



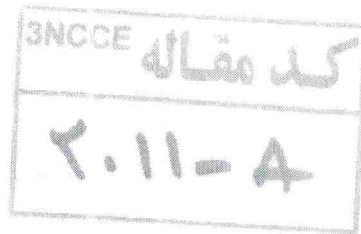
تقویت برشی تیرهای بتن مسلح به کمک ورق های CFRP

امیر شمالی، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه فردوسی مشهد
محمدرضا اصفهانی، دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد، گروه عمران
esfahani@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

در تحقیق حاضر، تقویت برسی تیرهای بتن مسلح با استفاده از پلیمرهای مسلح شده با الیاف کربنی (CFRP) مورد بررسی قرار می گیرد، هدف از تحقیق بررسی اثر مقدار میلگردهای طولی بر افزایش مقاومت برشی ناشی از ورق های تقویتی می باشد. هفت نمونه تیر به طول ۱۵۰۰ میلیمتر، عرض ۱۵۰ میلیمتر و ارتفاع ۲۰۰ میلیمتر با نسبت های کم، متوسط و زیاد میلگردهای کششی ساخته شدند. از این میان سه تیر به عنوان نمونه کنترلی و چهار نمونه نیز در پهلوهای تیر توسط ورقهای CFRP به عرض ۱۸۰ میلیمتر و طول ۵۰۰ میلیمتر تقویت شدند. از میان نمونه های تقویت شده، بجز یک نمونه بقیه فاقد خاموت بودند. کلیه نمونه ها تحت بارگذاری چهار نقطه ای قرار گرفتند و مقادیر بار و تغییر مکان وسط آنها اندازه گیری شد. در تمام نمونه ها ورق های تقویتی بدون اینکه به ظرفیت نهایی برسند از بتن جدا شدند. نتایج مقاومت های برشی نشان می دهند که افزایش نسبت آرماتور طولی ممکن است باعث کاهش عملکرد ورق های تقویتی دربالا بردن مقاومت برشی تیرهای بتن آرمه گردند.

کلید واژه ها: تقویت برشی، تیر بتن مسلح، CFRP.



تقویت برشی تیرهای بتن مسلح به کمک ورق های CFRP

امیر شمالی، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه فردوسی مشهد
محمد رضا اصفهانی، دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه عمران
تلفن: ۸۸۱۵۱۰۰ (۵۱۱)، شماره: ۸۷۶۳۳۰۱ (۵۱۱)، esfahani@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

در تحقیق حاضر، تقویت برشی تیرهای بتن مسلح با استفاده از پلیمرهای مسلح شده با الیاف کربنی (CFRP) مورد بررسی قرار می گیرد. هدف از تحقیق بررسی اثر مقدار میلگردهای طولی بر افزایش مقاومت برشی ناشی از ورق های تقویتی می باشد. هفت نمونه تیر به طول ۱۵۰۰ میلیمتر، عرض ۱۵۰ میلیمتر و ارتفاع ۲۰۰ میلیمتر با نسبت های کم، متوسط و زیاد میلگرد های کششی ساخته شدند. از این میان سه تیر به عنوان نمونه کنترلی و چهار نمونه نیز در پهلوهای تیر توسط ورقهای CFRP به عرض ۱۸۰ میلیمتر و طول ۵۰۰ میلیمتر تقویت شدند. از میان نمونه های تقویت شده، بجز یک نمونه بقیه فاقد خاموت بودند. کلیه نمونه ها تحت بارگذاری چهار نقطه ای قرار گرفتند و مقادیر بار و تغییر مکان وسط آنها اندازه گیری شد. در تمام نمونه ها ورق های تقویتی بدون اینکه به ظرفیت نهایی برسند از بتن جدا شدند. نتایج مقاومت های برشی نشان می دهند که افزایش نسبت آرماتور طولی ممکن است باعث کاهش عملکرد ورق های تقویتی در بالا بردن مقاومت برشی تیرهای بتن آرمه گردند.

