

ارائه روش جدید برای تقویت برشی تیر بتن آرمه با الیاف CFRP

رضا آزمون^۱، حمید وارسته پور^۲

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خراسان رضوی، گروه عمران، نیشابور

۲-استادیار، عمران، موسسه آموزش عالی صنعت آب و برق hamid_v_p@yahoo.com

چکیده

امروزه صنعت FRP به طور چشم گیری در تمام دنیا مورد استفاده قرار می گیرد . استفاده از الیاف FRP یکی از روش های بهبود می باشد که برای تقویت سازه های بتنی پدیدار شده و به عنوان یک جانشین مناسب برای روش های سنتی از قبیل چسباندن صفحات فولادی، افزایش سطح مقطع با بتن ریزی مجدد و پیش تنیدگی خارجی محسوب می شود. استفاده از FRP در زمینه مقاوم سازی هرچند که هزینه بالایی دارد اما با توجه به سرعت اجرای بالا و سایر مزایای دیگر FRP در کل یکی از اقتصادی ترین و موثرترین راه مقاوم سازی سازه های بتنی به شمار می رود. تحقیقات انجام شده درباره ترمیم و تقویت برشی تیرهای بتنی بسیار اندک است. در این مقاله به ارزیابی مقاومت برشی تیرهای بتن مسلح در حالت تقویت شده با الیاف CFRP پرداخته شده است. برای رسیدن به اهداف پژوهش یک نمونه تیر بتنی به عنوان شاهد و شش نمونه تیر بتنی با استفاده از الیاف کربن با آرایش متفاوت تقویت شده است. همه نمونه ها با آرماتور گذاری و بتن یکسان ساخته شده است. نمونه ها تحت بارگذاری دو نقطه ای در آزمایشگاه سازه دانشگاه فردوسی مشهد قرار گرفت که شکست برشی در تیرهای بتنی تقویت شده به تعویق افتاد و تا حدودی از آن جلوگیری شد و در برخی از تیرها شکست از نوع شکست خمشی و خمشی- برشی به وقوع پیوست. علاوه براین مقاومت تیرهای بتنی تقویت شده با الیاف کربن افزایش چشمگیری داشته است.

واژه های کلیدی : تیر بتنی، تقویت برشی، شکست زودرس، FRP

گسیختگی های برشی و خمشی از مهم ترین مد های گسیختگی برای تیر های تقویت نشده می باشد. گسیختگی خمشی به دلیل نرم بودن عموماً بر گسیختگی برشی به دلیل ترد بودن ارجح می باشد. زیرا در گسیختگی نرم امکان باز توزیع تنش وجود دارد و می تواند هشدار برای کاربر باشد در حالی که در گسیختگی ترد و ناگهانی به دلیل عدم اخطار قبلی می تواند سبب فاجعه گردد. در مقاوم سازی خمشی به کمک ورقه های خارجی FRP نشان داده شده که شکل پذیری تیر نسبت به حالت مقاوم سازی نشده بسیار کمتر می باشد با این وجود این مد گسیختگی از گسیختگی برشی نرم تر می باشد. بنا بر این یک تیر مقاوم سازی شده باید دارای ظرفیت برشی کافی بوده بطوری که ظرفیت خمشی برسد. باید دانست که اندازه گیری ظرفیت برشی تیر مقاوم سازی شده بسیار مهم می باشد. مقاوم سازی برشی برخی مواقع نقشی کلیدی در استراتژی مقاوم سازی برای ساختمان های بتن آرمه را بازی می کند. اخیراً استفاده از نوار های FRP مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات بر روی مقاوم سازی برشی از سال ۱۹۹۰ شروع شده است و همچنان ادامه دارد.

محمدعلی و همکاران در سال ۲۰۰۸، ظرفیت کامپوزیت های FRP در انتقال تنش برشی از روی ترک را بررسی کردند.

در این راستا ۱۴ نمونه مکعبی مسلح، به ابعاد $۷۰ \times ۵۰ \times ۲۵$ میلی متر را تحت آزمایش برش مستقیم قرار دادند. قبل از مقاوم سازی نمونه ها، بر روی آن ها شکاف هایی در راستای تنش های برش ایجاد کردند. راستای الیاف در جهت عمود بر شکاف بود. برای تعیین سهم ورق های کامپوزیتی، ۱۰ نمونه توسط FRP با روش EBR و NSM تقویت شدند و نتایج آن با ۳ نمونه دیگر که توسط فولاد نرم و سخت، با روش EBR و NSM تقویت شده بودند، مقایسه گردید. ظرفیت برشی همه نمونه ها افزایش پیدا کرده بود. افزایش ظرفیت در نمونه های تقویت شده، به مقاومت ورق های FRP در مقابل جداشدگی از سطح بتن بستگی داشت. نمونه های تقویت شده با ورق های FRP و روش EBR رفتار تردی از خود نشان دادند.

