

بررسی محل مفصل پلاستیک و منحنی لنگر-دوران در اتصالات بتنی تقویت شده با FRP

حامد کرملو^۱، علی گل افشار^۲

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
- ۲- استادیار، مرکز تحقیقات ژئوتکنیک لرزه ای و بتن توانمند، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

a.golafshar@semnaniau.ac.ir

چکیده

به دلیل مشکلات اجرایی در دور پیچ کردن کامل تیر توسط FRP در محل اتصال با ستون، در این مقاله مطالعه ای جهت بررسی رفتار اتصالات تیر-ستون مسلح شده با FRP و تأثیر نحوه نصب FRP بصورت ورق در وجوه قائم تیر برای اتصالات با مشخصات متفاوت ارزیابی شده است. پس از صحت سنجی و اطمینان از مدلسازی عددی، چهار اتصال تیر-ستون با مشخصات متفاوت بررسی شده و پارامترهای مختلفی مانند منحنی لنگر-دوران تیر و همچنین بررسی جابجایی محل مفصل پلاستیک و آسیب در اتصال مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی نتایج حاکی از آن است که عملکرد لرزه ای اتصال بهسازی شده به لحاظ ظرفیت و استهلاک انرژی بهبود یافته و لیکن محل مفصل پلاستیک نسبت به بر ستون جابه جایی چشمگیری ندارد. همچنین با توجه به نمودارهای نیرو-تغییر مکان و لنگر-دوران، شیب اولیه نمودار نمونه های مقاوم سازی شده ۱ تا ۳ درصد افزایش داشته و ماکزیمم نیروی وارده به نمونه های مقاوم سازی شده نیز ۱۰ تا ۳۰ درصد افزایش یافته است.

کلمات کلیدی: اتصال تیر-ستون، CFRP، محصورشدگی، منحنی لنگر-دوران، مفصل پلاستیک

۱. مقدمه

در سراسر جهان، سالانه هزاران سازه با قابهای بتن مسلح ساخته می شود که به دلایل مختلفی همچون بارگذاری، تغییر کاربری، بلایای طبیعی و تغییر در پیکربندی دچار خرابی یا ایمنی ناکافی می شوند که نیاز به ترمیم، بازسازی و ارتقاء دارند. یکی از موضوعاتی که محققین در سالهای اخیر به آن پرداخته اند، اثر اتصالات تیر-ستون در عملکرد سازه ها می باشد. در سازه های بتن آرمه مدل‌های تحلیلی متعددی جهت شبیه سازی رفتار اتصالات تیر-ستون، جهت شناسایی مکانیسم های شکست ارائه شده است. بسیاری از سازه ها بر اساس آیین نامه های قدیمی تر طراحی شده اند، که در آن به بارهای زلزله اهمیت کمتری نسبت به عملکرد امروزی آنها داده شده است، در حالی که بارهای ثقلی به عنوان بارهای طراحی عمده در نظر گرفته شده اند. در نتیجه، این سازه ها به اندازه کافی برای جذب تقاضای انرژی لرزه ای شکل پذیر نبوده و در نتیجه در برابر زلزله آسیب پذیر می شوند. روشهای مختلفی جهت مقاوم سازی^۱ سازه های بتن مسلح مورد استفاده قرار می گیرد. از جمله، استفاده از ژاکتهای فولادی، ژاکتهای بتنی و استفاده از FRP^۲ می باشد.

در ژاکتهای فولادی به دلیل بالا بودن مدول ارتجاعی فولاد قسمت عمده ای از بارهای قائم توسط ژاکتهای فولادی تحمل خواهد شد که منجر به کماتش زود هنگام ورق فولادی می گردد. به علاوه بیشتر بودن ضریب پواسون فولاد نسبت به بتن باعث اختلاف انبساط شده که منجر به جداسدگی و تاخیر در فعال شدن محصورشدگی می شود. از دیگر معایب این روش ضعف در برابر خوردگی و مشکلات نصب و اجرا می باشد.