کلید واژه ها: تقویت برشی، تیرخمشنی بتن مسلح، CFRP

۱- مقدمه

امروزه بسیاری از سازه های زیر بنایی که در گذشته ساخته شده اند نیاز به ترمیم و تقویت دارند. پلها نیز مانند انواع دیگر سازه ها به سبب قرار گیری تحت شرایط محیطی نامناسب یا به علت استفاده از نمک های ذوب کننده یخ بطور جدی دچار آسیب های سازه ای شده اند که لزوم تعمیر سریع آنها بارها مورد تاکید قرار گرفته است. مواد مرکب پلیمرهای مسلح الیافی FRP به سبب ویژگی های خاص تقویتی که دارد اخیراً بطور وسیعی در مهندسی عمران کاربرد پیدا کرده است. این مواد دارای خواص منحصر بفردی چون مقاومت کششی بالا، وزن کم و مقاومت مطلوب در برابر خوردگی می باشند.

استفاده از مواد مرکب FRP در ابتدا به دلیل قیمت بالای مراد اولیه و هزینه ساخت، به سختی صورت گرفت، لیکن مزایای این مواد نسبت به مصالح مرسوم مصرفی در صنعت ساختمان با وجود هزینه های بالای ساخت، سبب افزایش کاربرد آنها شده است بطوری که علاوه بر تعمیر و تقویت سازه های بتن مسلح در تعمیر و تقویت سازه های بنایی نیز از آنها استفاده می شود.

تقویت برشی تیرهای بتن مسلح به کمک ورق های CFRP

امیر شمالی، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه فردوسی مشهد

محمد رضا اصفهانی، دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه عمران

تلفن: ۸۸۱۵۱۰۰ (۵۱۱)، نامبر: ۸۷۶۳۳۰۱ (۵۱۱)، esfahani@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

در تحقیق حاضر، تقویت برشی تیرهای بتن مسلح با استفاده از پلیمرهای مسلح شده با الیاف کربنی (CFRP)، مورد بررسی قرار می گیرد. هدف از تحقیق بررسی اثر مقدار میکرودهای طولی بر افزایش مقاومت برشی ناشی از ورق های تقویتی می باشد. هفت نمونه تیر به طول ۱۵۰۰ میلیمتر، عرض ۱۵۰ میلیمتر و ارتفاع ۲۰۰ میلیمتر با نسبت های کم، متوسط و زیاد میلگرد های کششی ساخته شدند. از این میان سه تیر به عنوان نمونه کنترلی و چهار نمونه نیز در پهلوهای تیر توسط ورقهای CFRP به عرض ۱۸۰ میلیمتر و طول ۵۰۰ میلیمتر تقویت شدند. از میان نمونه های تقویت شده، بجز یک نمونه بقیه فاقد خاموت بودند. کلیه نمونه ها تحت بارگذاری چهار نقطه ای قرار گرفتند و مقادیر بار و تغییر مکان وسط آنها اندازه گیری شد. در تمام نمونه ها ورق های تقویتی بدون اینکه به ظرفیت نهایی برسند از بتن جدا شدند. نتایج مقاومت های برشی نشان می دهند که افزایش نسبت آرماتور طولی ممکن است باعث کاهش عملکرد ورق های تقویتی در بالا بردن مقاومت برشی تیرهای بتن آرمه گردند.

کلید واژه ها: تقویت برشی، تیرخمش، بتن مسلح، CFRP

۱- مقدمه

امروزه بسیاری از سازه های زیر بنایی که در گذشته ساخته شده اند نیاز به ترمیم و تقویت دارند. پلها نیز مانند انواع دیگر سازه ها به سبب قرار گیری تحت شرایط محیطی نامناسب یا به علت استفاده از نمک های ذوب کننده یخ بطور جدی دچار آسیب های سازه ای شده اند که لزوم تعمیر سریع آنها بارها مورد تاکید قرار گرفته است. مواد مرکب پلیمرهای مسلح الیافی FRP به سبب ویژگی های خاص تقویتی که دارد اخیرا بطور وسیعی در مهندسی عمران کاربرد پیدا کرده است. این مواد دارای خواص منحصر بفردی چون مقاومت کششی بالا، وزن کم و مقاومت مطلوب در برابر خوردگی می باشند.

استفاده از مواد مرکب FRP در ابتدا به دلیل قیمت بالای مواد اولیه و هزینه ساخت، به سختی صورت گرفت، لیکن مزایای این مواد نسبت به مصالح مرسوم مصرفی در صنعت ساختمان با وجود هزینه های بالای ساخت، سبب افزایش کاربرد آنها شده است بطوری که علاوه بر تعمیر و تقویت سازه های بتن مسلح در تعمیر و تقویت سازه های بنایی نیز از آنها استفاده می شود.

