تقویت پیچشی تیرهای بتن مسلح مستطیلی با استفاده از FRP به روشهای شیارزنی و مهار متقابل کد (B)

سیدحسین میرزایی حصاری ، محمدرضا توکلی زاده

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد علوم تحقیقات خراسان رضوی نیشابور

استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

mirzaei.hoseyn@yahoo.com، drt@um.ac.ir

چکیده :

امروزه و در دهه های اخیر، به دلایل مختلفی همچون، افزایش بارهای بهره برداری، خطاهای طراحی، خوردگی و پوسیدگی مواد، تغییرات آئیین نامه ها، خطاهای اجرایی ، تقویت و مرمت سازه های بتنی از موضوعات مورد علاقه بسیاری از محققان بوده است،که درمیان این تحقیقات سهم کمتری به مطالعات در زمینه تقویت پیچشی اعضاء بتن آرمه تعلق دارد. درطراحی بسیاری از اعضاء بتنی همچون تیرهای لبه ای دال ها، شاه تیرهای کناری پل ها، تیرهای با بارگذاری خارج از محور، و تیرهایی که به آنها تیری دروسط دهانه ودرراستای متعامد وصل شده است، نیروهای پیچشی مهم بوده وباید در نظرگرفته شوند.. هدف از تحقیق حاضر تقویت تیرهای بتنی بااستفاده از کامپوزیت FRP ، در شرایط یکسان آزمایشگاهی و مقایسه با نمونه شاهد بدون تقویت، به منظور رسیدن به بهترین روش نصب از نظر کسب مقاومت و شکل پذیری می باشد .به این منظور ۵ نمونه تیر بتنی مسلح به عرض ۱۵۰ ، ارتفاع ۲۰۰ و طول ۱۵۰۰ میلی متر، بعد از تقویت با چیدمان های مختلف، تحت آزمایش بارگذاری پیچشی خالص قرار گرفت . پس از بررسی نتایج و مقایسه با نمونه شاهد، نمونه های دورپیچ کامل کربن، دورپیچ نوار زاویه دار ،به ترتیب،۷۲,۶ و۶۱,۳ درصد افزایش مقاومت را نسبت به نمونه شاهد ازخود نشان دادند.

واژه های کلیدی : تقویت پیچشی ، کامپوزیت FRP ، تیر بتنی ، جداشدگی زودرس ، ظرفیت پیچشی

۱–مقدمه:

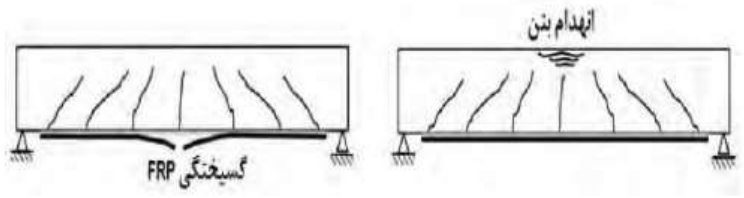
امروزه و در دهه های اخیر به دلایل مختلفی همچون افزایش بارهای بهره برداری ، خطاهای اجرایی ، تغییرات آیین نامه و ... تقویت و مرمت سازه های بتنی از موضوعات مورد علاقه بسیاری از محققان بوده است ، که از این تحقیقات سهم کمتری به مطالعات در زمینه تقویت پیچشی اعضاء بتن آرمه تعلق دارد.

کامپوزیتهای FRP به دلایل مختلفی همچون مقاومت و سختی بالا ، وزن کم ، نصب سریع و .... ، نصبت به سایر روش‌های تقویت سازه های بتن آرمه مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. از ورق های FRP جهت تقویت خمشی ، برشی ، پیچشی و محصور شدگی استفاده می شود. از جمله مسائل پیش روی مهندسان و محققان پیرامون استفاده از ورق های FRP در مقاوم سازی تیرهای بتنی ، مکانیزم گسیختگی عضو و نیز پدیده ای به نام جداشدگی سطحی(Debonding) می باشد.

