مجله علمی- پژوهشی
«عمـــران مـــدرس»
دوره یازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۰

مطالعات آزمایشگاهی اثر ورق‌های CFRP بر مقاومت برشی تیرهای عمیق دوسر گیردار

ابوالفضل عربزاده[1*]، هاشم‌مهان‌پور[2]

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

arabzade@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰٤/۱٦ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۲/۱۱

چکیده- تحقیقات انجام شده درباره‌ی ترمیم و تقویت تیرهای بتنی عمیق [به‌عنوان اعضای سازه‌ای] بسیار اندک است. در این مقاله به ارزیابی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن‌مسلح در دو حالت ترمیم و تقویت‌شده با الیاف پلیمری مرکب پرداخته شده است. برای رسیدن به اهداف پژوهش ٦ نمونه تیر عمیق بتنی در سه گروه دوتایی با آرماتورگذاری و بتن یکسان و نسبت دهانه برشی به عمق ۲، ساخته شده است. در هر گروه یک نمونه به‌عنوان شاهد (بدون تقویت) در نظر گرفته شده که پس از بارگذاری و شکست کامل، به وسیله‌ی الیاف پلیمری مرکب کربن (CFRP)[1] ترمیم یافته و تحت بارگذاری مجدد قرار گرفته است. نمونه دوم از هر گروه، از ابتدا مطابق با الگوی تیر ترمیم یافته، تقویت و سپس بارگذاری شد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از افزایش بار در تیرهای ترمیم‌یافته و تقویت‌شده است. به طورکلی ورق‌های CFRP تک‌جهته به‌صورت نواری[2] و روی وجوه کناری[3] با زاویه ٤٥° (SS45) [به دلیل توزیع ۱۰۰٪ الیاف، عمود بر راستای ترک‌های برشی]، بهترین شیوه تقویت در سه گروه مذکور بوده و تا حدود ٦۱٪ باربری تیر را افزایش داده است؛ و در صورتی که برای ترمیم تیرهایی که در اثر بارگذاری اولیه دچار شکست شده‌اند استفاده شود، ضمن بازیافت تیر، ظرفیت برشی را نیز نسبت به نمونه شاهد تا حدود ۷٪ افزایش می‌دهد.

کلیدواژگان: بتن‌مسلح، تیر عمیق، تقویت برشی، ترمیم برشی،CFRP.

۱- مقدمه

نگاهی به خسارت‌های ناشی از زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد که درصد بالایی از ساختمان‌های بتن‌مسلح که تاکنون در کشور ساخته شده در برابر زلزله مقاوم نیستند و یا مقاومت کافی و قابل قبولی ندارند، زیرا سازه‌های بتن‌مسلح موجود، بیشتر بر اساس آیین‌نامه‌های قدیمی طراحی شده و بیشتر آنها الزامات آیین‌نامه‌های جدید زلزله را ارضا نمی‌کنند. همچنین ضعف‌های اجرایی ساختمان‌ها را آسیب‌پذیر کرده است. از این‌رو ضرورت تقویت این ساختمان‌ها به‌خصوص برای مقابله با نیروهای جانبی، و با روش‌های مقاوم‌سازی قابل اعتماد، آسان، سریع و اقتصادی احساس می‌شود. به همین دلیل استفاده از ورق‌های FRP

1- Carbon Fiber Reinforced Polymer
2- Strip (S)
3- Side (S)

برای بهسازی لرزه‌ای در سال‌های اخیر بسیار گسترش یافته است. از دلایل مهم انتخاب این مصالح به‌عنوان تقویت-کننده، مقاومت کششی وگسیختگی بالای این مواد، و وزن کم آن (در حدود ۳٪ فولاد)، انعطاف‌پذیری این سیستم، و مقاومت و دوام بسیار خوب در برابر خوردگی، و سادگی و سرعت بالای اجرای آن است[۱].

یک عضو مهم که در شکل‌گیری سازه‌های بتنی نقش مهمی دارد، تیراست. تیرهای بتن‌مسلح، با نسبت دهانه به ارتفاع (عمق) کمتر از ٤ به تیرهای عمیق معروف است[۲]. این تیرها ممکن است به دلایل گفته‌شده نیاز به ترمیم و تقویت داشته باشند.

درزی [۳] و رهایی و زمردیان [٤] روی تیرهای معمولی با استفاده از FRP یکسری آزمایش‌ها انجام دادند، نتایج به‌دست‌آمده حاکی از پارگی ورق FRP در خمش و جداشدگی در برش بوده است. و به‌طور کلی FRP باعث افزایش بار از حدود ۱۵ تا ۲٦٪ شده است. آزمایش‌هایی هم به‌وسیله‌ی سولیمانوی[1] و همکاران [٥] روی تیر معمولی انجام شده که نتایج حاکی از مؤثر بودن ورق FRP در خمش و برش بوده است. همچنین نانی[2][٦] نیز یک سری تحقیقات روی ۲۷ نمونه تیر معمولی انجام داده است که نتایج آن بیانگر افزایش مقاومت بر اثر استفاده از ورق FRP و بهبود شکل‌پذیری نمونه‌ها است. یکی از کارهای گزارش‌شده روی تیرهای عمیق مقاوم‌شده با FRP، تحقیقات ایسلام[3] و همکارانش [۷] در سال ۲۰۰٤ است. آن‌ها ٥ نمونه تیر عمیق مقاوم‌شده به‌وسیله FRP را آزمایش کردند. نتایج حاکی از آن است که وقتی ترک‌های قطری اصلی به‌وسیله ورق FRP به هم دوخته می‌شوند بهترین نتیجه حاصل می‌شود و افزایش باری در حدود ٤۳ ٪ به‌دست می‌آید. آزمایش‌های انجام شده به‌وسیله‌ی ژانگ[4] و همکارانش [۸] در راستای به دست آوردن بهترین حالت برای افزایش مقاومت برشی تیرهای عمیق انجام شده است. نتایج حاکی از آن است که وقتی نوارهای FRP به‌صورت افقی در جای تیر استفاده می‌شوند هیچ‌گونه اثری بر مقاومت برشی تیر ندارند؛ فقط وقتی نوارها به‌صورت قائم و بزرگ‌تر از ۰/۲ ارتفاع تیر استفاده شده‌اند، مؤثر بوده‌اند.