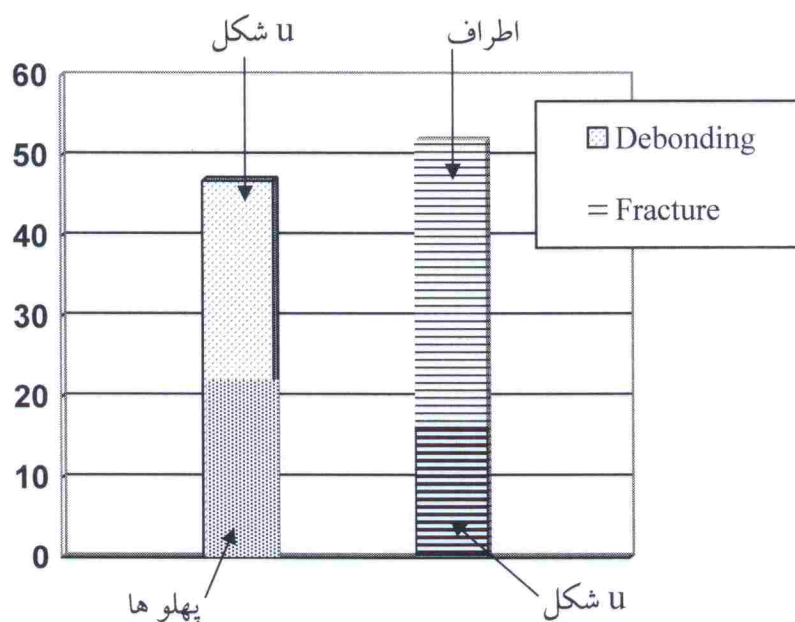
تاکنون در زمینه تقویت سازه های بتن مسلح توسط مواد مرکب FRP تحقیقات زیادی صورت گرفته است. این جمله این تحقیقات، تقویت خمشی تیرها و دالهای بتن مسلح با چسباندن مواد مرکب به سطوح کششی آنها؛ افزایش ظرفیت برشی، خمشی و محوری ستونها با استفاده از دورپیچ کردن آنها بکمک ورقهای پلیمری و تقویت برشی تیرهای بتن مسلح می شود. چسباندن ورق های FRP برای تقویت برشی بصورت دورپیچ کردن، پوشش U شکل و یا چسباندن آن به دو پهلو تیر خواهد بود که هر یک از این روش ها منجر به حالات مختلفی از گسیختگی می شود. مطالعات نشان داده است که عموماً شکل های مختلف تقویت برشی منجر به گسیختگی تیر در یکی از دو حالت کلی پارگی یا جداشدگی FRP از سطح بتن می گردد [1-7].

۲- شکل های گسیختگی برشی تیرهای تقویت شده

۱-۲- گسیختگی برشی به سبب پارگی FRP: این حالت گسیختگی اغلب به همراه یک ترک کششی - قطری برشی ظاهر می شود. با افزایش عرض ترک قطری، کرنش در FRP در انتهای پایینی ترک به بالاترین حد خود می رسد. در این حالت FRP در نقطه ای که بیشترین تنش را تحمل می کند، پاره می شود. پاره شدن FRP در امتداد ترک قطری پیش می رود و بالاخره منجر به تخریب تیر می گردد.

۲-۲- گسیختگی برشی به سبب جدا شدگی FRP: در بعضی حالات، یک تیر تقویت شده در برش می تواند به سبب جدا شدن FRP از آن دچار گسیختگی شود. چنانچه FRP شروع به جدا شدن از تیر نماید، تیر به سرعت تخریب می گردد. نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد که تقریباً تمامی تیرهای تقویت شده با FRP چسبیده به طرفین مقطع و برخی از آنهايي که بصورت U-jacketing تقویت شده اند، با جدا شدن FRP گسیخته شده اند. از طرفی تیرهای تقویت شده بصورت wrapping عموماً به سبب پارگی FRP خراب شده اند. شکل ۱، درصد وقوع هر یک از این دو شکل شکست را با توجه به نحوه تقویت تیر نشان می دهد.