ابوالفضل عرب زاده و هاشم مهران پور در سال ۱۳۸۹ به بررسی آزمایشگاهی اثر ورق های CFRP بر روی مقاومت برشی تیرهای عمیق دوسرگیردار پرداختند. در این تحقیق ۶ نمونه تیر عمیق بتنی در ۳ گروه دو تایی با آرماتور گذاری و بتن یکسان و نسبت دهانه برشی به عمق ۲ ساخته شده است. در هر گروه یک نمونه به عنوان شاهد (بدون تقویت) در نظر گرفته شده که پس از بارگذاری و شکست کامل توسط الیاف پلیمری مرکب کربن ترمیم و تحت بارگذاری مجدد قرار گیرد. نمونه دوم از هر گروه از آغاز مطابق با الگوی تیر ترمیم یافته تقویت و سپس بارگذاری شد. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که اگر ورق های CFRP به نحو مناسب و با این میزان الیاف در تقویت تیرهای عمیق بتنی دو سر گیردار استفاده گردد، می تواند تا حدود ۶۱ درصد و در صورتی که جهت ترمیم تیرهایی که در اثر بارگذاری اولیه دچار شکست شده اند استفاده گردند تا حدود ۷۳ درصد ظرفیت برشی را نسبت به نمونه شاهد افزایش دهد.

۲- الگوهای مختلف تقویت برشی تیر بتن آرمه با ورق CFRP

نحوه گروه بندی نمونه های مورد آزمایش به شرح زیر می باشد:

B0: نمونه شاهد است که بدون هیچ گونه تقویت آزمایش می گردد.

B1 نمونه ای است که فقط با یک لایه CFRP در دو طرف تیر با فواصل ۱۰ سانتی متر از هم در وجه کناری تقویت شده است.

B2 نمونه‌ای است که فقط دو طرف تیر به‌طور کامل با CFRP تقویت شده است.

B3 نمونه‌ای است که به‌صورت مورب ۴۵ درجه با یک‌لایه CFRP تقویت شده است.

B4 نمونه‌ای است که با یک‌لایه CFRP در دو طرف تیر با فواصل ۱۰ سانتیمتر از هم در وجه کناری و زیرین تقویت شده است.

B5 نمونه‌ای است که دو طرف و زیر تیر به‌طور کامل با CFRP تقویت شده است.

B6 نمونه‌ای است که فقط با یک‌لایه CFRP در دو طرف و زیر تیر با فواصل ۲۰ سانتیمتر از هم در وجه کناری تقویت شده است.

۳- مدل آزمایشگاهی:

مشخصات تیرها:

این پروژه‌ای تجربی و آزمایشگاهی بوده که در آن ۷ نمونه تیر بتنی به ابعاد ۱۵۰×۲۰۰×۱۵۰ میلی‌متر است. در نمونه‌ها از میلگرد آجدار AIII در قطر ۱۲ میلی‌متر، به تعداد دو عدد در وجه پایین تیر و برای خاموت‌ها از میلگرد آجدار از میلگرد AII با قطر ۶ میلی‌متر در فواصل ۲۵۰ میلی‌متری استفاده شده است.

مشخصات مصالح مصرفی در ساخت نمونه‌ها:

مصالح، پس از انجام آزمایش‌های لازم به‌منظور کنترل کیفیت و تعیین مشخصات آن‌ها طبق مشخصات ASTM C33، مورد استفاده قرار گرفت. به‌عنوان مثال، جدول زیر مشخصات دانه‌بندی نمونه‌ها برای ۱۲۰۰ گرم ماسه را نشان داده که در نهایت به عدد ۳/۳ برای مدول نرمی منجر گردید.

نمره الک	وزن مانده	در صد مانده	در صد رد شده	در صد تجمعی مانده	وضعیت نسبت به آیین‌نامه
۴	۷۶	۶/۲۹	۹۳/۷۱	۶/۲۹	OK
۸	۲۹۹	۲۴/۷۷	۶۸/۹۴	۳۱/۰۶	OK
۱۶	۳۶۰	۲۹/۸۳	۳۹/۱۱	۶۰/۸۹	OK
۳۰	۲۹۷	۲۴/۶۱	۱۴/۵۰	۸۵/۵۰	OK
۵۰	۱۰	۰/۸۳	۱۳/۶۷	۸۶/۳۳	OK
۱۰۰	۱۵۴	۱۲/۷۶	۰/۹۱	۹۹/۰۹	OK
۲۰۰	۸	۰/۶۶	۰	۱۰۰	OK