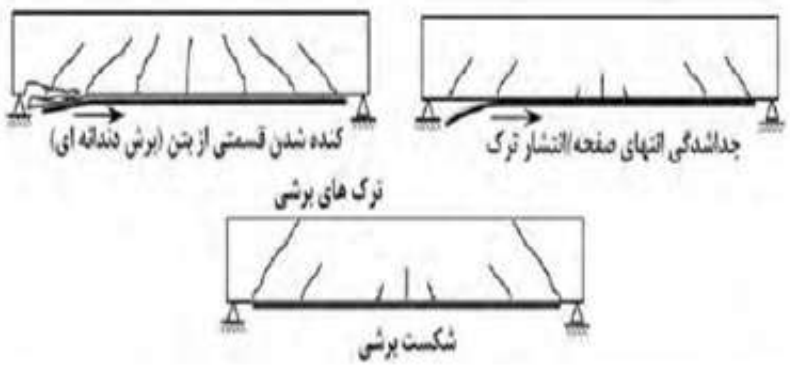
در طراحی بسیاری از اعضاء بتنی همچون تیرهای لبه ای دالها ، شاهتیرهای کناری پلها ، تیرهای با بارگذاری خارج از محور و ... نیروی پیچشی مهم بوده و باید در نظر گرفته شود. از این رو در تحقیق حاضر به تقویت پیچشی تیرهای بتن مسلح به وسیله ورق های FRP و با استفاده از چیدمان و روش‌های مختلف نصب پرداخته شده است.

۲–حالت های گسیختگی:

به طور کلی گسیختگی به سه دسته خمشی ، برشی ، جداشدگی تقسیم بندی می شوند. و در حالات جزئی تر به ، گسیختگی برشی ، گسیختگی برشی _پیچشی ، جداشدگی پوشش بتن ، جداشدگی بین سطحی ورق انتهایی ، جداشدگی بین سطحی ناشی از ترک برشی – پیچشی ، جداشدگی بین سطحی در فاصله بین ترکها تقسیم بندی می شوند.



شکل ۲-۱ :گسیختگی های معمولی تیر بتنی تقویت شده دربار نهایی



شکل ۲-۲ :حالت های مختلف گسیختگی زودرس تیر بتنی تقویت شده دربار نهایی

۳–پیشینه پژوهش:

در تیرهای بتن آرمه ی تقویت شده با ورق های FRP ، به دلیل جداشدگی زودرس و ناگهانی ورق ، ممکن است تیر به ظرفیت نهایی خود نرسد.

در سال های اخیر پژوهش‌های بسیاری در زمینه ی عامل‌های رویداد پدیده‌ی جداشدگی و ایجاد دیرکرد در آن با کمک روش های گوناگون انجام شده است . با این همه ، این موضوع هنوز از اصلی ترین موضوع ها در زمینه کاربرد ورق های FRP در مقاوم سازی می باشد که نظر پژوهشگران بسیاری را به خود جلب کرده است که به اختصار در زیر بیان شده است:

قباره و قربل در سال ۲۰۰۲ مطالعات آزمایشگاهی را برای بهبود مقاومت پیچشی تیرهای بتن مسلح بر روی ۱۱ عدد تیر به طول۲۴۴۰ میلیمتر عرض ۳۵۰ میلیمتر وارتفاع ۱۵۰ میلیمتر انجام دادند، که ۲عدد تیر به عنوان نمونه کنترلی و ۸ عدد دیگر با چیدمانهای مختلف FRP تقویت شده بود. در این مطالعات از هر دو نوع الیاف شیشه و کربن در یک لایه استفاده شد . تیرها تحت اثر لنگر پیچشی خالص قرار داده شد و مقادیر لنگر نهایی پیچشی، زاویه دوران و تغییر طول نسبی نمونها را اندازه گیری کردند در انتها نتایج نشان داد که چیدمان دور پیچ کامل تیر بهترین نتیجه را از نظر افزایش لنگر نهایی پیچشی و زاویه دوران از خود نشان می دهد و چیدمان الیاف با زاویه ۴۵ درجه این اطمینان رامیدهد که از اثر بخشی الیاف بطور موثر استفاده شده است.

ساراواناپانچاچارام و عبدالجلیل بلاربی در سال ۲۰۰۲ مطالعه آزمایشگاهی بر روی رفتار پیچشی تیرهای بتن مسلح تقویت شده با کامپوزیت های FRP انجام دادند دراین تحقیق مطالعه بر روی ۸ عدد تیر به طول ۳۹۶۰ میلیمتر، ارتفاع و عرض ۲۷۹,۴ میلیمتر انجام شد، که این تیرها با چیدمان های مختلف تقوییت شده بودند. تمام تیرهای تقویت شده با ورقهای GFRP افزایش قابل توجهی در مقاومت پیچشی و لنگر پیچشی ترک خوردگی و دوران پیچشی را نشان می دادند، چیدمان دور پیچ کامل با زاویه ۹۰درجه الیاف نسبت به محور طولی، بهترین عملکرد راداشته و این افزایش به مقدار ۱۵۰درصد در لنگر پیچشی نهایی می باشد. استفاده از نوارهای طولی در جهت و راستای تیر افزایش قبل توجهی در لنگر ترک خوردگی را نشان داد. چیدمان U شکل حداقل افزایش ظرفیت دوران پیچشی را نشان داد. واین امر به علت جدا شدن لبه ورقها در وجوه کناری تیر بوده است، با این حال بعد از نصب مهاری ها در اطراف آن، افزایش در ظرفیت پیچشی و زاویه دوران پیچشی رخ می دهد، و عمدتاً شکست به دلیل خرد شدن بتن در اطراف میل مهاری ها و جداشدن آنها همراه با ورقها می باشد. وقتی از چیدمان نوارهای طولی به همراه نوارهای دور پیچ منقطع استفاده می گردد، نتایج افزایش در مقاومت نهایی قبل و بعد از ترک خوردگی را و همچنین انعطاف پذیری و شکل پذیری خوبی را نشان می دهند