در مطالعات گذشته مشخص شده است که در آیین نامه های مختلف از جمله آیین نامه ACI 440.2R-02، علیرغم در نظر گرفتن مقدار نسبت آرماتورهای طولی در روابط پیشنهادی تقویت خمشی، این روابط نتوانسته اند بدرستی افزایش مقاومت خمشی ناشی از ورق های تقویتی را پیش بینی کنند [1]. یکی از دلایل این مسئله تفاوت عرض ترک های خمشی و گستردگی آنها در تیر های مختلف می باشد. مقدار عرض ترک و گستردگی آنها در طول تیر خود بستگی به نسبت و توزیع آرماتور طولی در تیرها دارد. این موضوع در مورد تقویت برشی تیرها نیز ممکن است وجود داشته باشد. با توجه به کمبود داده های آزمایشگاهی و عدم اطلاع از اثر مقدار آرماتورهای طولی بر عملکرد ورق های FRP در تقویت برشی تیر های بتن مسلح، یک برنامه آزمایشگاهی شامل هفت نمونه تیر بتن مسلح تهیه شد.



شکل ۱. مقایسه روش های مختلف تقویت با توجه به شکل گسیختگی [2]

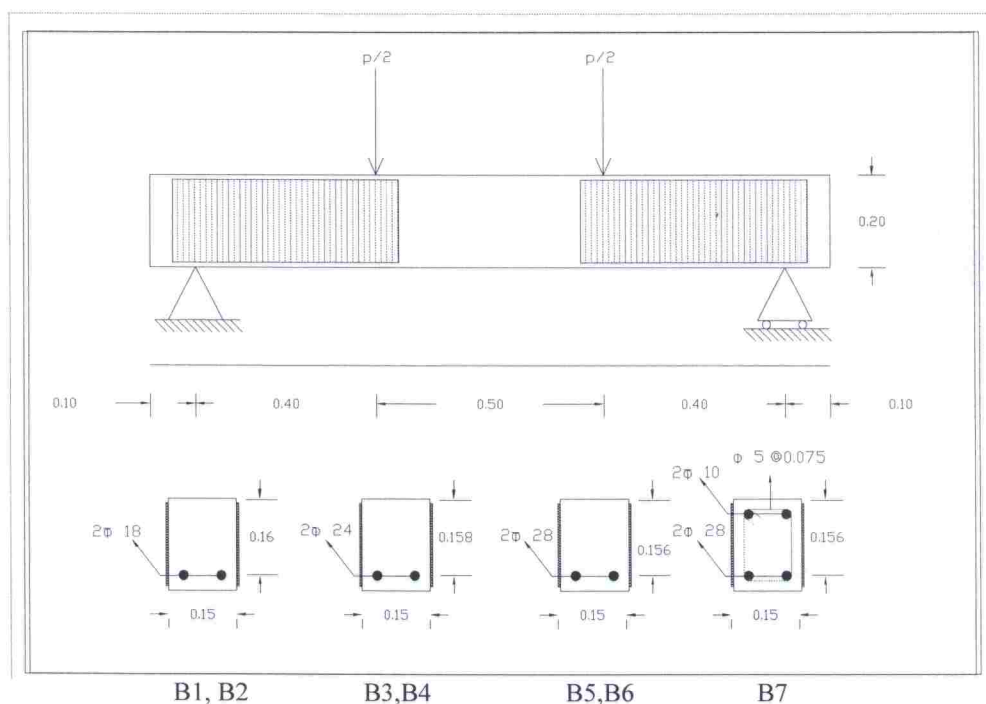
۳- کار آزمایشگاهی

۳-۱- نمونه های آزمایشگاهی

در این پژوهش، هفت تیر بتنی به طول ۱۵۰۰ میلیمتر، عرض ۱۵۰ میلیمتر و ارتفاع ۲۰۰ میلیمتر با نسبت های مختلف فولاد طولی ساخته شد. میلگردهای مصرفی جهت تسلیح کششی دارای قطرهای ۱۸، ۲۴ و ۲۸ میلیمتر بوده و از هفت نمونه تنها یکی توسط میلگرد برشی تقویت شد (شکل ۲). چهار نمونه با ورقهای پلیمری الیافی کربنی با عرض، ضخامت و طول ثابت تقویت شده و سه نمونه باقیمانده به عنوان نمونه های کنترلی تقویت نشده مورد آزمایش قرار گرفتند. نمونه ها بصورت کلی Ba-bF-cS-dT نامگذاری شدند که در آن a, b, c و d بترتیب شماره نمونه، قطر میلگرد کششی، قطر میلگرد برشی و تعداد لایه های ورقهای پلیمری می باشد. نمونه ها B1, B3, B5 نمونه های کنترلی و نمونه های B2, B4, B6 توسط یک لایه ورق پلیمری در دو طرف تیر و در دهانه های برشی تقویت شدند (شکل ۲). نمونه های B1 تا B6 به سه دسته تقسیم می شوند که هر دسته از یک جفت تیر تشکیل شده است (جدول ۱). نمونه های هر دسته مشابه بوده و تنها اختلاف آنها در داشتن و یا نداشتن تقویت FRP می باشد. نمونه B7 نیز که دارای میلگرد برشی می باشد توسط خاموتهایی به قطر ۵ میلیمتر تسلیح و سپس با یک لایه ورق پلیمری در دو طرف تیر تقویت شد. طبق گزارش سازنده، ضخامت ورق های پلیمری کربنی ۰.۱۷۶ میلیمتر می باشد. شکل ۲ ابعاد هندسی تیر و جزئیات میلگرد گذاری و تقویت آنها را نشان می دهد. در جدول ۱ نیز جزئیات مربوط به نمونه های آزمایشگاهی ارائه شده است.