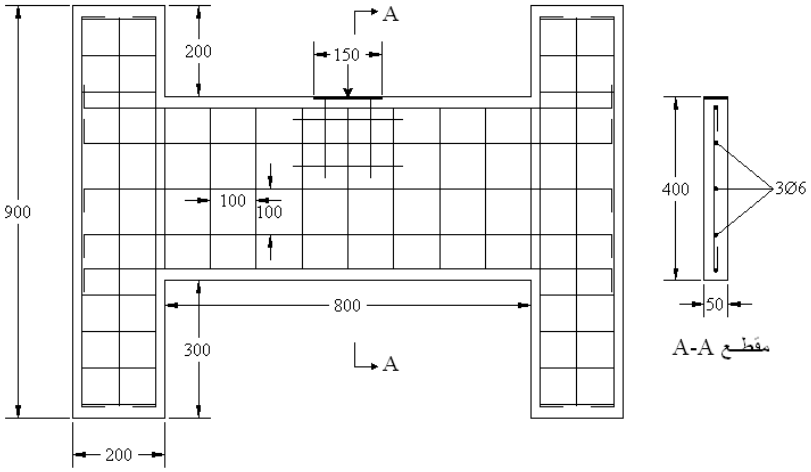
تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده درباره‌ی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن‌مسلح تقویت‌شده با ورق‌های CFRP کافی نبوده و تحقیقی نیز در باره‌ی ترمیم و تقویت این تیرها با شرایط تکیه‌گاهی دوسرگیردار گزارش نشده است. بنابراین در این پژوهش به ارزیابی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن‌مسلح دوسرگیردار در دو حالت تقویت-شده و ترمیم‌شده با استفاده از ورق‌های CFRP پرداخته خواهد شد.

۲- آزمایش‌ها

با توجه به اهداف پژوهش، ٦ تیر عمیق بتن‌مسلح با ابعاد یکسان به طول ۸۰۰ mm، عمق ٤۰۰mm و عرض ٥۰mm (شکل۱) ساخته شد که نحوه آرایش میلگردها مطابق جدول ۱ و بتن مصرفی مطابق جدول ۲ در هر یک از سه گروه فوق یکسان است. نسبت دهانه به عمق تیرها، برابر ۲ است. هر دو نمونه یکسان، پس از آرماتوربندی در قالب-های فلزی قرار داده شده و با رعایت کلیه اصول مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران بتن‌ریزی شدند [۲]. بنابراین سه گروه تیر بتنی به‌گونه‌ای تهیه شده که هر گروه شامل دو نمونه کاملاً یکسان باشند. برای ارزیابی مقاومت برشی نمونه‌های تقویت و ترمیم‌شده، از هر گروه یک تیر به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شده که این نمونه بدون

1- Sulaimanui
2- Nanni
3-Islam
4- Zhang

تقویت تحت اعمال بار قرار گرفته و سپس نمونه‌های مذکور ترمیم یافته و دوباره تحت بارگذاری قرار گرفته‌اند. نمونه دوم از هر گروه، از همان ابتدا به‌وسیله‌ی ورق‌های FRP تقویت‌شده و سپس تحت اعمال بار قرار گرفته و مقاومت نهایی، تغییرمکان قائم وسط نمونه‌ها و همچنین نحوه شکست آن‌ها با نمونه شاهد و نمونه ترمیم-یافته مقایسه شده است.



شکل (۱) نحوه آرماتوربندی و ابعاد تیرها (تمام ابعاد به mm هستند)

جدول (۱) نحوه آرماتورگذاری و مشخصات فولاد مصرفی در نمونه‌ها

گروه		میلگردهای اصلی بالا		میلگردهای اصلی پائین			میلگردهای جان			
		تعداد و نوع	f_y N /mm^2	تعداد و نوع	f_y N/mm^2	E_s kN/mm^2	تعداد و نوع افقی	تعداد و نوع عمودی	f_y N /mm^2	E_s kN/mm^2
۱	B1	۱Φ۱۲	۳۰۷	۱Φ۱۸	۳۲۰	۲۰۰	۳Φ٦	۱۱Φ٦	۳۱۲	۲۰۰
	B2	۱Φ۱۲	۳۰۷	۱Φ۱۸	۳۲۰	۲۰۰	۳Φ٦	۱۱Φ٦	۳۱۲	۲۰۰
۲	B3	۱Φ۱۲	۳۰۷	۱Φ۱٦	۳۱۵	۲۰۰	۳Φ٦	۱۱Φ٦	۳۱۲	۲۰۰
	B4	۱Φ۱۲	۳۰۷	۱Φ۱٦	۳۱۵	۲۰۰	۳Φ٦	۱۱Φ٦	۳۱۲	۲۰۰
۳	B5	۱Φ٦	۳۱۲	۱Φ۱٦	۳۱۵	۲۰۰	۳Φ٦	۱۱Φ٦	۳۱۲	۲۰۰
	B6	۱Φ٦	۳۱۲	۱Φ۱٦	۳۱۵	۲۰۰	۳Φ٦	۱۱Φ٦	۳۱۲	۲۰۰

