

ارزیابی تجربی کاربرد الیاف FRP در مقاوم‌سازی تیرهای بتن آرمه در برابر برش

پدرام باسری^۱، آرش توتونچی^۲

۱- دانشجوی دکتری عمران گرایش سازه. گروه مدیریت عمران. واحد مرودشت. دانشگاه آزاد اسلامی. مرودشت. ایران

۲- استادیار گروه مهندسی عمران. گروه مدیریت عمران. واحد مرودشت. دانشگاه آزاد اسلامی. مرودشت. ایران

p.baseri@miau.ac.ir

چکیده

در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی جهت درک و استفاده بیشتر کامپوزیت‌های FRP به صورت اجزایی که می‌توانند در ترمیم یا تقویت تیرها، به شکل خارجی به جوانب تیر الصاق شود، صورت گرفته است. استفاده از این کامپوزیت‌ها در تقویت خمشی دال‌ها و تیرها و همچنین محصور کردن ستون‌های دایره‌ای، بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به لزوم بررسی تقویت برشی تیرهای بتن آرمه با ورقه‌های FRP، در این بررسی آزمایشگاهی تیرهای بتن آرمه با استفاده از بافت‌های مختلف کامپوزیت‌های FRP، در اشکال مختلف با عرض‌ها و ضخامت‌های متفاوت در برابر برش تقویت شدند. نتایج به دست آمده از بارگذاری نمونه‌ها نشان داد که استفاده از کامپوزیت‌های FRP در تقویت تیرهای بتن آرمه در الگوهای مختلف، افزایش ظرفیت باربری متفاوتی را به دنبال دارد.

کلمات کلیدی: ارزیابی تجربی، تیر بتن آرمه، برش، مقاوم‌سازی، کامپوزیت‌های FRP.

۱. مقدمه

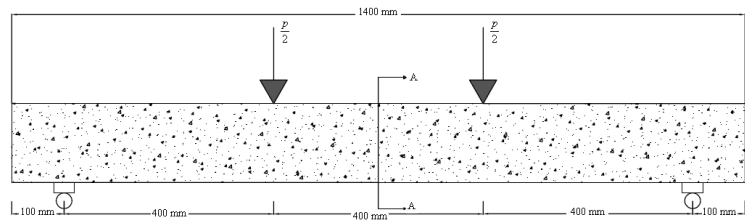
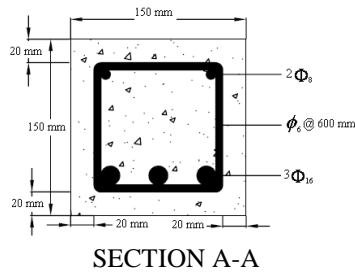
به دلایل مختلفی چون خرابی‌های ناشی از عوامل محیطی نظیر خوردگی و یا وزش بادهای بسیار شدید، تضعیف اعضا در اثر کوتاهی کردن در نگهداری صحیح، خسارات ناشی از زلزله و یا جنگ، تغییر در کاربری، تغییرات سازه‌ای، تغییرات بین آئین‌نامه‌های جدید با آئین‌نامه‌های قدیم و ... ممکن است که سازه‌های بتن‌آرمه، مقاومت و شکل پذیری لازم را در برابر بارهای اعمالی نداشته باشند.