۲-۳- روش آزمایش

کلیه نمونه ها توسط یک جک هیدرولیکی با ظرفیتی معادل ۲۰۰ تن تحت بارگذاری چهار نقطه ای متقارن قرار گرفتند. بارگذاری نمونه ها از بالا و به صورت استاتیکی انجام گرفت. تکیه گاه تیرها به صورت ساده بوده و از انتهای هر تیر به فاصله ۱۰۰ میلی متر واقع شدند. تغییر مکان وسط دهانه نمونه ها با استفاده از یک تغییر شکل سنج الکتریکی (LVDT) اندازه گیری شد. فشار روغن در جک نیز توسط یک دستگاه مبدل فشار الکتریکی اندازه گیری شد و به کمک یک سلول بار (load cell) کالیبره گردید. اطلاعات مربوط به بار و تغییر مکان نمونه ها توسط یک دستگاه کامپیوتری ثبت گردید.



شکل ۲- ابعاد هندسی نمونه ها و آرایش میلگردها و ورق های تقویتی

۳-۳- نتایج آزمایش ها

مقادیر بار نهایی، خیز نهایی وسط دهانه تیر و حالت شکست نمونه ها در جدول ۲ ارائه شده است. تمام نمونه ها مطابق انتظار بصورت برشی گسیخته شدند. همانطور که در جدول ۲ دیده می شود، در هر دسته نمونه آزمایشگاهی، مقاومت برشی نمونه تقویت شده بیشتر از نمونه کنترلی می باشد. در کلیه نمونه های تقویت شده، شکست از نوع جداشدگی FRP از تیر بتنی بود. بنابراین می توان گفت که در تیرهای تقویت شده از تمام ظرفیت ورقه های FRP تقویتی استفاده نشده است. شکل های ۳ تا ۸ نمونه ها را پس از شکست برشی نشان می دهد. آزمایش مربوط به نمونه دارای خاموت (نمونه B7-28F-5S-1T) به علت مشکل ایجاد شده در سیستم ثبت داده ها در نزدیکی شکست، حذف گردید. بنابراین نتایج این نمونه در جدول ۲ درج نگردیده است.

جدول ۱- چشیزئیات نمونه های آزمایشگاهی

نمونه ها	f_c MPa	A_s mm ²	A_v mm ²	$\frac{\rho_w}{\rho_b}^*$	تعداد لایه های CFRP	a/d**
B1-18F-0S-0T	۳۰	۵۰۹	۰	۰/۵۴	۰	۲/۵
B2-18F-0S-1T	۳۰	۵۰۹	۰	۰/۵۴	۱	۲/۵
B3-24F-0S-0T	۲۸	۹۰۴	۰	۱/۰۴	۰	۲/۵۳
B4-24F-0S-1T	۲۸	۹۰۴	۰	۱/۰۴	۱	۲/۵۳
B5-28F-0S-0T	۲۸	۱۲۳۱	۰	۱/۴۳	۰	۲/۵۶
B6-28F-0S-1T	۲۸	۱۲۳۱	۰	۱/۴۳	۱	۲/۵۶
B7-28F-5S-1T	۲۸	۱۲۳۱	۳۹	۱/۴۳	۱	۲/۵۶