ژاکتهای بتنی بدلیل مشکلات اجرایی و افزایش بعد ستون و نیز عدم هماهنگی با معماری سازه و افزایش وزن سازه مناسب نمی باشد. همچنین اجرای این نوع از مقاوم سازی نیاز به کار فشرده و اغلب با جزئیات پیچیده ای از فولاد می باشد. در میان بسیاری از تکنیک های مختلف مقاوم سازی موجود، اتصال خارجی الیافهای پلیمری (FRP) برای تقویت یا ترمیم ساختمان های بتن مسلح بسیاری از تلاش های قابل توجه و پژوهش ها را به ویژه در دهه گذشته را به خود جلب کرده است. در مقایسه با دیگر مصالح ساختمانی، FRP چندین مزایا، مانند دارا بودن استحکام کششی بالا، وزن مخصوص کم، مقاومت بالا در برابر خوردگی، و سهولت اجرا نرم افزار را فراهم می کند. ورقه ها و صفحات کامپوزیت را می توان به بستر بتن با الیاف، به دقت در جهت مورد نظر پیوند داد. یکی از کاربردهای FRP محصور کردن المانهای بتن مسلح می باشد. محصور سازی المانهای بتن مسلح با ورق های FRP باعث ایجاد تغییر در مدل رفتاری بتن تحت فشار (سختی مقاومت فشاری و کرنش نهایی بتن) می گردد که در نتیجه باعث بهبود عملکرد لرزه ای و شکل پذیری سازه های بتن مسلح تقویت شده با FRP می شود. عمل محصورشدگی که توسط FRP بر روی هسته بتن اعمال می شود از نوع غیر فعال است، که در اثر انبساط جانبی بتن تحت بار محوری بوجود می آید. با افزایش تنش محوری، کرنش محیطی نیز افزایش یافته و در عضو محصور کننده یک تنش محیطی بوجود می آید. تنش محیطی ایجاد شده با فشار یکنواختی که از انبساط جانبی جلوگیری می کند، در تعادل است. عبارتی هنگامی که FRP تحت کشش در جهت محیطی قرار گیرد، خرابی هنگامی روی می دهد که تنش بوجود آمده در FRP در جهت محیطی به میزان مقاومت کششی حلقوی FRP برسد [۱ و ۲]. از دیگر کاربردهای FRP استفاده از آن در ناحیه اتصال تیر-ستون در اعضای بتن مسلح می باشد.

در این راستا، بهسازی اتصالات تیر-ستون در سازه های بتن مسلح، نقش بسزایی در عملکرد سازه ها در زمان زلزله دارند. علاوه بر موارد فوق، عوامل متعددی همچون کمبود جزئیات میلگردهای تقویتی، اعضای ضعیف ستون و یا به دلیل افزایش بارگذاری در سازه، دلایلی مبنی بر نیاز به بهسازی سازه های بتن مسلح خصوصاً در ناحیه اتصال می باشد.

^۱ - Retrofitting

^۲ - Fiber Reinforced Polymer

طراحی لرزه ای اتصالات بتنی مسلح شده با FRP دارای ملاحظات مهمی نسبت مقاومت خمشی ستون به تیر، مقاومت برشی المانها، میلگردهای عرضی و فاصله آنها نسبت به هم، مقاومت رزین مورد استفاده بین FRP و بتن، میزان پوشش بتن روی میلگردها و ... می باشد که رعایت آنها در طراحی اتصالات تقویت شده با FRP لازم می باشد. البته این را نیز باید در نظر گرفت که بیشترین اتلاف انرژی توسط میلگردهای طولی انجام می پذیرد و FRPها سهم کمتری در اتلاف انرژی دارند. تحقیقات نشان میدهد که تنها عامل اتلاف انرژی در FRP، در جداسدگی و لایه لایه شدن آن و در نتیجه میرایی کلمب^۳ می باشد. البته لازم به ذکر است که FRPها تغییر شکل نهایی سازه را بالاتر می برند و این مسئله باعث افزایش اتلاف انرژی بیشتری می شود [۴].

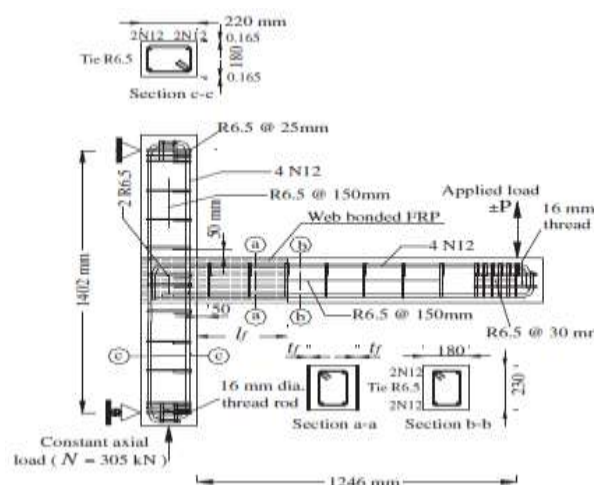
در سال ۲۰۱۵ تحقیقی باجی و اسلامی [۴] صورت گرفت، که در آن عوامل موثر و کلیدی بر مقاومت برشی اتصالات تیر-ستون بتن مسلح با و بدون FRP برای ستونهای داخلی و خارجی نشان داده شد. برای این تحقیق از یک پایگاه داده تجربی از نمونه های مختلف اتصالات تیر-ستون با استفاده از مقالات منتشر شده در تجزیه و تحلیل استفاده شد. نتایج تجزیه و تحلیل نشان داد که پنج پارامتر کلیدی برای مقاومت برشی مفاصل تاثیر گذار است:

(۱) مقاومت فشاری بتن، (۲) میلگردهای برشی عمودی مفصل، (۳) میلگردهای برشی افقی مفصل، (۴) جزئیات میلگردهای اصلی تیر، (۵) تنش محوری ستون.