جدول شماره ۱- مشخصات دانه بندی نمونه‌ها

مشخصات بتن مصرفی:

برای ساخت نمونه‌ها از یک نمونه بتن با طرح اختلاط زیر استفاده شده است. (طبق آیین‌نامه ACI211 برای طرح اختلاط بتن معمولی)

نوع مصالح مصرفی	سیمان	آب	ماسه (۰-۵mm)	شن (۵-۱۹mm)
میزان مصرف (m^3) $\frac{kg}{m^3}$	۴۰۰	۲۰۰	۵۵۰	۱۲۰۰

جدول شماره ۲- طرح اختلاط بتن مصرفی

مشخصات الیاف CFRP مصرفی:

الیاف کامپوزیتی مورد استفاده در این تحقیق از نوع CFRP بوده که خواص مکانیکی آن در جدول زیر ذکر گردیده است.

نوع ورق	کرنش نهایی ورق (%)	ضخامت ورق (mm)	مقاومت کششی نهایی (MPa)	مدول الاستیسیته کششی (GPa)
Carbon Wrap System	۳/۶	۰/۱۱۱	۴۹۰۰	۲۳۰

جدول شماره ۳- مشخصات الیاف مصرفی

مشخصات چسب مصرفی:

از جمله وظایف مهم رزین‌ها، انتقال نیرو بین الیاف و بتن، همچنین محافظت آن‌ها در مقابل عوامل محیطی است. در این تحقیق از رزین اپوکسی دوجزئی استفاده شده است.

رزین مورد استفاده از نوع QUANTOM EPR 3001 که مشخصات آن به شرح ذیل در جدول زیر ارائه گردیده است.

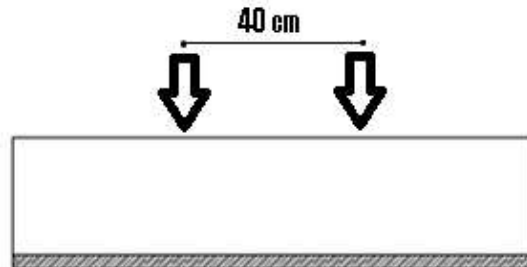
نوع چسب	مقاومت کششی (MPa)	مدول کششی (MPa)	مدول خمشی (MPa)
QUANTOM EPR 3001	۳۰	۳۵۰۰	۲۸۰۰

جدول شماره ۴- مشخصات چسب مصرفی

نحوه انجام آزمایش نمونه‌ها:

همه تیرهای این آزمایش به صورت دو سر مفصل و تحت بارگذاری خمشی چهار نقطه‌ای قرار گرفتند.

بارگذاری به صورت کنترل تغییر نیرو وسط دهانه با نرخ ۱۰ کیلوگرم در ثانیه اعمال شده و نمودار بار- تغییر مکان به وسیله دستگاه جک ۲۵ تنی ثبت می‌گردد. شکل زیر نمای دستگاه بارگذاری و نحوه بارگذاری را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۱ - نحوه بارگذاری



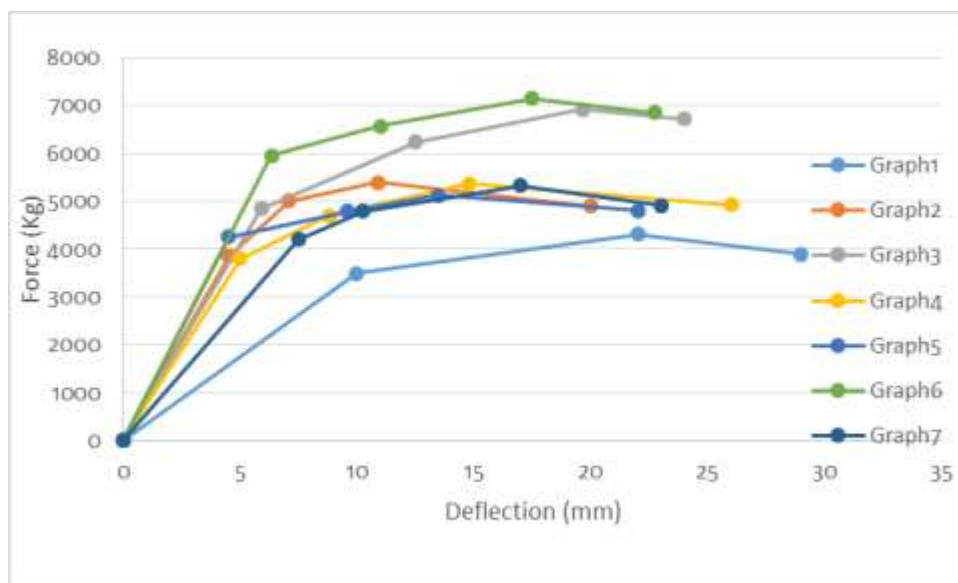
شکل شماره ۲ - دستگاه بارگذاری

مقایسه و استخراج نتایج حاصل از آزمایشات تیرها:

در جدول زیر خلاصه‌ای از مقادیر مقاومتها و تغییر مکانها نمایش ارائه گردیده و مقایسه‌ای بین آنها انجام گرفته است.

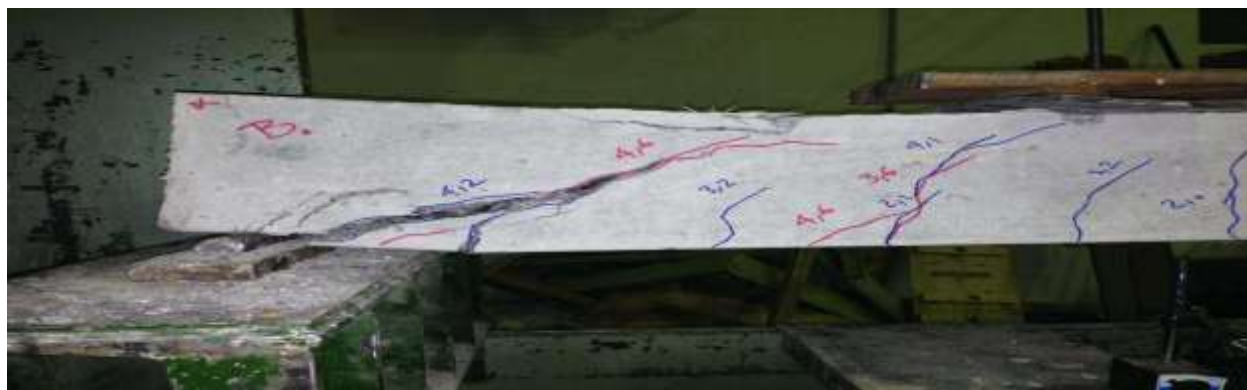
نحوه شکست	درصد افزایش مقاومت نهایی نسبت به حالت تقویت نشده طبق آزمایشات	مقاومت نهایی تئوری (Kg)	مقاومت نهایی (Kg)	تغییر مکان نمونه (mm)	تیر
برشی	-	۴۸۰۰	۴۳۱۶	۲۲	B0
خمشی	۲۵	۵۱۰۰	۵۴۰۰	۱۰/۹	B1
برشی	۶۰	۵۱۰۰	۶۹۲۶	۱۹/۶۶	B2
خمشی-برشی	۲۴	۵۱۰۰	۵۳۷۰	۱۴/۸	B3
خمشی-برشی	۱۸	۵۱۰۰	۵۱۲۵	۱۳/۵	B4
برشی	۶۵	۵۱۰۰	۷۱۵۰	۱۳/۵	B5
خمشی	۲۳	۵۱۰۰	۵۳۲۹	۱۷	B6

جدول شماره ۵ - نتایج حاصل از آزمایش



نمودار شماره ۱ - مقایسه نتایج نمونه های آزمایشگاهی

نحوه شکست در نمونه ها:



شکل شماره ۳ - تیر B0 پس از بارگذاری



شکل شماره ۴ - تیر B1 پس از بارگذاری



شکل شماره ۵ - تیر B2 پس از بارگذاری



شکل شماره ۶ - تیر B3 پس از بارگذاری



شکل شماره ۷ - تیر B4 پس از بارگذاری



شکل شماره ۸ - تیر B5 پس از بارگذاری



شکل شماره ۹ - تیر B6 پس از بارگذاری

نتیجه گیری

در این تحقیق ۷ نمونه تیر بتنی، تحت آزمایش بارگذاری خمشی چهار نقطه‌ای قرار گرفتند که از بین این تیرها ۶ نمونه با الیاف CFRP تقویت و تیر شاهد بدون تقویت، بارگذاری شدند.

با توجه به آزمایش‌های انجام گرفته و نیز انجام عملیات تیرها، مشخص گردید که روش جدید ارائه شده در این آزمایش‌ها، روشی کاربردی و منجر به افزایش ظرفیت مقطع می‌شود.