* ρ_w نسبت آرماتور خمشی تیر، ρ_b نسبت آرماتور بالانس

** a دهانه برش تیر، d ارتفاع موثر تیر

جدول ۲- نتایج شکست نمونه ها

نمونه	بار نهایی (kN)	خیز نهایی (mm)	حالت شکست
B1-18F-0S-0T	۹۸/۲	۴/۱	شکست برشی
B2-18F-0S-1T	۱۳۰/۹	۵/۸	جداشدگی FRP
B3-24F-0S-0T	۷۱/۹	۴/۴	شکست برشی
B4-24F-0S-1T	۹۵/۲	۴/۱	جداشدگی FRP
B5-28F-0S-0T	۸۵/۸	۲/۵	شکست برشی
B6-28F-0S-1T	۹۸/۲	۴/۳	جداشدگی FRP
B7-28F-5S-1T	-	-	-

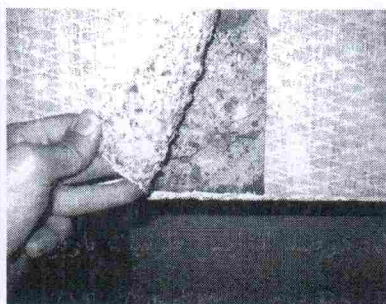
۴- مقایسه نمودارهای بار- تغییر مکان نمونه ها

شکل های ۹ تا ۱۱ منحنی های بار- تغییر مکان نمونه های آزمایشگاهی را نشان می دهد. هر شکل شامل دو نمونه مشابه از یک دسته می باشد. با توجه به شکل ۹، نمودارهای بار- تغییر مکان نمونه های B1 و B2 در مراحل اولیه بارگذاری تقریباً با هم انطباق داشته و بتدریج با افزایش بار، نمونه تقویت شده سختی بیشتری از خود نشان

می دهد. مقاومت برشی نمونه تقویت شده حدود ۳۳ درصد بیشتر از نمونه تقویت نشده است. البته با توجه به نوع شکست جدا شدگی ورق FRP این ظرفیت کمتر از مقدار حداکثری است که طبق آیین نامه ها برای حالت پارگی ورق FRP پیش بینی می شود. همچنین با توجه به شیب نمودارهای شکل ۱۰ دیده می شود که نمونه تقویت شده B4 دارای سختی بیشتری نسبت به نمونه کنترلی B3 می باشد. مقاومت برشی نمونه تقویت شده B4 نیز حدود ۳۲ درصد بیشتر از مقاومت برشی نمونه کنترلی B3 از همان دسته می باشد. در شکل ۱۱ نمودار های بار-تغییر مکان نمونه های B5 و B6 مقایسه شده است. نمونه B6 به علت تقویت دارای مقاومت بیشتری می باشد. در شکل ۱۲ نمودارهای بار-تغییر مکان نمونه های تقویت شده B2، B4 و B6 با یکدیگر مقایسه شده اند. نمودار های شکل ۱۲ نشان می دهند که نمونه ها دارای سختی تقریباً یکسان می باشند. با استفاده از مقادیر بدست آمده برای بار نهایی نمونه ها (جدول ۲)، درصد افزایش ظرفیت باربری نمونه های تقویت شده B2، B4 و B6 نسبت به نمونه های تقویت نشده B1، B3 و B5 برترتیب ۳۳٪، ۳۲٪ و ۱۴٪ می باشد. به این ترتیب می توان گفت، بر اساس نتایج آزمایش های این مطالعه، مقدار افزایش ظرفیت برشی ناشی از ورقهای تقویتی FRP، با افزایش درصد آرماتورهای کششی طولی کاهش می یابد. بدون شک برای تایید این نتیجه، آزمایش های بیشتری بایستی انجام گردد.