سختی اضافی تولید شده توسط مقاوم سازی با CFRP در مقایسه با منحنی های لنگر-چرخش اتصالات مبنا و ترمیم شده از تجزیه و تحلیل المان محدود غیر خطی محاسبه شده بدست آمده است. این سختی پس از آن در مدل قاب بتن مسلح برای تجزیه و تحلیل استاتیکی غیر خطی بکار رفت. از طریق مقایسه نتایج پوش آور از قاب ترمیم شده با FRP و قاب اصلی، موثر بودن این روش در بهبود عملکرد لرزه ای قاب بتن مسلح مورد بررسی قرار گرفت.

۱. صحت سنجی و کالیبراسیون

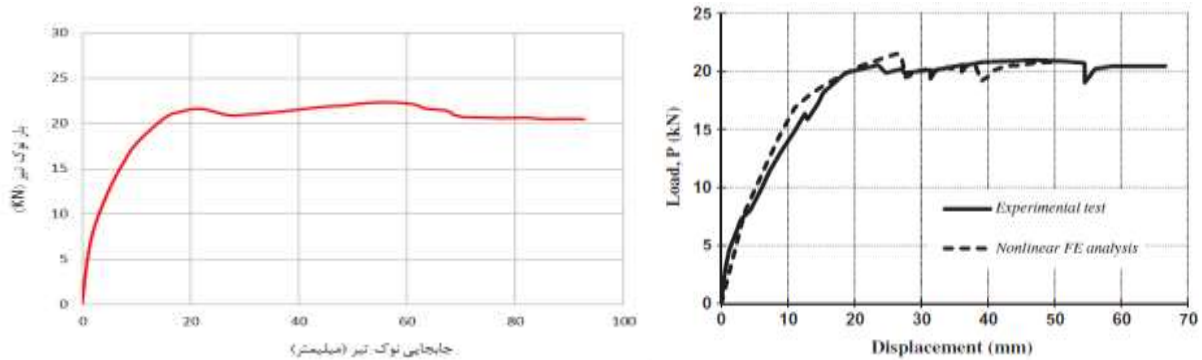
در این تحقیق از بین چندین نوع مواد کامپوزیت FRP، مواد کامپوزیت CFRP یا همان carbon fiber reinforced polymer انتخاب شده و در مدلسازی بکار رفته است. جهت بررسی صحت المان انتخابی و مدل سازی آن، مدل اتصال بتنی مسلح شده با میلگرد و FRP آقای اسلامی و رونق [۵] به همراه اطلاعات و فرضیات مورد استفاده در این تحقیق، مدل سازی گردیده و مطابق شکل (۱) تحت بارگذاری استاتیکی افزایشده قرار گرفته و نتایج حاصله با نتایج ارائه شده در مقاله مورد مطالعه مقایسه گردید. لازم به ذکر است که خصوصیات مصالح و مقاطع، مانند آنچه در کل این تحقیق جهت اتصال بتنی مورد استفاده قرار گرفته اند در نظر گرفته شده است و به همین دلیل امکان بررسی کارآمد بودن مدل اتصال به درستی صورت خواهد گرفت.



شکل (۱): جزئیات مدل اتصال تیر-ستون بتنی صحت سنجی شده [۵]

^۳ - Coulomb damping

پس از مدلسازی اتصال تیر-ستون مورد نظر و بررسی نتایج بدست آمده از تحلیل مدل مذکور، با توجه به دستیابی نتایج مشابه، صحت مدل اتصال بتنی به کارگرفته شده و همچنین فرضیات مربوطه تایید گردید. مقاومت فشاری بتن و مقاومت کششی برابر $46/27 \text{ MPa}$ و $67/3 \text{ MPa}$ بوده و تنش تسلیم میلگردهای فولادی 412 MPa در نظر گرفته شده است [۵]. برای فولاد مدل دو خطی با سختی کرنشی در تجزیه و تحلیل غیر خطی مورد استفاده قرار گرفته شده است. همچنین رفتار غیر خطی بتن با استفاده از مدل هاگنستاد، مدل شده است. همچنین جهت محصور شدگی در مدل مورد نظر بدین گونه می باشد که صفحات CFRP در دو طرف جان تیر با طولهای مختلف و با ضخامت های مختلف چسبانده می شود. مشخصات اتصال و CFRP در جداول (۱) و (۲) آورده شده است. شکل (۲) نتیجه بدست آمده از نرم افزار Abaqus می باشد و شکل (۳) نتایج بدست آمده توسط اسلامی و رونق [۵] می باشد.