از آنجایی که جایگزین چنین سازه‌هایی وقت و هزینه‌ی زیادی را می‌طلبد، مقاوم‌سازی به یک راه‌حل قابل قبول برای بهبود ظرفیت تحمل بار و افزایش عمر بهره‌برداری سازه تبدیل شده است. برای تقویت و مرمت سازه‌ها، روش‌های مختلفی از گذشته مورد استفاده قرار می‌گرفته است [۱]. در سال‌های اخیر، تقویت سازه‌های بتن‌آرمه با استفاده از کامپوزیت‌های FRP مورد توجه زیادی قرار گرفته و مطالعات و آزمایش‌های زیادی بر روی انواع سازه‌های بتن‌آرمه که با صفحات FRP تقویت شده‌اند، صورت گرفته است [۲]. سیستم‌های FRP به صورت پوشش‌های بیرونی و به منظور افزایش مقاومت و بهسازی سازه‌های بتنی موجود، از اواسط دهه ۱۹۸۰ تاکنون در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳]. به دلیل سهولت و مؤثر بودن روش تقویت با ورقه‌ی FRP و اقتصادی بودن روش به دلیل افزایش تولید و کاهش قیمت تمام شده‌ی ورقه‌های FRP و توجه به مزایای بی‌شمار آن‌ها همچون مقاومت کششی بالا، وزن کم، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت در برابر خستگی، میرایی بالا و ... نسبت به ورقه‌های فولادی، کاربرد بیشتری در تقویت و ترمیم اعضای باربر سازه‌ای پیدا کرده‌اند، به طوری که می‌توان گفت در صورتی که یک پنجم وزن ورقه‌های فولادی را دارند ولی مقاومت آن‌ها ده برابر ورقه‌های فولادی است [۴]. در تیرهای بتن‌آرمه مد گسیختگی برشی نسبت به مد خمشی، خطرناک‌تر است. چون این مد ترد و ناگهانی و بدون اخطار قبلی رخ می‌دهد و ترک‌های قطری برشی نسبت به ترک‌های خمشی، عریض‌تر و جلوگیری از گسترش آن‌ها به مراتب مشکل‌تر است. پس باید جلوی این مد را بگیریم تا گسیختگی تیر در مد خمشی روی دهد [۵]. بنابراین در این مقاله به بررسی آزمایشگاهی و تقویت برشی تیرهایی پرداخته شده است که به دلایلی از جمله خطای محاسباتی در طراحی چون عدم رعایت فاصله و مقدار خاموت‌ها و ارائه‌ی جزئیات نادرست برای آرماتور برشی، اشتباه در ساخت و اجرا، تغییرات در بارهای بهره‌برداری و افزایش آن‌ها، کاهش سطح مقطع آرماتور برشی و از بین رفتن آن در اثر خوردگی به مرور زمان، در برش ضعیف بوده و احتمال مد گسیختگی برشی در آن‌ها وجود دارد [۶].

۲. برنامه آزمایش

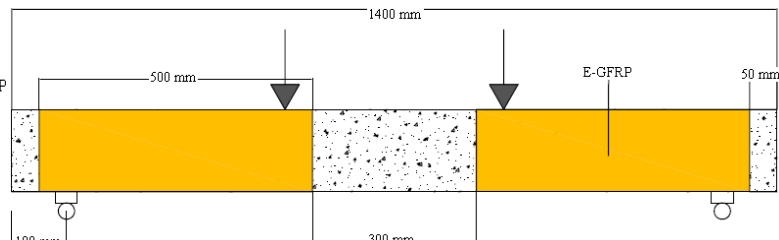
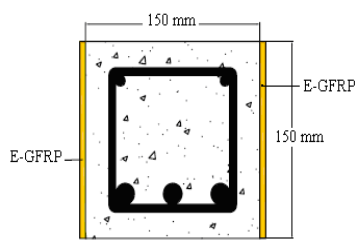
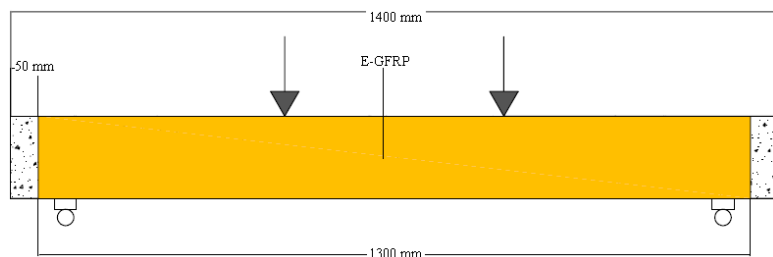
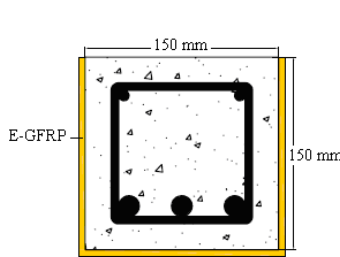
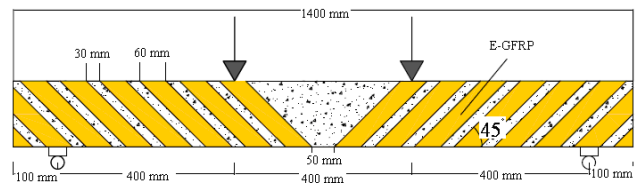
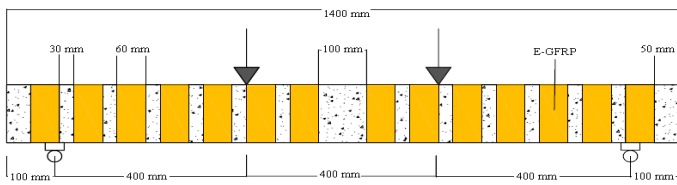
ده تیر بتن‌آرمه‌ی مربع شکل به ابعاد (۱۵۰ میلی‌متر×۱۵۰ میلی‌متر) با طول کل ۱۴۰۰ میلی‌متر و دهانه‌ی خالص ۱۲۰۰ میلی‌متر برای آزمایش ساخته شدند. ابعاد و اندازه‌ی تیرها با توجه به امکانات آزمایشگاه انتخاب شده و همگی به یک اندازه می‌باشند. در ساخت نمونه‌ها سعی بر آن شده است که مشخصات آرماتوربندی و بتن مصرفی در همه‌ی آن‌ها یکسان باشد. دو تیر بتن‌آرمه با همان حالت اولیه، به عنوان نمونه‌های کنترل استفاده شدند و هشت نمونه‌ی دیگر به وسیله‌ی کامپوزیت‌های E-GFRP و انواع رزین‌ها تقویت شدند.