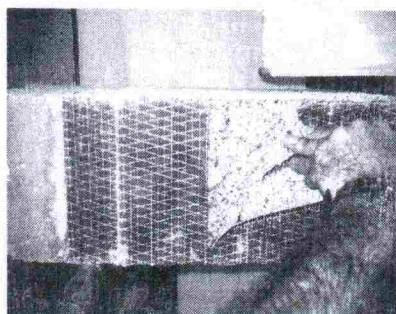
شکل ۵- شکست نمونه B3



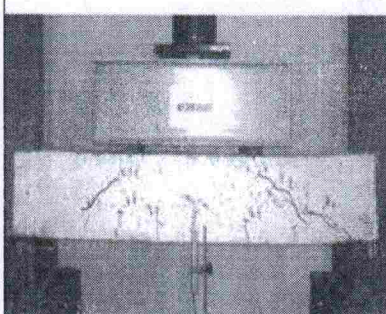
شکل ۴- شکست نمونه B2



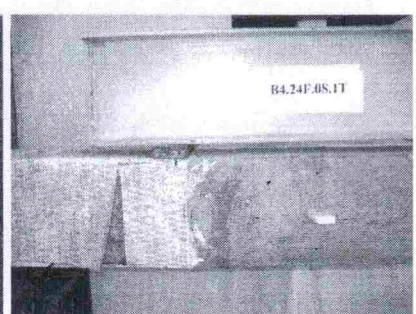
شکل ۳- شکست نمونه B1



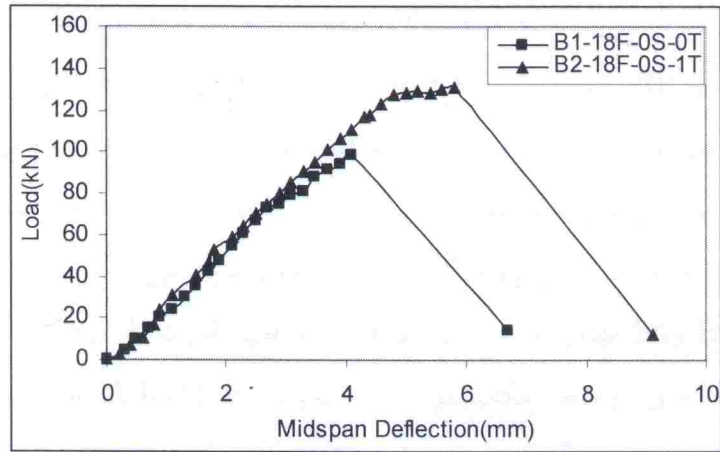
شکل ۸- شکست نمونه B7



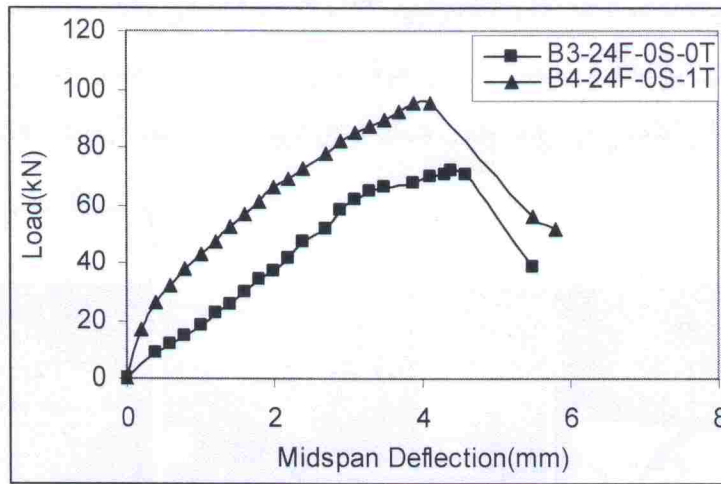
شکل ۷- شکست نمونه B6



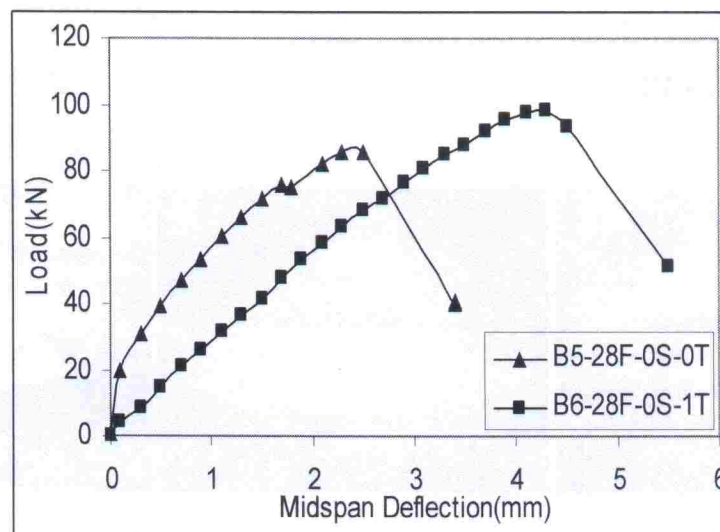
شکل ۶- شکست نمونه B5



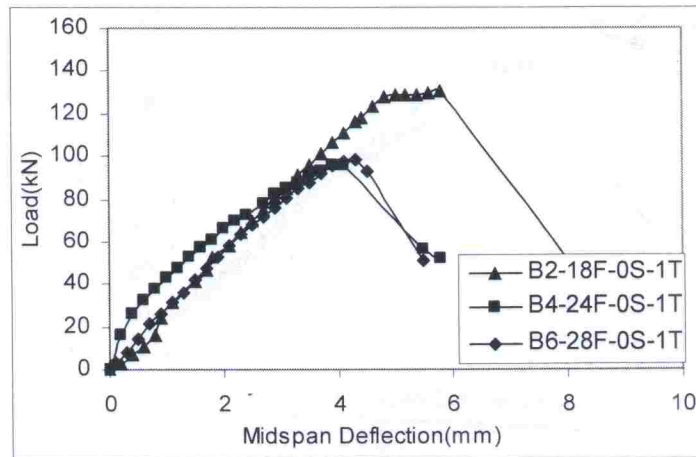
شکل ۹- نمودارهای بار- تغییر مکان نمونه های B1 و B2



شکل ۱۰- نمودارهای بار- تغییر مکان نمونه های B3 و B4



شکل ۱۱- نمودارهای بار- تغییر مکان نمونه های B5 و B6



شکل ۱۲- نمودارهای بار- تغییر مکان نمونه های B2، B4 و B6

۵- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر، تقویت برشی تیرهای بتن مسلح با استفاده از پلیمرهای مسلح شده با الیاف کربنی CFRP، مورد بررسی قرار گرفت و اثر مقدار میلگردهای طولی بر افزایش مقاومت برشی ناشی از ورق های تقویتی مطالعه شد. براساس نتایج حاصل از آزمایش های این مطالعه نتایج زیر بدست آمد:

- ۱- چسباندن ورق های پلیمری مسلح FRP به پهلوهای تیر سبب افزایش ظرفیت برشی تیر می شود. در این حالت عامل شکست تیر، عموماً جدا شدن ورق های پلیمری از پهلوهای تیر بتن مسلح می باشد.
- ۲- با افزایش نسبت آرماتورهای طولی، اثر تقویتی ورق های FRP در افزایش مقاومت برشی (برای شکست از نوع جدا شدگی ورق FRP از بتن) کاهش می یابد.