شکل (۲): پاسخ شبه سازی شده و مدل شده المان اتصال تیر-ستون شکل (۳): پاسخ شبه سازی شده المان اتصال تیر-ستون توسط رونق و اسلامی [۵]

جدول (۱): مشخصات کامپوزیت CFRP اتصال صحت سنجی شده

نمونه	طول گیرایی (mm)	تعداد لایه های FRP	ضخامت (mm)
*CS	-	-	-
**RS1	۳۵۰	۱	۰/۱۶۵
***RS2	۲۰۰	۳	۰/۴۹۵

*-CS: Control Specimen

**RS 1: Reinforced Specimen with a layer of FRP

***RS 2: Reinforced Specimen with three layer of FRP

جدول (۲): مشخصات مکانیکی الیاف CFRP اتصال صحت سنجی شده

Tensile strength, f_{frp} (MPa)	Ultimate tensile strain, ϵ_{frp}	Tensile modulus, (MPa) E_{frp}	Thickness, (mm) t_{frp}
۳۹۰۰	۰/۰۱۵۵	۲۴۰۰۰۰	۰/۱۶۵

۲. معرفی قاب مورد مطالعه

به عنوان یک تحقیق، مطالعه حاضر برآورد و ظرفیت باربری لرزه ای سازه های بتن مسلح سازگار با آیین نامه با تمرکز بر مقاوم سازی با استفاده از FRP به منظور تغییر محل مفاصل پلاستیک و همچنین بررسی منحنی لنگر-دوران در اعضا و اتصالات بتنی تقویت شده با FRP می باشد. برای این منظور، یکی از اتصالات کناری قاب بتن آرمه خمشی به طول دهانه ۵/۲ متر و ارتفاع ۳/۲ متر می باشد. لازم به ذکر است که در مدلسازی اتصال مورد مطالعه، همانند شکل (۴)، نصف طول تیر و برای ستون نیمی از ستون طبقه بالا و نیمی از ستون طبقه پایین مدلسازی شده و مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به موارد گفته شده، طول تیر ۲/۶ متر و ارتفاع موثر ستون برابر ۳/۲ متر می باشد. تحلیل و طراحی قاب بر اساس ضوابط آیین نامه بتن ایران (آبا)، ضوابط ACI 318R-08 [۶] و آیین نامه زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) [۷] صورت گرفته است.

در خصوص قاب انتخابی از سازه ۵ طبقه با سه دهانه در هر طرف، باید گفت که این سازه بتنی با قاب خمشی متوسط و دیوار برشی تحلیل و طراحی شد. ساختمان در منطقه ای با خطر لرزه خیزی بسیار زیاد (تهران) واقع است. خاک محل احداث سازه مطابق استاندارد ۲۸۰۰ از نوع تیپ ۳ در نظر گرفته شده است.

مشخصات مربوط به خصوصیات FRP مطابق جدول (۳) بوده و مشخصات مصالح مصرفی و بارگذاری ثقلی و لرزه ای با توجه به مرجع [۸] و مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث ششم [۹] با در نظر گرفتن بار مرده بعلاوه ۲۰ درصد بار زنده و برای بارگذاری لرزه ای از استاندارد ۲۸۰۰ [۷] ویرایش چهارم استفاده شده است.

جدول (۳): مشخصات مصالح کامپوزیت CFRP [17]

FRP Composite	Elastic modulus MPa	Major Poisson's ratio	Tensile Strength MPa	Shear modulus MPa	Thickness of laminate mm
CFRP	$E_x = 62000$	$\nu_{xy} = 0.22$	958	$G_{xy} = 3270$	One lay. = 0.165
	$E_y = 4800$	$\nu_{xz} = 0.22$		$G_{xy} = 3270$	two lay. = 0.33
	$E_z = 4800$	$\nu_{yz} = 0.30$		$G_{xy} = 1860$	three lay. = 0.495