جدول (۲) مقاومت فشاری و کششی نمونه‌های بتنی در زمان آزمایش

گروه	مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای f'_c (MPa)	مقاومت فشاری نمونه مکعبی f_{cu} (MPa)	مقاومت کششی f_t (MPa)
۱	۳٦	٤۰	۳/۲
۲	۳۳	۳۸	۳/۱
۳	۳٤	۳۹/۵	۳/۱

ـــ ورق‌هـای **CFRP** : در تقویـت نمونـه‌هـا از دو نـوع مختلف ورق‌های کربن پارچه‌ای مقاومت بالای تک‌جهتـه[1] و دوجهته[2] استفاده شده است (جدول ۳ و ٤).

۴- نحوه ترمیم و تقویت تیرها

در این پژوهش سه گروه نمونه بتنی با سه سیستم تقـویتی متفاوت ترمیم و تقویت شده‌اند.

گروه ۱: شامل تیرهای B1 و B2 است. ابتدا تیر B2 کـه به‌عنوان نمونه شاهد (با توجه به یکسان بودن تیرهـای B1 و B2) برای گروه ۱ درنظر گرفته شده تحت بارگـذاری قـرار گرفت و اطلاعاتی مانند بار نهایی، تغییر شکل وسط دهانـه در بار نهایی و منحنی بار- تغییر مکان به‌وسـیله‌ی دسـتگاه ثبت اطلاعات[3] به‌دست آمد. سپس بـه کمـک فشـار آب و کمپرسور هوا، دانه‌های خرد شده بتن از داخـل تـرک‌هـای قطری اصلی خارج شد. ورق‌های کربن پارچـه‌ای دوجهتـه که از قبل به ابعاد ٤٥×۳۳ cm بریده شده دو طرف جان تیر با زاویه قرارگیری الیـاف در راسـتای ٤٥ و ۱۳۵ درجـه بـا سیستم تقویت SP45/135[4] [۹] مطابق با جزئیات ارائـه‌شـده در شکل ۲ چسبانده شده و تحت بارگذاری نقطه‌ای از بـالا قرار گرفت. نتایج این نمونه با عنـوان تیـر تـرمیم شـده در ادامه آمده است.

تیر B1 نیز بدون هیچ‌گونه بارگذاری اولیه از ابتدا مشابه با تیر ترمیم‌یافته B2 با سیستم تقویتی SP45/135 تقویت شد و تحت بارگذاری مشابه قرار گرفت، نتایج به‌دست‌آمـده بـا عنوان تیر تقویت‌شده گروه ۱ ذکر شده است.

گروه ۲: شامل تیرهای B3 , B4 است. ابتدا تیر B3 کـه به‌عنوان نمونه شاهد برای گروه ۲ محسوب خواهد شـد تـا شکست نهایی تحت بارگذاری قرار گرفت و اطلاعات لازم ثبت شد. سپس به کمک فشار آب و کمپرسور هوا دانه‌های بتن خردشده از داخـل تـرک‌هـای موجـود خـارج شـده و ورق‌های کربن پارچه‌ای دوجهته بریده شده از قبل به ابعاد ۹۰×٦٦cm مطابق با شکل ۳ چسـبانده شـد. در ایـن شـیوه تـرمیم، ورق‌هـای پارچـه‌ای دوجهتـه بـه روش دورپـیچ WP0/90[5] مطابق با جزئیات ارائه شده، دو طـرف جـان‌تیـر چسبانده شده و بارگذاری شـد. تیـر تقویـت‌یافتـه B4 نیـز مشابه تیر B3 تقویت شده و بارگذاری شد.

گروه ۳: شامل تیرهـای B6 و B5 اسـت. ابتـدا تیـر B6 به‌عنوان تیر شاهد برای گروه ۳، تا شکسـت نهـایی تحـت بارگذاری قرار گرفته و اطلاعات به‌دست آمـده ثبـت شـد. سپس مانند قبل ورق‌های کربن پارچه‌ای تـک‌جهتـه بریـده شده به‌صورت نوارهایی به ابعاد ۱۰×۵۰cm مطابق با شـکل ٤ به روش SS45 در دو طرف جان‌تیر چسبانده شد.

تیر B5 نیز بدون هیچ‌گونه بارگذاری اولیه مشابه تیر B6 تقویت شد. لازم به ذکر اسـت میـزان ورق‌هـای پارچـه‌ای کربن استفاده‌شـده در هـر سـه گـروه، یکسـان و حـدود ٥٩٤٠cm^2 است.