از امتیازات روش ارائه شده در این تحقیق عدم نیاز به عملیات گسترده جهت آماده‌سازی سطح و سرعت در اجرای آن و استفاده از ظرفیت حداکثر برشی مقطع هست. لازم به ذکر است عملیات آماده‌سازی سطح در روش‌هایی مثل روش شیارزنی، در زیر تیرها جهت تقویت برشی بسیار مشکل و حتی بدون وجود ماشین‌آلات خاص غیرممکن هست.

در حین آزمایش در یکی از روش‌های تقویت شده مشاهده گردید، ظرفیت باربری تیر در مقایسه با روش‌های دیگر با تیرهای تقویت شده در برش و بدون تقویت به میزان ۱۸٪ تا ۶۵٪ افزایش یافته است. بنابراین می‌توان گفت این روش تقویت، روشی جدید در جهت بهینه‌تر کردن تقویت در تیرهای بتنی مسلح می‌باشد. از امتیازات روش ارائه شده در این تحقیق عدم نیاز به عملیات گسترده جهت آماده‌سازی سطح و سرعت در اجرای آن و استفاده از ظرفیت حداکثر برشی مقطع می‌باشد. لازم به ذکر است عملیات آماده‌سازی سطح در روش‌هایی مثل روش شیارزنی، در زیر تیرها جهت تقویت برشی بسیار مشکل و حتی بدون وجود ماشین‌آلات خاص غیرممکن می‌باشد.

منابع و مراجع

- (۱) الیاسیان، ایمان، (بهار ۱۳۸۴) آشنایی با مفاهیم مرتبط با FRP، کارشناس ارشد سازه، دانشگاه یزد
- (۲) سازمان مدیریت و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۸۵، نشریه ۳۴۵ (راهنمایی طراحی ضوابط اجرایی و بهسازی ساختمان‌های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP). معاونت امور دفتر فنی و تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله.
- (۳) وارسته پور، حمید و رضایی آدریانی، محمدعلی، ۱۳۹۲. بررسی آزمایشگاهی تأثیر نوع تقویت خمشی تیرهای بتن مسلح با استفاده از ورق‌های کامپوزیت اپوکسی برای جلوگیری از شکست زودرس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران-سازه. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات خراسان رضوی.
- (۴) راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان‌های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP نشریه ۵۲۴
- (۵) وارسته پور، حمید و کرمانی، فرهاد، ۱۳۹۴. روش جدید تقویت تیر بتنی با استفاده از الیاف کربن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران-سازه. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات خراسان رضوی.
- (۶) حمید وارسته پور و آمنه سلیمانی کیا، ۱۳۹۱، معرفی و ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی شکست زودرس در تیرهای بتنی تقویت‌شده با صفحات FRP، چهارمین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران، انجمن بتن ایران.
- (۷) وارسته پور حمید. سلیمانی کیا، آمنه. ۱۳۹۰. روش‌های تحلیل تیر بتنی تقویت‌شده با صفحات FRP، آیین‌نامه‌های Fib14 و ACI440 و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی. سومین کنفرانس ملی سالانه بتن ایران. تهران. ایران
- (۸) توکلی زاده، محمدرضا و فاضلی پور، محیا. بهسازی خمشی اعضای بتنی با پلیمرهای مسلح با الیاف FRP " " بر اساس آیین‌نامه ACI 440.2R-08.
- (۹) سعید صادقیان، محسن اعتمادی و محسن ایزدی نیا، "مطالعه آزمایشگاهی تقویت برشی تیرهای بتن آرمه توسط ورقهای CFRP به روش EBR"، پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران تهران ۱۵ مهر
- (۱۰) ابوالفضل عربزاده و هاشم مهان پور "مطالعات آزمایشگاهی اثر ورقهای CFRP بر روی مقاومت برشی تیرهای عمیق دو سر گیردار"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد، ۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۹
- (۱۱) سعید صادقیان، محسن اعتمادی و محسن ایزدی نیا، "مطالعه آزمایشگاهی تقویت برشی تیرهای بتن آرمه توسط ورقهای CFRP به روش " - - NSM"، پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران تهران ۱۵ مهر ۱۳۹۲

كد مقاله : B

9) Mostofinejad D. Shameli S.M. and Hosseini A. 2012. Experimental study of the effectiveness of EBROG method for flexural strengthening of RC beams. Proceeding of the 6th international conference of FRP composite in Civil engineering. CICE 2012. Rome.Italy.

10) Mohamed Ali, M. S., Oehlers, D. J. and Griffith, M. c., "Shear Transfer across Cracks in FRP Strengthened RC Members",Journal of Composites for Construction,Vol. 12,No.4,pp. 416 424 .Jul . Aug.2008.