۳. معرفی اتصالات مورد مطالعه، فرضیات مدل سازی

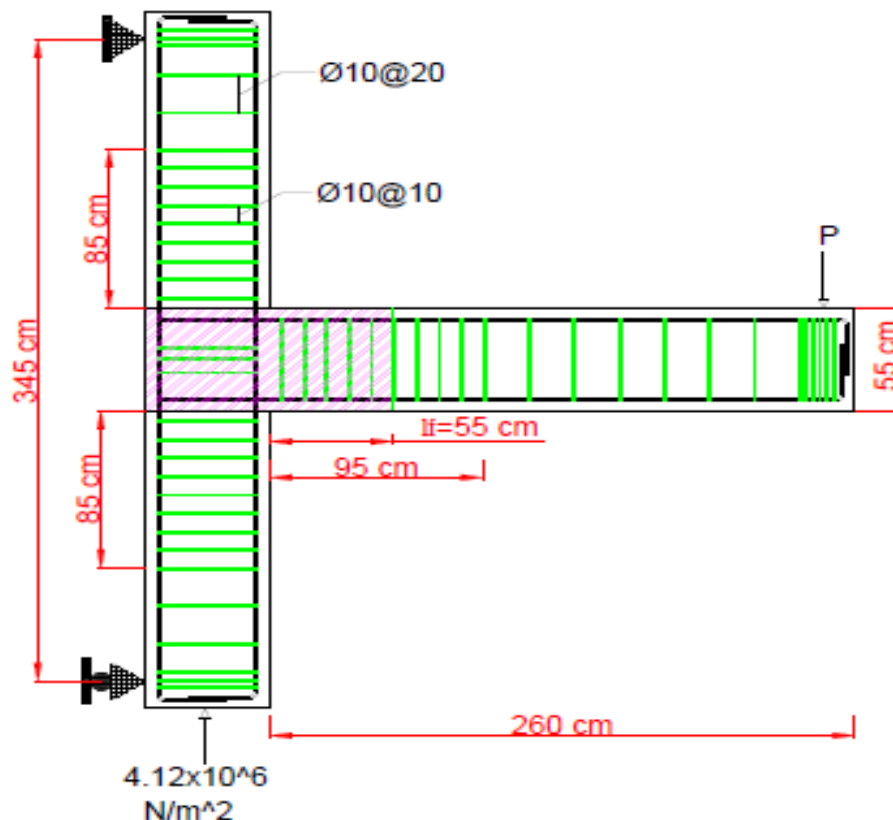
لازم بذکر است که در این تحقیق، از مدل ترکیبی پلاستیک-خسارت بتن و مدل های رفتاری بتن غیر محصور یعنی کنت و پارک استفاده شده است [۱۰]. مدل کنت و پارک^۱ اساساً برای بتن های محصور می باشد. اما چون این مدل افزایش مقاومتی برای بتن ناشی محصوریت در نظر نمی گیرد، استفاده از آن برای مدلسازی بتن های محصور به میزان قابل ملاحظه ای محافظه کارانه می باشد. همچنین از مدل هاگنستاد نیز برای منحنی تنش-کرنش بتن، که در آن فشار تحت شرایط تنش تک محوره مربوط به مقاومت فشاری بتن برابر ۰/۰۰۲ در نظر گرفته شد، استفاده شده است. مدل دوخطی نیز برای شبیه سازی رفتار فولاد در نظر گرفته شده است.

برای ایجاد مدل در Abaqus، میلگردها به صورت Wire و بتن بصورت solid و ورقه های CFRP بصورت Shell در نظر گرفته شده است. رفتار مواد کامپوزیت بر اساس مواد ناهمسانگرد مدل شد. این مدل مواد اجازه می دهد تا خواص مکانیکی FRP در کشش و فشار در جهات مختلف نشان داده شود. در این تحقیق از چهار نمونه که ابعاد تیر و ستون ۵۵۰*۶۰۰ میلی متر که یک نمونه بعنوان شاهد و مابقی نمونه ها با یک، دو و سه لایه CFRP می باشند.

بجز اتصال اصلی در مابقی اتصالات که شامل اتصال تیر-ستون بتنی نمونه شاهد و اتصالات بهسازی شده با FRP فاصله بین خاموتهای برشی در تیر و ستون بیش از $\frac{d}{2}$ بوده و در ناحیه بحرانی از بر ستون و نیز تعداد و فاصله خاموتهای رعایت نشده است. همچنین در ناحیه چشمه اتصال نیز خاموتی بکار نرفته است. در نرم افزار Abaqus جهت تعریف مشخصات الاستیک CFRP، از گزینه Lamina استفاده شده است. به این ترتیب مصالح با رفتار تنش صفحه ای و با خصوصیات متفاوت در جهات مختلف قابل تعریف خواهد بود. با استفاده از Hashin Damage مقاومت های کششی، فشاری و برشی در جهات مختلف تعریف گردید [۱۱]. لازم به ذکر است که در این پایان نامه طول موثر CFRP، یا همان l_f ، از بر ستون برابر ارتفاع تیرها در نظر گرفته شده است.

در نرم افزار Abaqus بارگذاری را می توان بصورت های نقطه ای، مونوتونیک (یکنواخت) و یا سیکلی (چرخه ای) به اعضای قاب یا اتصال تیر-ستون اعمال کرد. در این تحقیق از بارگذاری مونوتونیک بر اساس دستور بارگذاری یکنواخت Abaqus به المانها وارد گردید. بر این اساس، به منظور در نظر گرفتن اثر نیروی محوری در تجزیه و تحلیل غیرخطی، یک بار ثابتی معادل $0.2A_g f'_c$ در نظر گرفته شد [۵]. در این رابطه A_g برابر مساحت وجه مقطع ستون بوده و f'_c مقاومت فشاری بتن می باشد.

با توجه مطالب فوق، باری به اندازه $4.12 * 10^6 \text{ N/m}^2$ به شکل فشار به سطح مقطع ستون وارد شده و همانطور که در شکل (۴) مشاهده می شود بار استاتیکی یکنواخت افزایشی به نوک تیر وارد شده و برای شبیه سازی شکست قاب تحت بار لرزه ای نشان داده شده است. این بار در غالب جابجایی برای جلوگیری از همگرایی استفاده شده است. مشخصات اتصال مورد بررسی قرار گرفته در شکل های (۴) و جدول (۴) نشان داده شده است [۸].