طراحی اولیه‌ی تیرها به نحوی صورت گرفته است که حتی‌الامکان، گسیختگی نهایی تیرها بعد از تقویت در مد برشی صورت پذیرد، که این امر جهت رسیدن به حداکثر تأثیر تقویت‌های انجام گرفته می‌باشد. در کلیه‌ی نمونه‌های لایه‌گذاری شده، کامپوزیت‌های E-GFRP به شکل‌های مختلفی، در کناره‌های تیر و یا به صورت U شکل در کناره‌ها و قسمت تحتانی تیر چسبانیده شدند. این کامپوزیت‌ها در دو و سه لایه، به ترتیب با ضخامت‌های ۱/۳ و ۲ میلی‌متر به کار برده شدند. شکل ۱ نشان‌دهنده‌ی جزئیات آرماتوربندی، ابعاد تیر کنترل و نحوه‌ی بارگذاری آن می‌باشد.



شکل ۱- جزئیات آرماتوربندی و ابعاد تیر کنترل و نحوه بارگذاری آن

نحوه لایه‌گذاری و تقویت نمونه‌ها در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲- نحوه لایه‌گذاری و تقویت نمونه‌ها

رزین‌های مورد استفاده در کلیه نمونه‌ها از پایه‌ی وینیل‌استر بود که در دو نوع مختلف X و Y و با کاتالیزورهای X و Y مورد استفاده قرار گرفتند، همچنین کامپوزیت‌های E-GFRP مورد استفاده از دو نوع بافت A، M تشکیل شده بودند. مشخصات این الیاف در جدول شماره‌ی ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات الیاف E-GFRP

ردیف	نوع بافت E-GFRP	مدول الاستیسیته GPa	ضخامت mm	کرنش نهایی %	مقاومت کششی MPa	وزن gr/m ²
۱	A	۷۰	۰/۳	۳/۲	۱۸۰۰	۴۵۰
۲	M	۷۲	۰/۴	۳/۵	۲۴۰۰	۸۰۰

