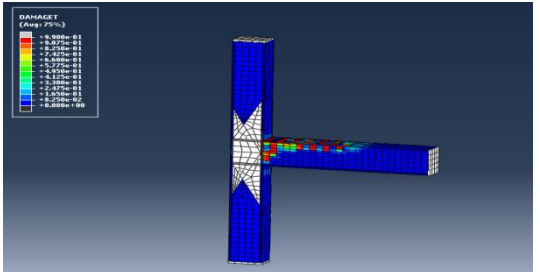
بررسی های این پژوهش نشان داد که با استفاده از تقویت با الیاف FRP در محل هسته اتصال، روشی برای تغییر حالت شکست از مود برشی در داخل هسته به مود خمشی در داخل تیر وجود دارد. در واقع با این روش علاوه بر افزایش مقاومت اتصال، از آسیب های ایجاد شده در اتصال بتنی کاسته شده و بدون آنکه ظرفیت نهایی اتصال کاهش داشته باشد، کارایی آن نیز حفظ می گردد، همچنین با جلوگیری از ایجاد آسیب در چشمه اتصال بتنی، توانایی استهلاک انرژی در ضمن بارگذاری افزایش پیدا می کند. در اشکال (۵-۶) تا (۹-۶) ایجاد آسیب و مود خرابی در اتصالات بتنی تقویت شده با الگوهای مختلف FRP نشان داده شده است :



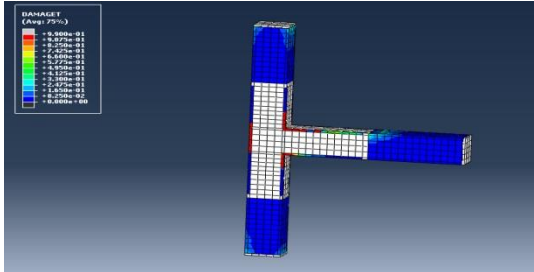
شکل (۶-۶) تاثیر استفاده از FRP بر آسیب های اتصال بتنی FRPT2



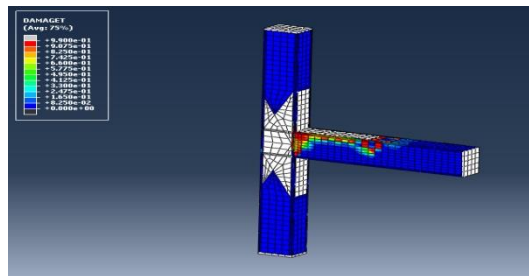
شکل (۵-۶) تاثیر استفاده از FRP بر آسیب های اتصال بتنی FRPT1



شکل (۸-۶) تاثیر استفاده از FRP بر آسیب های اتصال بتنی FRPX1



شکل (۷-۶) تاثیر استفاده از FRP بر آسیب های اتصال بتنی FRPT3



شکل (۹-۶) تاثیر استفاده از FRP بر آسیب های اتصال بتنی FRPX2

مشاهده گردید که در تمامی اتصالات تقویت شده با الگوهای مختلف ورق های FRP، آسیب های ناشی از ترک خوردگی در هسته اتصال بتنی به میزان چشمگیری کاهش یافته است. بر اساس کانتورهای ارائه شده در تمامی الگوهای FRP، مود شکست از مود برشی در داخل هسته به مود خمشی در داخل تیر تغییر یافته است که تاثیر بسیار مطلوبی بوده و باعث بهبود مناسب در عملکرد اتصال بتنی می گردد همچنان که قبلا بهبود در عملکرد اتصال بتنی با استفاده از ورق های FRP با الگوهای مختلف در نمودارهای هیستریزس نیز مشاهده شده بود.

۷- نتیجه گیری

استفاده از الیاف FRP به عنوان یک روش مقاومت سازی اتصالات بتن آرمه در این تحقیق مورد توجه قرار گرفت. تاثیر آرایش پنجگانه از ورق FRP در نیاز لرزه ای اتصالات تقویت شده اعم از سختی، مقاومت، شکل پذیری و استهلاک انرژی تحت بارگذاری سیکلیک، به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفت. مهمترین نتایج این تحقیق عبارت است از:

۱- کلیه آرایش های ورق FRP توانستند حداقل ضوابط آیین نامه ACI مبنی بر تامین ۳٫۵٪ تغییر مکان به ازاء ۷۵٪ ظرفیت باربری را تامین نمایند لذا کلیه آرایشها در تامین مقاومت اتصال تاثیرگذار بودند.

۲- برای آرایش هایی که در آنها نوارها به صورت افقی و عمودی به سطح اتصال چسبانده شوند (آرایش FRPT1 ، FRPT2 ، FRPT3،) آرایش FRPT2 با بیشترین افزایش در مقادیر مقاومت، شکل پذیری، سختی و اتلاف انرژی بهترین آرایش را به خود اختصاص داد. در این آرایش نوار FRP هم روی تیر و هم روی ستون چسبانده شده است و انتهای نوارهای روی ستون نیز مهار گردیده است.

۳- برای آرایش های ضربدری (FRPX1 و FRPX2)، آرایش FRPX1 با افزایش مقاومت، شکل پذیری، سختی و اتلاف انرژی نسبت به اتصال اصلی به ترتیب به اندازه ۲۸٫۷٪، ۳۷٫۷٪، ۲۳٫۸٪ و ۴۶٫۳۹٪ بهترین آرایش می باشد.

۴- از بین آرایش پنجگانه با شرایط یکسان مصالح مصرفی، آرایش FRPX1 بالاترین تأثیر را دارد که به نظر می رسد با اجرای نوارهای ورق FRP به صورت آرایش FRPX1 می توان به یک بازدهی خوبی از افزایش نیاز لرزه ای اتصال دست یافت.