شکل (۴): جزئیات اتصال تیر-ستون بتنی برای نمونه (c55*60-b55*60) [۸]

جدول (۴) : جزئیات مقاطع تیرها و ستون ها

specimen	Element	b (mm)	h (mm)	Cover (mm)	longitudinal Reinf.	transverse Reinf.	number of bars
CS-3	Column	۵۵۰	۶۰۰	۵۳	۲۲ Φ	$\Phi 10@250$ mm	۲۶
RSF 1-3							
RSF 2-3							
RSF 3-3							
CS-3	Beam	۵۵۰	۶۰۰	۵۳	۲۰ Φ	$\Phi 10@250$ mm	۳ (top)
RSF 1-3							۳ (bot.)
RSF 2-3							
RSF 3-3							

در این تحقیق طرح مقاوم سازی با استفاده از CFRP بر اساس پیکربندی ای که در صحت سنجی (شکل (۱)) از آن استفاده شده است، انجام شده است. بدین صورت که صفحات CFRP مطابق شکل (۱) در دو طرف جان تیر چسبانده شده و مورد بررسی قرار می گیرد.

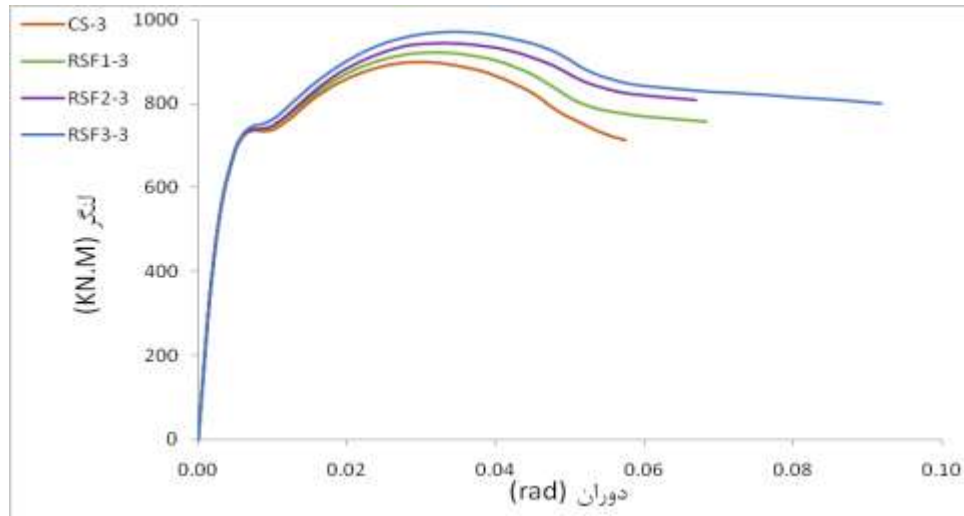
جدول (۵) : جزئیات کامپوزیتهای CFRP برای اتصالات تیر-ستون

Specimen	l_f (mm)	No. of ply	t_f (mm)
RSF 1-3	۶۰۰	۱	۰/۱۶۵
RSF 2-3	۶۰۰	۲	۰/۳۳
RSF 3-3	۶۰۰	۳	۰/۴۹۵

در این تحقیق طول l_f از بر ستون به اندازه ارتفاع تیر در نظر گرفته شده است. لازم بذکر است که طول کلی CFRP برابر l_f بعلاوه عمق ستون می باشد (جدول (۵)). ضخامت لایه های CFRP در جداول فوق آمده است. اگرچه افزایش ضخامت لایه های FRP از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست ولی این افزایش ضخامت برای انجام تجزیه و تحلیل صورت گرفته است. با این حال لازم به ذکر است که تجزیه و تحلیل نشان داد که این مسئله پس از آنکه باعث جابجایی مفصل پلاستیک می شود، بر روی منحنی نیرو-تغییر مکان نیز تاثیر دارد.

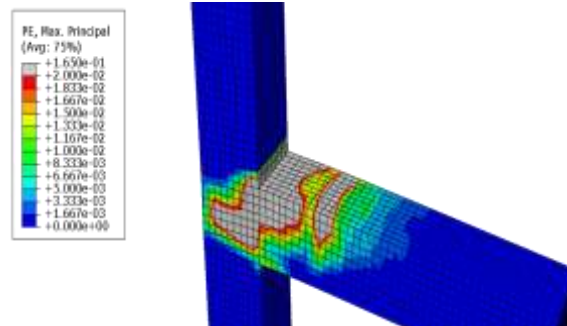
۴. بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق با توجه به فرضیات و مفاهیم بیان شده در بخش های قبلی در دو حالات مختلف بدون CFRP و با CFRP تحت بارگذاری محوری انجام گردیده است. هدف اصلی از انجام آنالیزها مقایسه ای بر رفتار اتصالات مختلف با تمرکز بر نقش FRP می باشد. به این ترتیب نتایج ارائه شده در این بخش در قالب منحنی لنگر-دوران ($M - \theta$) می باشد و جهت تحلیل بهتر و جامع تر نتایج مذکور مورد مقایسه قرار گرفته اند.