لایه‌گذاری الیاف کامپوزیتی در تمامی نمونه‌های تقویت‌شده (شکل‌های ۲ الی ۷) در سه لایه به ترتیب با بافت‌های A، M و A انجام شد، به جزء نمونه‌ی $90X(2*500*150)90(4*500*150)Bu,2$ که لایه‌گذاری در دو لایه به ترتیب با بافت‌های A و A انجام شد. همچنین برای لایه‌گذاری الیاف کامپوزیتی در تمامی نمونه‌های تقویت‌شده (شکل‌های ۲ الی ۷) از رزین X و کاتالیزور متناسب با آن یعنی 'X' استفاده شد، به‌جزء نمونه‌ی $90Y(1*1300*150)90(2*1300*150)Bu,3$ که لایه‌گذاری با استفاده از رزین Y و کاتالیزور 'Y' که متناسب با نوع رزین Y بود، استفاده شد. تمامی نمونه‌های ساخته شده، به‌طور ساده روی تکیه‌گاه قرار گرفته و توسط دو بار نقطه‌ای که در فاصله‌ی یک‌سوم دهانه از تکیه‌گاه‌ها قرار دارند، مورد بارگذاری قرار داده می‌شوند. در تمام نمونه‌ها از سه عدد میلگرد شماره‌ی ۱۶ در یک ردیف و در قسمت کششی تیر، با عمق مؤثر ۱۱۶ میلی‌متر، استفاده شد. از دو عدد میلگرد شماره‌ی ۸ نیز به‌عنوان میلگردهای فشاری استفاده شده است. در هر تیر از خاموت شماره‌ی ۶ به‌عنوان میلگردهای برشی با فاصله‌ی ۶۰۰ میلی‌متر از هم استفاده شده است که با توجه به مدل‌های گسیختگی برشی و ابعاد تیر، امکان تشکیل ترک‌های قطری، مابین دو خاموت مجاور کاملاً امکان‌پذیر می‌باشد. تنش تسلیم آرماتورهای طولی برابر با ۴۰۰ مگاپاسکال و آرماتورهای برشی برابر با ۳۷۰ مگاپاسکال می‌باشد. مخلوط بتن مذکور برای رسیدن به مقاومت فشاری ۲۰ مگاپاسکال طراحی شده بود. در این بتن از سیمان پرتلند نوع (II) همراه با ماسه‌ی شسته و شن با بزرگترین اندازه‌ی دانه‌ی ۱۲/۵ میلی‌متر استفاده شده بود. نسبت وزنی مصرف سیمان، ماسه و شن به‌ترتیب ۰/۱۳، ۰/۴۱، ۰/۳۶ و نسبت آب به سیمان برابر ۰/۶۹ در نظر گرفته شده بود. ساخت کلیه‌ی نمونه‌ها، در سه نوبت بتن‌ریزی صورت پذیرفت و نه نمونه‌ی مکعبی به‌اندازه‌ی (۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر) برای تعیین مقاومت فشاری بتن گرفته شد.

رفتار اجزای بتنی که با مصالح FRP مقاوم‌سازی یا ترمیم می‌شوند، به‌طور قابل ملاحظه‌ای با وضعیت سطح بتن و آماده‌سازی مناسب و هموار شدن رویه‌ی آن مرتبط می‌باشند. در غیر این صورت می‌تواند نتایجی نظیر ورآمدن FRP از سطح بتن یا جدایش لایه‌ها از سطح یکدیگر اتفاق افتد [۶]. لذا بدین منظور، پس از بررسی‌های کامل، به یک ترکیب مناسب از هاردنر و پرایمر، جهت نفوذ در نمونه‌ها و همچنین تهیه‌ی یک بتونه با چسبندگی بالا و تا حدودی انعطاف‌پذیر رسیده که برای تقویت نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

۳. روند آزمایش و اندازه‌گیری

تیرهای مورد آزمایش، به‌طور ساده روی تکیه‌گاه‌های منظور شده در یک قاب صلب، قرار داده می‌شوند. بار وارده به‌وسیله‌ی یک جک هیدرولیکی ۱۰۰ تنی که توسط یک پمپ دستی کار می‌کند، به تیر صلبی که در دو نقطه بر روی نمونه قرار می‌گیرد، منتقل شده و نیروی وارده به صورت دو نیروی متمرکز در نقاط یک‌سوم دهانه روی نمونه اعمال می‌گردد. اندازه‌گیری‌های این آزمایش شامل اندازه‌گیری بار اعمال شده و اندازه‌گیری تغییرمکان وسط دهانه‌ی تیر بود. در شکل ۳، نحوه‌ی بارگذاری نمونه‌ها آمده است. همچنین مشخصات تیرهای بتن‌آرمه، اطلاعات مربوط به تقویت نمونه‌های مورد آزمایش و پارامترهای آزمایش و اطلاعات مربوط به هر نمونه در جدول ۲ آورده شده‌اند.