۵- نتایج و تحلیل آزمایش‌ها

نمونه‌ها در هر گروه با آرایش یکسان، میلگردگـذاری و بـا مقاومت بتنی که در جـدول ۵ لسـیت شـده، سـاخته شـده است. بارگذاری نمونه‌ها با جک ۵۰تنی در وسـط و از بـالا صورت انجام شده است. با توجه به این‌که تشکیل ترکها و رشد آن‌ها تقریباً مشابه هم بود، در این‌جا به تحلیـل نتـایج اولین گروه پرداخته شده و نتایج بقیـه تیرهـا در جـدول ۵ آمده است. شکل شکست نمونه‌ها نیز در شکل‌های ۵ تـا ۷ نشان داده شده است.

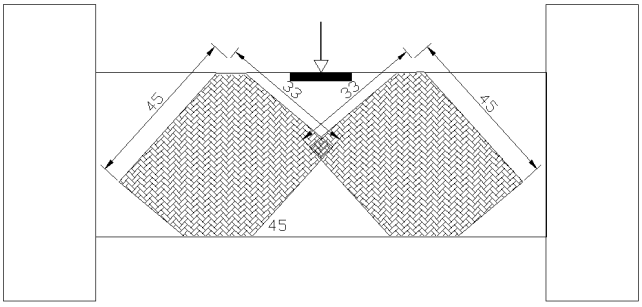
1- Uni Directional
2- Bi Directinal
3- Data Logger
4-Side Plate
5-Wrap plate

جدول (۳) خواص مکانیکی چسب استفاده‌شده برای الیاف پارچه‌ای

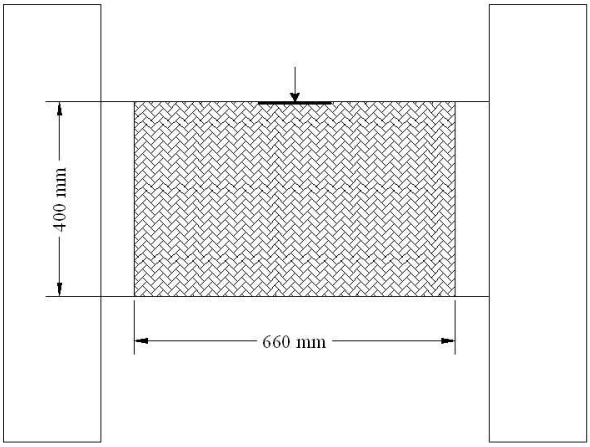
مقاومت چسبندگی(در مقابل نیروی برشی) (N/mm^2)	مدول خمشی (N/mm^2)	مدول کششی (N/mm^2)	مقاومت کششی (N/mm^2)	کرنش در هنگام شکست(%)
۵۸/٤	۳۸۰۰	٤۵۰۰	۳۰	۰/۹

جدول (٤) برخی از ویژگی‌های الیاف CFRP استفاده‌شده

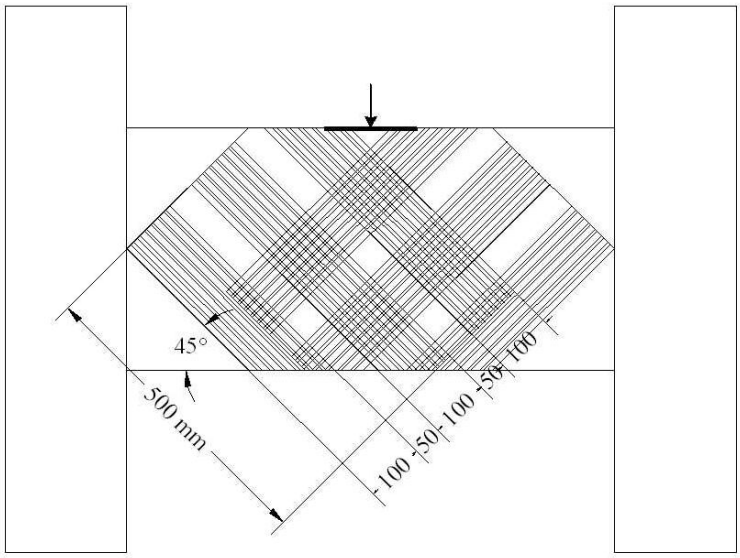
جهت قرار گیری الیاف	دوجهته	تک جهته
وزن فایبر	۱۵۰ g/cm^2 درهر جهت	۳۰۰ g/cm^2
عرض ورقه	۳۰۰ mm	۱۰۰۰ mm
ضخامت	۰/۰۸۸۲ mm	۰/۱۷٦ mm
مقاومت کششی	۳۸۰۰N/mm^2	۳۸۰۰N/mm^2
مدول ارتجاعی	۲٤۰kN/mm^2	۲٤۰kN/mm^2
کرنش در هنگام شکست	%۱/۷	%۱/۷
وزن مخصوص	۱/۷g/cm^3	۱/۷g/cm^3
ضریب کاهش طراحی	۱/۲	۱/۲
نیروی کششی در هر ۱۰۰۰ mm پهنا	(۳۸۰۰×۸۸/۲) ÷۱/۲=۲۷۹/ ۳ kN	(۳۸۰۰×۱۷٦) ÷۱/۲=۵۵۷/۳ kN