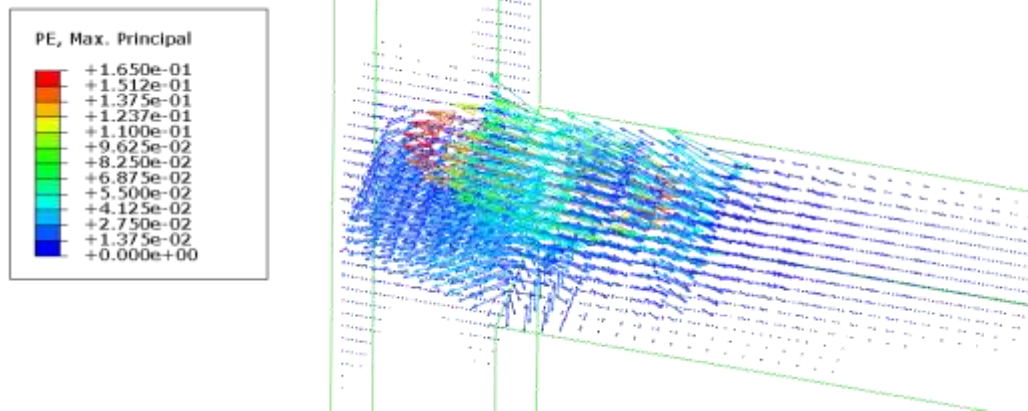
شکل (۶): نمودار لنگر-دوران برای نمونه ها

از نتایج فوق و شکل (۶) چنین حاصل می شود که اتصالاتی که با CFRP مسلح شده اند، نسبت به اتصال CS (نمونه شاهد) دارای ظرفیت دوران و تغییر شکل بیشتری هستند و این تغییر شکل با افزایش ضخامت FRP بیشتر می شود. بررسی منحنی ها نشان می دهد منحنی ها در اوایل بارگذاری بصورت خطی مستقیم پیش می رود که نشان دهنده سختی اولیه می باشد. شروع خرابی و کاهش سختی با ظاهر شدن ترک ها در ناحیه اتصال تیر به ستون مشخص می شود. محاسبات نشان می دهد که فولاد در این نقطه شروع به تسلیم شدن کرده و قادر به تحمل بار بیشتری نیست. از این نقطه به بعد FRP بار اضافی را تحمل می کند. با توجه به موارد گفته شده در فوق یکی از عوامل افزایش مقادیر در منحنی های لنگر-دوران در اتصالات مسلح شده با FRP نسبت به اتصالات بدون FRP، افزایش ظرفیت نیرو و تغییر شکل به دلیل وجود CFRP می باشد. این افزایش توسط تجزیه و تحلیل استاتیکی غیر خطی بدست می آید. همچنین برای نمونه ها مقادیر و شکل های ترک خوردگی، آسیب فشاری، آسیب کششی، تنش فون میسز (تسلیم میلگردهای فولادی) و آسیب کششی CFRP ها در زیر آورده شده است.



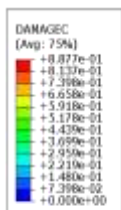
شکل (۷): کانتور ترک خوردگی برای اتصال RSF3-3

همانطور که در شکل های (۷) مشاهده می شود، حداکثر میزان کرنش های پلاستیک اصلی بیشینه یا همان پارامتری که در تعریف تنش-کرنش بتن استفاده شد، در حدود ۱۶/۵ درصد می باشد که مقدار بسیار بزرگی است و این امر حکایت از خسارت های کششی گسترده در بتن می باشد. با توجه به شکل (۷) مشاهده می گردد که ترک خوردگی ها بطور عمده در مرز اتصال تیر به ستون ایجاد می گردند.

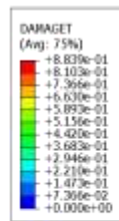


شکل (۹): نمایی از راستای ترک ها برای اتصال RSF3-3

در شکل (۹) به دلیل کششی بودن پارامترها، بردارها واگرا هستند و بزرگی آنها شدت ترک را نشان می دهد.

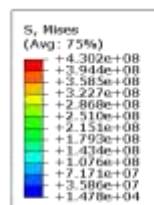


شکل (۱۱): کانتور آسیب کششی برای اتصال RSF3-3



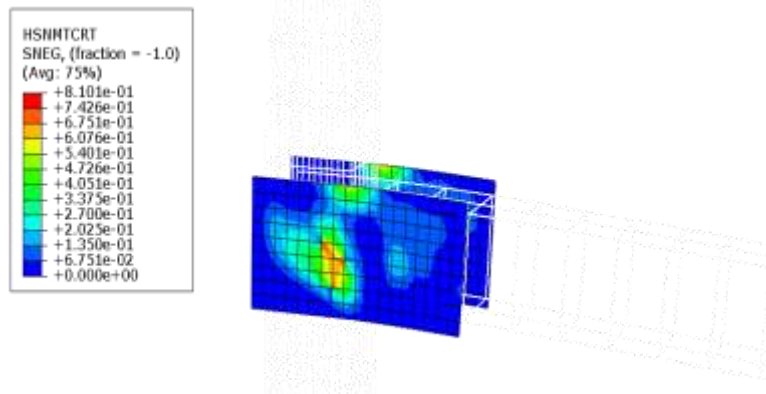
شکل (۱۰): کانتور آسیب فشاری برای اتصال RSF3-3

در شکل های (۱۰) و (۱۱) به ترتیب آسیب های فشاری و کششی را نشان میدهند. همانطور که مشاهده می گردد در هر دو حالت بیش از ۸۰ درصد بتن آسیب دیده که نشان دهنده خسارت بالا می باشد.