شکل ۳- نمونه‌های تقویت شده و نحوه‌ی بارگذاری آن‌ها

جدول ۲- نام، مشخصات و پارامترهای در نظر گرفته شده برای تقویت تیرهای مورد آزمایش

ردیف	نام نمونه	راستای تقویت نمونه‌ها در کناره‌های تیر نسبت به محور طولی تیر (درجه)	راستای تقویت نمونه‌ها در قسمت تحتانی تیر نسبت به محور طولی تیر (درجه)	طول الیاف mm	عرض الیاف mm	فاصله الیاف از همدیگر mm	تعداد لایه‌ها	بافت الیاف E-GFRP	نوع رزین	نوع کاتالیزور
۱	Bu,3(32*60*150)45(16*60*150)90X	۴۵	۹۰	۶۰	۱۵۰	۳۰	۳	M-N-M	X	X'
۲	Bu,3(28*60*150)90(14*60*150)90X	۹۰	۹۰	۶۰	۱۵۰	۳۰	۳	M-N-M	X	X'
۳	BII,3(4*500*150)90X	۹۰	-----	۵۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۳	M-N-M	X	X'
۴	BII,3(2*1300*150)90X	۹۰	-----	۱۳۰۰	۱۵۰	-----	۳	M-N-M	X	X'
۵	Bu,3(2*1300*150)90(1*1300*150)90X	۹۰	۹۰	۱۳۰۰	۱۵۰	-----	۳	M-N-M	X	X'
۶	Bu,3(4*500*150)90(2*500*150)90X	۹۰	۹۰	۵۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۳	M-N-M	X	X'
۷	Bu,2(4*500*150)90(2*500*150)90X	۹۰	۹۰	۵۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۲	M-M	X	X'
۸	Bu,3(2*1300*150)90(1*1300*150)90Y	۹۰	۹۰	۱۳۰۰	۱۵۰	-----	۳	M-N-M	Y	Y'
۹	BControl,1	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
۱۰	BControl,2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