فهرست مراجع:

- [1]-ACI 440.2R-02 "Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures", 2002.
- [2]-Bousselham, A., Chaallal, O. "Shear strengthening reinforced concrete beams with fiber-reinforced polymer: Assessment of influencing parameters and required research" ACI Structural Journal, Vol.101, No.2, 219-227, 2004.
- [3]-Chaallal, O., Nollet, M.J., Perraton, D. "Shear strengthening of RC beams by externally bonded side CFRP strips" Journal of composites for construction, ASCE, Vol. 2, No. 2, 111-114, 1998.
- [4]-Chen, J.F., Teng, J.G. "Shear capacity of fiber-reinforced polymer -strengthened reinforced concrete beams: fiber reinforced polymer rupture" Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.129, No.5, 615-625, 2003.
- [5]-Chen, J.F., Teng, J.G. "Shear capacity of FRP-strengthened RC beams: FRP debonding" Construction and building materials 17 27-41, 2003.
- [6]-Khalifa et al. "Contribution of externally bonded FRP to shear capacity of RC flexural members." J. compos. Constr., 2(4), 195-202, 1998.
- [7]-Triantafillou, T. C. "Shear strengthening of reinforced concrete beams using epoxy-bonded FRP composites", ACI Structural Journal, 95(2), 107-115, 1998.