شکل (۱۲): کانتور معیار فون میسز (در حالت کشش) برای اتصال RSF3-3

با توجه به مشخصات وارده در طراحی اتصال فوق و با توجه به شکل (۱۲)، مشاهده می گردد که تمامی فولادها جاری شده و از تمام ظرفیت آنها استفاده شده است.



شکل (۱۳): کانتور آسیب کششی CFRP برای اتصال RSF3-3

با توجه به شکل (۱۳)، مشاهده می گردد که کامپوزیت های CFRP در محل مناسبی نصب شده اند، به نحوی که محل حداکثر تنش را تحت پوشش داده. همچنین با توجه به شکل های (۱۲) و (۱۳) ملاحظه می گردد که ابتدا میلگردهای فولادی جاری شده اند و سپس کامپوزیت های CFRP وارد عمل شده اند. همچنین با توجه به ممان ایجاد شده در تیر نشان می دهد که نصب این کامپوزیت ها باعث شده که مفصل پلاستیک از بر ستون فاصله گرفته و باعث بهبود عملکرد اتصال شود. این امر به نوبه خود، باعث بهسازی لرزه ای قاب از طریق روش جابجایی مفصل پلاستیک می شود.

۵. نتیجه گیری

نتایج حاصله مبین آنست که:

- ۱- تغییر مکان های اتصالات با یک لایه CFRP حدود ۱۰ mm بیشتر از تغییر مکان اتصالات CS-3 (نمونه شاهد) می-باشد. همچنین قابل ذکر است که این تغییر مکانها از ناحیه الاستیک به بعد می باشد.
- ۲- تغییر مکان اتصالات با دو لایه CFRP تقریبا برابر تغییر مکان اتصالات با یک لایه CFRP می باشد.
- ۳- در اتصالات با سه لایه CFRP تغییر مکان بیشتری نسبت به تمام نمونه ها داشته و دوران و لنگر بیشتری را تحمل می-نماید.
- ۴- در تمامی اتصالات مقاوم سازی شده با افزایش ابعاد، میزان حداکثر نیرو افزایش پیدا کرده است.
- ۵- با توجه به نمودارهای نیرو-تغییر مکان و لنگر-دوران، بهتر است از مقاوم سازی با دولایه FRP صرفه نظر شود. زیرا از نظر نتایج، نتایج اتصالات مقاوم سازی شده با دو لایه CFRP، نزدیک به نتایج نمونه های مقاوم سازی شده با یک لایه CFRP می باشد.
- ۶- حداکثر نیروی وارده به نمونه های مقاوم سازی شده نسبت به نمونه CS-3 به ترتیب ۱۰ تا ۳۰ درصد افزایش یافته است.

۶. منابع

- [1] Nanni A, Bradford N.M. "FRP jacketed concrete under uniaxial compression". Construction and Building Materials Vol. 9, No. 2, pp. 115-124, 1995.
- [2] Demers M, neale K.W. "strengthening of concrete columns with unidirectional composite sheets. Structures". 1995 Vol. 97, No. 4, pp 659-668.
- [3] "، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۵ FRP-حسان قریبی، "اصلاح مدل های رفتاری برای عملکرد لرزه ای اعضای بتن مسلح محصور شده با
- [4] Baji H, Eslami A, Ronagh H.R. "Development of a nonlinear FEmodelling approach for FRP-strengthened RC beam-column connections". Structures N 2015; 272–281.
- [5] Eslami A, Dalalbashi A, Ronagh H.R, "On the effect of plastic hinge relocation in RC buildings using CFRP", Composites: Part B, pp. 350-361, April 2013.
- [6] ACI Committee 318. Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary (ACI 318R–08). Farmington Hills, Mich.: American Concrete Institute; 2008.
- [7] آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۲.
- [8] حامد کرملو، " بررسی منحنی لنگر-دوران در اعضا و اتصالات بتنی تقویت شده با FRP"، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۵.
- [9] مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، بارگذاری، ۱۳۹۲.
- [10] Kent DC, Park R." Flexural members with confined concrete" e. Journal of the Structural Division 1971;97:1969–90.
- [11] محمد یکرنگ نیا، رضا شهبازی، "راهنمای کاربردی Abaqus به همراه مسائل مهندسی عمران"، انتشارات نشر علم عمران، ۱۳۹۳.