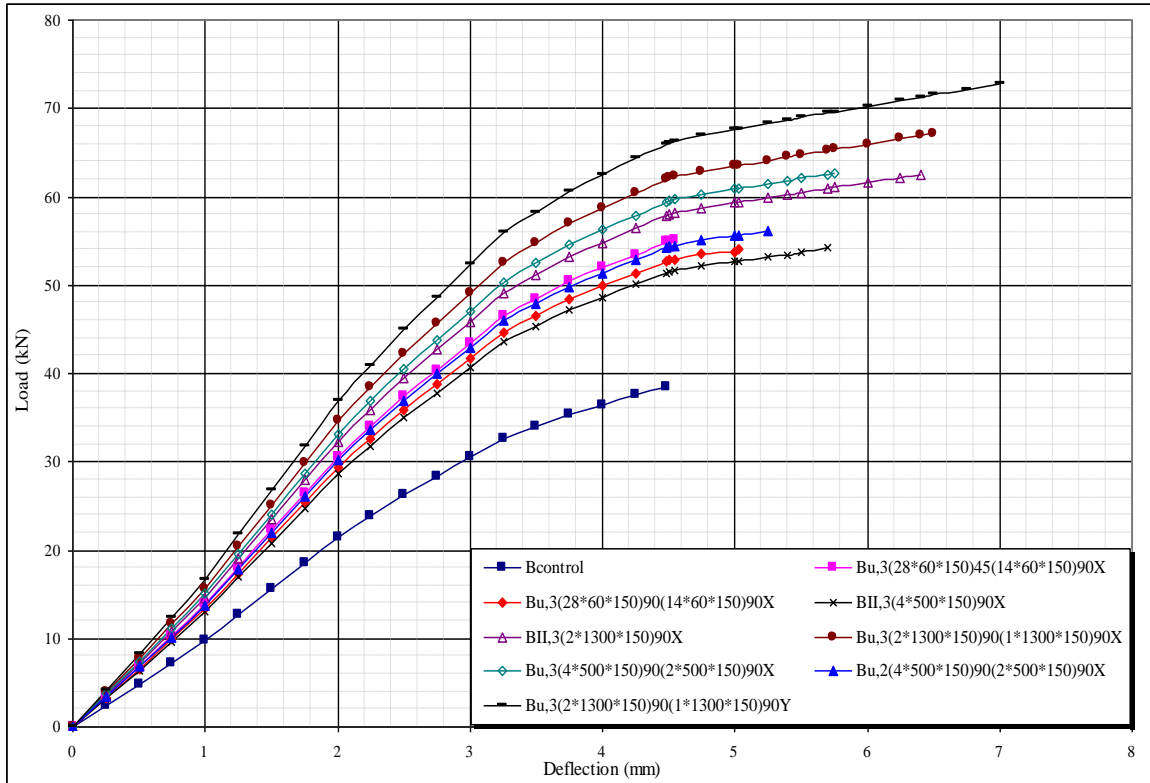
۴. نتایج آزمایش

یک خلاصه از نتایج آزمایش، که نشان‌دهنده‌ی مد گسیختگی، ظرفیت باربری نمونه‌ها و تغییرمکان آن‌ها می‌باشد، در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- نتایج حاصل از بارگذاری نمونه‌ها

ردیف	نام نمونه	بار P_u kN	تغییرمکان Δ ن mm	P_u/P_u (control)	Δ / Δ (control)	افزایش بار %	نوع گسیختگی مشاهده شده در تیر
۱	Bu,3(32*60*150)45(16*60*150)90X	۲۷/۵۶	۴/۵۵	۱/۴۳	۱/۰۱	۴۳	شکست برشی تیر با جداشدن ورق تقویتی E-GFRP از سطح بتن
۲	Bu,3(28*60*150)90(14*60*150)90X	۲۷/۰۳	۵/۰۳	۱/۴۰	۱/۱۲	۴۰	شکست برشی تیر با جداشدن ورق تقویتی E-GFRP از سطح بتن
۳	BII,3(4*500*150)90X	۲۷/۰۳	۵/۷	۱/۴۰	۱/۲۷	۴۰	شکست برشی تیر با جداشدن ورق تقویتی E-GFRP از سطح بتن
۴	BII,3(2*1300*150)90X	۳۱/۲۷	۶/۴	۱/۶۲	۱/۴۳	۶۲	شکست برشی تیر با جداشدن ورق تقویتی E-GFRP از سطح بتن
۵	Bu,3(2*1300*150)90(1*1300*150)90X	۳۱/۵۳	۶/۵	۱/۶۴	۱/۴۵	۶۴	شکست برشی تیر با جداشدن ورق تقویتی E-GFRP از سطح بتن
۶	Bu,3(4*500*150)90(2*500*150)90X	۳۱/۳۲	۵/۷۵	۱/۶۳	۱/۲۸	۶۳	شکست برشی تیر با جداشدن ورق تقویتی E-GFRP از سطح بتن
۷	Bu,2(4*500*150)90(2*500*150)90X	۲۸/۰۶	۵/۲۵	۱/۴۶	۱/۱۷	۴۶	شکست برشی تیر با جداشدن ورق تقویتی E-GFRP از سطح بتن
۸	Bu,3(2*1300*150)90(1*1300*150)90Y	۳۴/۳۷	۷/۰۰	۱/۷۸	۱/۵۶	۷۸	شکست برشی تیر با جداشدن ورق تقویتی E-GFRP از سطح بتن
۹	BControl	۱۹/۲۶	۴/۴۸	۱/۰۰	۱/۰۰	-----	شکست برشی تیر

نمودار تغییرمکان در مقابل بارهای اعمال شده برای نمونه‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- نتایج حاصل از بارگذاری تیرها