شکل (۲) جزئیات و نحوه ترمیم و تقویت تیرهای گروه اول



شکل (۳) جزئیات و نحوه‌ی ترمیم و تقویت تیرهای گروه دوم



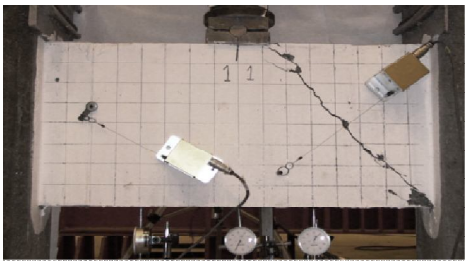
شکل (٤) جزئیات و نحوه‌ی ترمیم و تقویت تیرهای گروه سوم

جدول (٥) نتایج مربوط به نمونه‌های تست‌شده

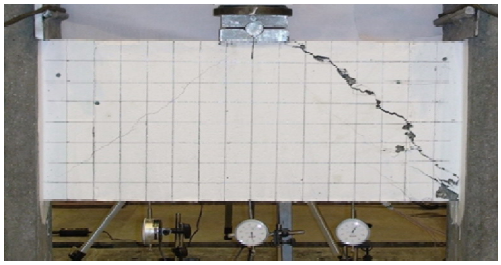
نمونه‌ها		بار اولین ترک‌های ریز (kN)	بار اولین ترک‌های قطری اصلی (kN)	مقاومت نهایی (kN)	نوع شکست	درصد افزایش بار نسبت به نمونه شاهد	تغییرمکان نهایی وسط تیر (mm)	درصد افزایش (+) یا کاهش (−) تغییرمکان وسط تیر نسبت به نمونه شاهد	مقاومت مکعبی بتن f_{cu} (N/mm^2)
گروه اول (SP45/135)	شاهد (B1)	۱۸۰	۲۱۰	۲٤٦	برشی	–	۳/٥	–	٤٠
	ترمیم‌شده (B1)	–	۲٥٠	۲٦٠	جدایی ورق‌ها+ برشی	٦	۳/٦	+۳	٤٠
	تقویت‌شده (B2)	–	ناگهانی	۳۸۱	پارگی ورق‌ها+ برشی	٥٥	٤/۲	+۱۹	٤٠
گروه دوم (WP)	شاهد (B3)	۱۳۲	۱۷٥	۲۰٥	–	–	۳	–	۳۸
	ترمیم‌شده (B3)	–	۱۸۱	۲۱۱	جدایی ورق‌ها+ برشی	۳	۲/٥	−۱۷	۳۸
	تقویت‌شده (B4)	–	–	۳۰۰	موضعی	٤٦	۲/۸	−۹	۳۸
گروه سوم (SS45)	شاهد (B5)	۱٦۳	۱۷۰	۱۹۲	برشی	–	۳/٥	–	۳۹/٥
	ترمیم‌شده (B5)	–	۱۸۰	۲۰٦	پارگی ورق‌ها+برشی	۷	۳/۳	−۷	۳۹/٥
	تقویت‌شده (B6)	–	–	۳۰۹	پارگی ورق‌ها+برشی	٦۱	٤/۱	+۱٦	۳۹/٥

گروه اول، نمونه شاهد B1:

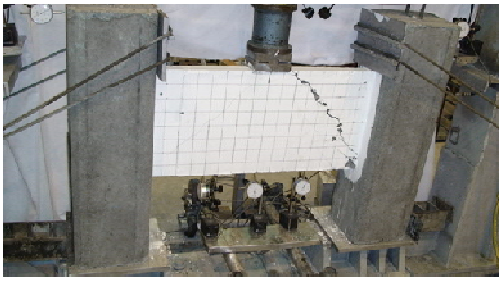
در بار ۱۸۰ kN اولین ترک‌ها در تیر به‌وجود آمد. این ترک‌ها بسیار ریز بوده و از ناحیه محل اعمال بار شروع و با زاویه ٤٥ درجه تا محل تکیه‌گاه درگوشه پایین تیر ادامه یافت (شکل ٥). با افزایش بار حدود ۸۰ الی ۹۰٪ بار نهایی، ترک‌های قطری اصلی به‌وجودآمده که باعث تشکیل هسته فشاری می‌شوند وکم‌کم از یک‌دیگر باز شده و با افزایش بارگذاری در بار نهایی ۲٤٦kN، ناگهان تغییر مکان وسط، ۳/٥mm شده و تیر به‌صورت کاملاً برشی شکسته شد. در حین بارگذاری هیچ‌گونه ترکی ناشی از خمش در ناحیه کششی پایین تیر دیده نشد.