۸- منابع و مراجع

[۱] میحث نهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان. ۱۳۸۸.

[۲] فلاح زیارانی م.، تسنیمی ع.، " رفتار اتصالات تیر ستون در قاب های خمشی بتن مسلح در سطوح عملکرد مختلف." پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران. ۱۳۸۵.

[۳] سلیمی چکان م.، لطف الهی یقین م. مقاوم سازی اتصالات تیر -ستون سازه های بتن آرمه. اواین کنفرانس ملی بتن. تهران. ۱۳۸۸.

[۴] مستوفی نژاد، د. د. طلایی طباطبائی، ب. ۱۳۸۳. " افزایش شکل پذیری و مقاومت اتصالات بتن آرمه با تقویت بهینه اتصال با ورقه های FRP"، مجموعه مقالات اولین همایش کاربرد کامپوزیت های FRP در بهسازی و ساخت و سازها، اردیبهشت ۱۳۸۳.

[5]. Mosallam, A. S. "Strength and ductility of reinforced concrete moment frame connections strengthened with quasi-isotropic laminates." *Composites Part B: Engineering* 31.6 (2000): 481-497.

[6]. Parvin, Azadeh, et al. "CFRP rehabilitation of concrete frame joints with inadequate shear and anchorage details." *Journal of Composites for Construction* 14.1 (2009): 72-82.

[7]. Favvata MJ, Izzuddin BA, Karayannis CG. Modelling exterior beam-column joints for seismic analysis of RC frame structures. *Earthquake Eng Struct Dyn* 2008;37(13):1527-48.

[8]. Sezen, Halil. "Repair and strengthening of reinforced concrete beam-column joints with fiber-reinforced polymer composites." *Journal of Composites for Construction* 16.5 (2012): 499-506.

[9]. Eslami, A., A. Dalalbashi, and H. R. Ronagh. "On the effect of plastic hinge relocation in RC buildings using CFRP." *Composites Part B: Engineering* 52 (2013): 350-361.

[10]. Karimi S., Anvar A., Finite element simulation of reinforced concrete joint externally strengthened with CFRP plates. *Compos B Eng* 2013;45(1):1722-30.

[11]. Hadi, Muhammad NS, and Tung M. Tran. "Seismic rehabilitation of reinforced concrete beam-column joints by bonding with concrete covers and wrapping with FRP composites." *Materials and Structures* 49.1-2 (2016): 467-485

[12]. Eldeeb, Mahmoud M., Kamal Ghamry Metwally, and Adel Yehia Akl. "Investigating the efficiency of using the carbon fiber polymer on beam-column connection." *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences* 5.1 (2016): 31-44

[۱۳] مردوخ پور ع.، ارزیابی آزمایشگاهی اتصال تیر-ستون بتنی تقویت شده با GFRP تحت بارگذاری لرزه ای متناوب و مقایسه نتایج آن با برنامه ANSYS. دومین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران. تهران. ۱۳۸۹.

[14]. H. Shirazi, and M. R. Esfahani. Effect of Self-Consolidating Concrete on Beam-Column Exterior Joints. *Journal of Science & Research*. Vol. 45, No.1, Summer 2013, pp. 25-27.

[۱۵] خرم نگین، شربندار محمد کاظم " بررسی تقویت خمشی دالهای ضعیف بتنی با لایه های متفاوت کامپوزیت های الیافی توانمند (HPFRCC)" تحقیقات بتن، سال هفتم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۹۳

[16]. Abaqus theory manual and users' anual, version 6.14

[۱۷] ایمانی هوشیار، ناصری فرعی، " تحلیل غیرخطی اجزاء محدود تیر بتن آرمه مقاوم سازی شده با FRP " هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران ۲۱ تا ۲۳ دانشگاه شیراز، اردیبهشت ۱۳۸۸

[18]. Agbossou Amen, Michel Laurent " Strengthening slabs using externally-bonded strip composites: Analysis of concrete covers on the strengthening" (2008) 1125-1135

[19]. ACI 440.2R-08 " Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures ", July 2008

[20]. ACI Committee 374, "Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary (ACI 374.1-05)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 9pp, 2005.

Investigation of common FRP sheets arrangement effect on seismic performance improvement of concrete beam - column side joint

Mohammad Ali Abbasi

*Msc Student, Department of Civil Engineering, Estahban branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran
ma.abbasi2008@yahoo.com*

Gholam Reza Atefatdoost

*Assistant professor, Department of Civil Engineering, Estahban branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran
gh_atefatdoost@iauest.ac.ir:*

Abstract

In concrete structures especially with bending frame system, beam - column joints have a key role in earthquakes energy dissipation. In past earthquakes, the vulnerability of these joints has been reported for times. So in vulnerable structures, seismic performance retrofit of these joints can help the improvement of total structure performance. Joints seismic retrofit by the help of FRP fibers has been noticed widely in recent years. Past researches showed that the type of FRP sheets arrangements can influences this technique of retrofitting efficiency.

In this research five kinds of FRP sheets arrangement on a side joint was examined and the load – displacement hysterics and seismic demand values such as Strength, ductility, energy absorption, and primary stiffness and also failure mechanism was examined and finally optimal arrangement was offered. The most optimal strengthening arrangement against all values of seismic demands is crosswise arrangement that has the most effect in improvement of seismic performance non strengthening joint in comparison to other arrangements. All models was made in ABAQUS software with finite element method, and in all cases, cyclic load was used.

keywords: *beam-column joint, FRP sheet, seismic demand, FRP sheet arrangement, optimal arrangement.*