۵. مد گسیختگی

نمونه‌های کنترل دچار گسیختگی برشی شدند و ترک‌های مورب برشی در جان آن‌ها به وجود آمدند. نوع گسیختگی مشاهده شده در باقیمانده‌ی تیرها که به شکل‌های مختلفی تقویت شده بودند، از نوع شکست برشی بوده که همراه با جدا شدن ورق تقویتی E-GFRP از سطح بتن می‌باشد (شکل ۵). آنچه در آزمایشگاه، مشاهده شده و توسط محققین مختلف نیز تأیید شده است، روند مشترکی است که در مکانیزم گسیختگی برشی وجود دارد. به روشنی دیده می‌شد که در نمونه‌ها، شکست برشی اتفاق افتاده است و ترک‌های مورب که در جان تیرها و از تکیه‌گاه‌ها تا نقاط بارگذاری (در فاصله‌ی یک سوم دهانه از تکیه‌گاه‌ها) به وجود آمده‌اند، قابل مشاهده می‌باشند. همچنین در تمامی نمونه‌های تقویتی شکست برشی تیر با جدا شدن ورق تقویتی E-GFRP از سطح بتن همراه بود.



شکل ۵- شکست برشی در تیر BControl,2 و جدا شدن ورق تقویتی E-GFRP از سطح بتن

با مقایسه‌ی نمودارهای بار- تغییرمکان در شکل ۴ و نتایج به‌دست آمده در جدول ۳ بهبود قابل توجهی در ظرفیت برشی نمونه‌ها به روشنی مشخص است، این افزایش باربری با افزایش سختی نمونه‌ها همراه است.

۶. تحلیل نتایج آزمایش

به طور کلی، کاربرد کامپوزیت‌های E-GFRP در تقویت تیرهای بتن‌آرمه، باعث بهبود ظرفیت باربری و افزایش سختی آن‌ها می‌شود. بیشترین ظرفیت باربری در نمونه‌های تقویت شده، در نمونه‌ی Bu,3(2*1300*150)90Y بود که با کامپوزیت‌های E-GFRP در سرتاسر تیر به صورت U شکل و در سه لایه تقویت شده بود، برابر با ۷۸ درصد مشاهده شد، و کمترین ظرفیت باربری، در نمونه‌ی Bu,3(28*60*150)90X(14*60*150)90X بود که به صورت نوارهای برشی U شکل در سه لایه و نمونه‌ی BII,3(4*500*150)90X که به صورت ورقه‌های E-GFRP در دهانه‌ی برشی و فقط در کناره‌ها به صورت سه لایه تقویت شدند، برابر با ۴۰ درصد مشاهده گردید.

می‌بایست این نکته ذکر شود، به دلیل این که تمامی نمونه‌ها قبل از به کارگیری تقویت‌کننده‌های E-GFRP، هیچ گونه ترک خوردگی و بارگذاری نداشتند، بنابراین نتایج این تحقیق برای تیرهایی قابل اجرا است، که دچار ترک خوردگی وسیعی نشده‌اند و یا این که تحت تأثیر بارهای گرانشی، بیش از اندازه خسارت ندیده‌اند. در آخر توصیه می‌شود که افزایش ظرفیت باربری عضو تقویت شده با سیستم FRP محدود شود، به این صورت که کاهش یا از بین رفتن سیستم FRP نباید باعث گسیختگی عضو تحت اثر بارهای ثقلی شود [۷].