B1– برشی

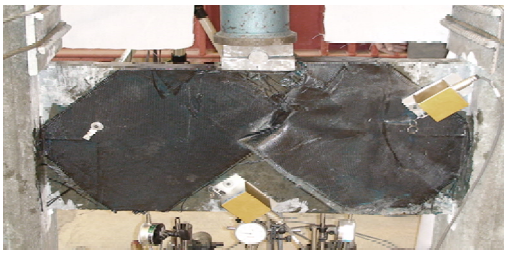


B3– برشی

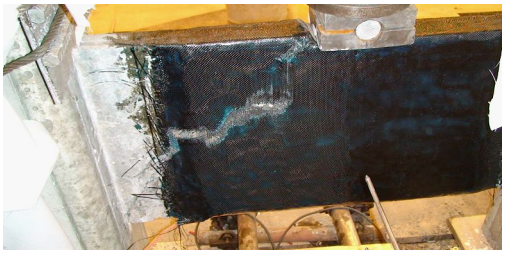


B5– برشی

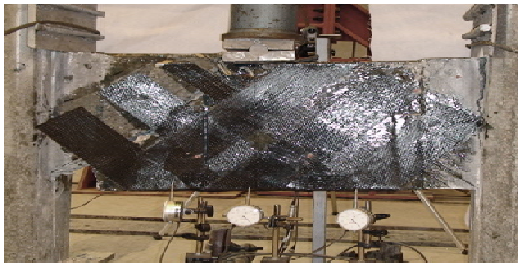
شکل (۵) شکست نمونه‌های شاهد



B1– برشی



B3– برشی



B5– برشی

شکل (٦) شکست نمونه‌های ترمیم‌یافته

ب: تیر ترمیم‌یافته B1:

همان‌طور که گفته شد این نمونه بعد از شکست نمونه شاهد به‌وسیله ورق‌های کربن پارچه‌ای دوجهته، روی وجوه کناری با زاویه قرارگیری الیاف در راستای ٤٥ و ١٣٥ درجه (SP45/135)، ترمیم شد. پس از گذشت ۷ روز برای پخت رزین‌اپوکسی و رسیدن به بیشینه‌ی مقاومت برشی چسب اپوکسی، نمونه دوباره تحت بارگذاری قرار گرفت. با افزایش بار، ترک قطری به‌صورت ناگهانی ایجاد شده و شکست برشی تیر، ناشی از جدایی ورق CFRP در راستای ترک قطری در بار ٢٦٠ kN و تغییر مکان قائم وسط mm

٤ اتفاق افتاده است (شکل ٦).

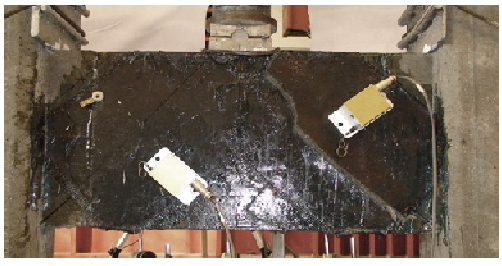
ج: نمونه تقویت‌شده B2 :

تیر B2 که جزئیات آرماتورگذاری و بتن‌ریزی آن مشابه با تیر B1 است مشابه با نمونه ترمیم‌یافته، از ابتدا (بدون بارگذاری و ایجاد ترک اولیه) تقویت شد و سپس تحت بارگذاری قرار گرفت. مود شکست تیر، شکست برشی ناشی از پارگی ورق CFRP در راستای ترک قطری اصلی است که در ۳۸۱ kN و مقدار تغییرمکان قائم وسط تیر ٤mm اتفاق افتاده است. هنگامی که الیاف شروع به پاره-شدن می‌کنند، شکست به سرعت اتفاق می‌افتد.

د: مقایسه منحنیهای بار-تغییرمکان نمونه‌های گروه اول

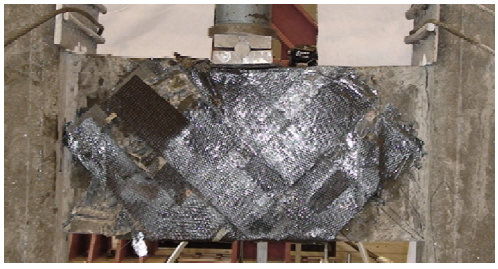
از شکل ۸ می‌توان نتیجه گرفت که شیب منحنی‌های مربوط به تیر شاهد و ترمیم‌یافته در محدوده ارتجاعی و غیرارتجاعی تقریباً بر هم منطبق است. نمونه‌های شاهد، ترمیم‌شده و تقویت‌شده بعد از رسیدن به بار بیشینه دچار یک افت بار ناگهانی می‌شوند که در نمودارها نشان داده شده است. در این مرحله میلگردهای طولی و بتن فشاری تحمل بار را بر عهده دارد تا این‌که این میلگردها جاری شده و نمونه‌ها کاملاً گسیخته می‌شوند.

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود در مقایسه با نمونه شاهد، نمونه تقویت‌شده افزایش باری حدود ۵۵٪ داشته و تغییر مکان وسط تیر نیز به میزان ۱۹٪ افزایش یافته است؛ همچنین میزان افزایش بار در نمونه ترمیم‌شده نسبت به نمونه شاهد ٦٪ و تغییر مکان وسط تیر نیز به میزان ۳٪ افزایش یافته است. موارد بالا بیانگر آن است که اگرچه عملیات تقویت نسبت به ترمیم، افزایش باربری در حدود ۵۵٪ و افزایش تغییر مکان در حدود ۱۹٪ داشته است، اما با توجه به آن‌که در تیر ترمیم‌یافته درصدی از مقاومت برشی بتن و فولاد تحت بار اولیه از بین رفته است، دست‌یابی به مقاومتی تقریباً درحدود مقاومت تیر اولیه (تیر بدون ترک‌خوردگی) به کمک عملیات ترمیم، امکان‌پذیر است و ترمیم تیرهای عمیق دوسرگیردار برای بهسازی و رسیدن به رفتار، مقاومت و سختی تیر قبل از ترک‌خوردگی، بسیار مطلوب و رضایت‌بخش بوده است.



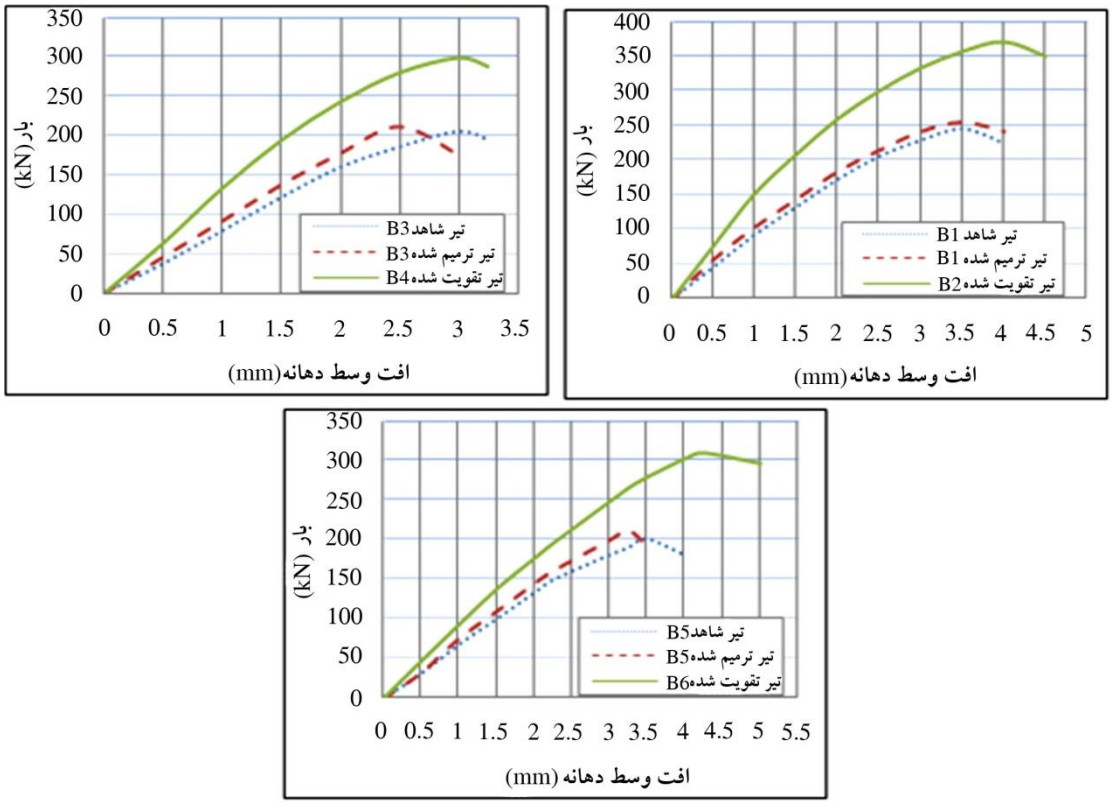
B2- برشی

B4- موضعی



B6- برشی

شکل (۷) شکست نمونه‌های تقویت‌شده



شکل (۸) مقایسه نمودار بار–تغییرمکان تیرها

۶– نتیجه‌گیری

در این مقاله به میزان تـأثیر اسـتفاده از ورق‌هـای CFRP در جان تیرهای عمیق برای افـزایش ظرفیـت برشـی پرداختـه شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که:

۱– شکست تیرهای شاهد با ترک قطری بین گوشه پایین تکیه‌گاه و ناحیه فشاری زیر محل بارگذاری رخ می‌دهد؛ پس از تقویت به سـبب اثـر محصـورکنندگی ورق‌هـای CFRP، پخش و رشد ترک قطری بحرانی در مقایسه با تیر شاهد، با افزایش بار، کاهش‌یافته، به‌طوری که بر بارهای بـزرگ‌تـری برای نفوذ ترک قطری بحرانی به قسمت تحتـانی تیـر نیـاز است و شکست تیرها، به صورت ناگهانی و با گسیخته شدن الیاف رخ می‌دهد. این امر سبب افزایش بار نهایی به میـزان ۵۵٪ در گروه ۱ با سیستم تقویتی SP45/135، ٤٦٪ در گروه ۲ با سیستم تقـویتی WP0/90 و ٦١٪ در گـروه ۳ بـا سیسـتم تقویتی SS45 شده است.

۲– عملیات ترمیم تیرهای عمیق بتنی دوسرگیردار بسیار مطلوب بوده به‌طوری‌که ظرفیت برشی تیرهای ترمیم‌یافته را به میـزان ٦٪ درگـروه ۱، ۳٪ در گـروه ۲ و۷٪ در گـروه ۳ نسبت به تیر شاهد افزایش داده است.

۳– افزایش باربری نمونه‌های ترمیم‌یافته نسبت به شاهد در همه گروه‌ها بیانگر این موضوع است که عملیات تـرمیم در تیرهای دوسرگیردار تأثیر بسیار مطلوبی در رفتار و سختی آن‌ها می‌گذارد؛ در واقع می‌توان گفت که ترمیم تیر می‌تواند سختی کاهش‌یافته در حین مرحله پیش بارگذاری (قبـل از ترمیم) را بازگرداند و رفتار تیر ترک‌خورده را بهبود بخشیده و تقریباً به رفتار تیر قبل از ترک‌خوردگی تبدیل کند.