۷. نتیجه‌گیری

- براساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، نکات زیر قابل بیان است:
- نمونه‌های کنترل دچار گسیختگی برشی شدند و تمامی نمونه‌های دیگر که تقویت شده بودند به صورت شکست برشی تیر با جداشدن ورق تقویتی
- E-GFRP از سطح بتن گسیخته شدند.
- استفاده از کامپوزیت‌های E-GFRP باعث افزایش سختی و بهبود قابل توجه در ظرفیت برشی تیرها می‌شود.
- ظرفیت برشی تیرها با افزایش سطح کامپوزیت‌های E-GFRP، افزایش می‌یابد.
- افزایش تعداد لایه‌های تقویت از دو لایه به سه لایه، در افزایش ظرفیت برشی تیرهای بتن‌آرمه تأثیرگذار بود.
- مقاوم‌سازی خمشی تیر بتن‌آرمه در قسمت تحتانی با کامپوزیت‌های E-GFRP، در افزایش میزان باربری مؤثر می‌باشد.
- نتایج به روشنی تأثیر تقویت قرارگیری الیاف تحت زاویه‌ی ۴۵ درجه نسبت به محور طولی تیر را نسبت به قرارگیری الیاف تحت زاویه‌ی ۹۰ درجه نسبت به محور طولی تیر، در افزایش میزان باربری نشان می‌دهد.
- اگر در کناره‌های تیر از الیاف، در جهت عمود بر زاویه‌ی ترک خوردگی (قرارگیری الیاف تقویتی تحت زاویه‌ی ۴۵ درجه نسبت به محور طولی تیر) استفاده شود، منجر به افزایش تأثیر تقویت برشی می‌گردد.
- استفاده از رزین‌های مختلف، تأثیر متفاوتی در تقویت نمونه‌ها می‌گذارند و میزان باربری را تغییر می‌دهند.
- از نتایج می‌توان به روشنی تأثیر گستردگی و یکنواختی ورقه‌های FRP را نسبت به نوارهای FRP در افزایش میزان باربری مشاهده نمود.

- افزایش میزان ظرفیت باربری در نمونه های تقویت شده بین کمترین مقدار ۴۰ درصد تا بیشترین مقدار ۷۸ درصد متغیر بود.
- در تمامی نمونه ها شکست برشی اتفاق افتاده است و ترک های مورب که در جان تیرها و از تکیه گاه ها تا نقاط بارگذاری (در فاصله ی یک سوم دهانه از تکیه گاه ها) به وجود آمده اند، قابل مشاهده می باشند.

۸. قدردانی

لازم به ذکر می دانم که از مدیرعامل محترم شرکت فراپاکس شیراز و نیز سرپرست محترم واحد مخزن سازی شرکت فراپاکس، که در مراحل لایه گذاری کامپوزیتی (FRP) نمونه ها، با در اختیار گذاردن امکانات موجود از هیچ گونه مساعدتی دریغ ننموده اند، قدردانی شود. همچنین از همکاری ریاست محترم اداره کل آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان فارس و نیز مسئولین محترم آزمایشگاه مرکز تحقیقات مهندسی فارس، کارگاه صنعتی ماشین آلات تبریز، جهت انجام آزمایش بر روی نمونه ها، تشکر و قدردانی می شود.

۹. مراجع

- [1] Carolin, "Carbon Fiber Reinforced Polymers For Strengthening Of Structural Elements", Division Of Structural Engineering, Department Of Civil And Mining Engineering, Lulea University Of Technology, Doctoral Thesis, Sweden, Juni 2003 .
- [2] Baseri, P., Sohrabi, M.R., Keshavarzi, E., "Investigation Of Strengthening Of Flat Slabs Against Punching Shear With FRP Composites In Lab", Proceedings Of The 2st International Conference On Seismic Retrofitting, Tabriz, Iran, November 2009.
- [۳] باسری، پدram، تقویت دال های تخت در برابر برش منگنه ای با استفاده از کامپوزیت های FRP در آزمایشگاه، پایان نامه کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد زاهدان، ۱۳۸۸.
- [4] Chen, J.F., Teng, J.G., Smith, S.T., Lam, L., "FRP Strengthened RC Structures", Published By Wiley, 2002.
- [5] Thomas T.C.Hsu., "Unified Theory Of Reinforced Concrete", University Of Houston, Texas, CRC Press, 2000.
- [6] Al-Sulaimani, G.J., Sharif, A., Basunbul, I.A., Baluch, M.H., Ghaleb, B.N., "Shear Repair For Reinforced Concrete By Fiberglass Plate Bonding", ACI Structural Journal , V. 91, No. 3, July-August 1994.
- [۷] سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، "راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP"، نشریه شماره ۳۴۵، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۵.