٤– تقویت بـه روش دورپیچـی در گـروه ۲ عـلاوه بـر افزایش ظرفیت برشی، ظرفیت خمشی تیر را نیـز افـزایش

داده و این امر باعث تغییر مود شکست برشی و خمشی به موضعی شده است. مود شکست برشی، رفتار این تیرها را تا زمانی که ظرفیت خمشی و برشی تخمینی آن‌ها بیشتر از ظرفیت برشی افزایش‌یافته‌شان باشد، کنترل می‌کند .

۵- استفاده از بیشینه ظرفیت الیاف زمانی امکان‌پذیر است که مود شکست خمشی و موضعی به‌دلیل کمبود آرماتورهای کششی و فشاری و ضعف بتن، زیر نقطه بارگذاری رخ ندهد. یکی از علل شکست زودهنگام تیر تقویت‌شده گروه ۲ و پاره‌نشدن الیاف، ضعف بتن زیر نقطه بارگذاری و بنابراین غالب‌شدن شکست موضعی در این نقطه است.

٦- با توجه به این‌که مقدار الیاف از لحاظ مساحت در همه نمونه‌ها برابر است، بهترین آرایش الیاف از لحاظ مقاومت نهایی در نمونه‌های تقویت‌یافته SS45 در گروه ۳ است. علت این امر توزیع ۱۰۰٪ الیاف تک‌جهته عمود بر امتداد ترک‌های برشی است؛ درحالی‌که در سایر گروه‌ها تنها ۵۰ درصد از الیاف (به‌دلیل دوجهته بودن) عمود بر امتداد ترک برشی است.

۷- در صورتی که CFRP به نحو مناسب در تقویت تیرهای عمیق بتنی دوسرگیردار استفاده شود، می‌تواند تا ٦۱٪ ظرفیت نهایی را افزایش دهد. این روش برای ترمیم تیرهایی که در اثر بارگذاری اولیه دچار شکست شده‌اند می‌تواند تا ۷٪ ظرفیت نهایی برشی را افزایش دهد.

۷ - مراجع

[1] Teng, G. J. and Chen, j. F. and Lam, L., (2002) "FRP Strengthened RC Structural," Published by John Wiley and Sons Ltd.

[۲] «طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه» مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، ۱۳۸٤.

[۳] درزی رامندی، علی، «عملکرد تیرهای بتن‌مسلح تقویت‌شده از نظر خمشی و برشی و شکل‌پذیری با ورق‌های FRP»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.

[٤] رهایی، علیرضا، زمردیان، آرش «ترمیم و تقویت سازه‌های بتن‌مسلح با الیاف پلیمری مرکب (FRP) دانش نگار»، انتشارات دانشگاه تفرش، چاپ اول، ۱۳۸٤.

[5] Sulaimanui A.L., Sharif G.J., Basunbul I.A., Baluch, M.H. Ghabel B.N. (1994) "Shear repair for reinforced concrete by fiberglass plate bonding " ACI structural journal, Vol. 91,No.3, July-Aug. PP 458-468.

[6] Nanni, A. Khalifa, and Belarbi, B. "Shear performance of RC Members strengthened with externally bonded FRP wraps." Proc. 12th world conference on earthquake engineering Jan 30 Feb 04,2000, Auckland, New Zealand, pp 305-315.

[7] Islam M.R. Mansur M.A. Maalej M. "Shear strengthening of RC deep beams using externally bonded FRP systems." Cement Concrete Composite. 2004, 27(3):413-20.

[8] Zhang Z, Hsu C, Moren J. Shear strengthening of reinforced concrete deep beams using carbon fiber reinforced polymer laminates. ASCE J Compos Cons. 2004;8(5):403-14.

[۹] میرزایی، مهدی، ۱۳۸۷، «ارزیابی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن‌مسلح تقویت‌شده با ورق‌های FRP»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

[10] ACI Committee 440. 2R-02. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structure (ACI 440.2R-02). Farmington Hill, Michigan: American Concrete Institute; 2002.45 pp.

The Experimental Study of the Effect of FRP Laminates on Shear Strength of RC Fixed Ended Deep Beams

A. Arabzade[1*], H. Mahanpoor[2]

1- Assistant Prof., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- MSc., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

arabzade@modares.ac.ir

Abstract:
Very little researches hasbeen performed about strengthening and repairing of deep beams. In this paper, shear strength of Reinforced Concrete (RC) deep beams in two cases of repair and strengthening with Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) is evaluated. To achieve the objective of the research, six deep beams were constructed in three coupling groups with constant reinforcement arrangement and concrete strength and clear span-to-depth ratio of 2. In each group, one beam without strengthening was used as reference beam. This beam was loaded up to failure and then reinforced by CFRP and reloaded again. The other one was reinforced before loading, similar to the first one. The results indicated that repair and strengthening the beams would increase the ultimate load. In general, when one directional CFRP strip is attached to the face of the beams perpendicular to crack with the angle of 45^{o} (SS45), the ultimate strength is increased by 7 and 61%, respectively. Therefore it can be conclude that SS45 system because of uniform distribution of CFRP perpendicular to the direction of shear cracks, could be the best method for repair and strengthening of tested fixed ended deep beams and in comparison with reference beam, if it used to repair the damaged beam, the ultimate load would increase up to 7 percent.

Keywords: Deep beams, Rein forced conerefe, Shear, Flexural, FRP