در سال ۲۰۰۶ کنستانتین و چالی یوریس، مطالعه آزمایشگاهی بر روی ۱۴عدد تیر بتن مسلح مستطیلی و T شکل بدون خاموت و تقویت شده پیچشی با استفاده از الیاف CFRP انجام دادند بعد از اندازه گیری مقادیری شامل لنگر ترک خوردگی، لنگر نهایی، و زاویه دوران به این نتیجه رسیدند که تیرهای مستطیلی که دور پیچ کامل شده بودند بهترین عملکرد را نشان داده و بعد از آن چیدمان نوارهای دور پیچ منقطع در رتبه بعدی قرار دارد. تیرهای مستطیلی که بانوارهای U شکل تقویت شده اند دچار شکست ناشی از جدا شدگی زود رس لایه در وجوه کناری تیر شده اند، و این شکل از شکست در تیرهای T شکل نیز دیده شد ولی در کل تقویت کردن با پارچه های FRP راه حل مناسبی دیده شد.

حمیدرضا رونق و مهران عاملی در سال ۲۰۰۷ با مطالعه آزمایشگاهی بر روی ۱۲ عدد تیر بتن مسلح تقویت شده با الیاف کربن و شیشه در چهار حالت مختلف چیدمان لایه ها با یک ودولایه تقویت به نتایج زیر رسیدند.چیدمان دور پیچ کامل با ۱ و دو لایه کربن و شیشه بهترین مقاومت پیچشی و نتایج رادر لنگر پیچشی و زاویه دوران پیچشی از خود نشان دادند. بعد از آن

چیدمان دور پیچ منقطع و چیدمان پوشش U شکل گسترده در طول تیر، و پوشش U شکل نوارهای منقطع به ترتیب در جایگاه های بعدی از نظر مقدار لنگر پیچشی و زاویه دوران می باشد.

در سال ۲۰۱۰ دیفالا و قباره با مطالعه آزمایشگاهی بر روی ۶ عدد تیرآشکل بتن مسلح آنها را بوسیله الیاف CFRP تقویت پیچشی کرده و مورد آزمایش قراردادند، که نتایج آن به شرح زیر است:

ظرفیت پیچشی و برشی و سختی بعد از ترک خوردگی نمونه های تقویت شده تا ۷۱٪ نسبت به نمونه کنترلی افزایش یافته است. تقویت کردنها باعث افزایش شکل پذیری تا مرحله شکست می شود. اگرچه روش تقویت U شکل تاثیر کمتری نسبت به دورپیچ کامل دارند، ولی کاملا اجرایی و عملی می باشد. پوشش U شکل نسبت به پوششU شکل ادامه یافته تاثیر کمتری دارد. میل مهاری های استفاده شده می تواند تنشهای محوری را به عنوان بخشی از جریان برش تحمل کند، و با جریان پیچشی موجود در تیر مقابله و مقاومت نماید.

در سال۲۰۱۱ مصطفی الحجازی و محمد الکاتب مطالعه آزمایشگاهی بر روی ۵ عدد تیر بتن مسلح تقویت شده با الیاف CFRP و با موضوع تقویت پیچشی تیرهای بتن مسلح بوسیله الیاف و ورقهای CFRP انجام داده که این تقویت کردنها با چیدمان نوارهای دورپیچ، منقطع و فواصل مشخص دریک لایه و دولایه ضخامت انجام شد.طول تیر۳۱۰۰ میلی متر ارتفاع ۳۰۰ میلی متر وعرض۱۲۰ میلی متر بوده است . نتایج نشان داد که این تقویت کردنها باعث بهبود عملکرد کلیه تیرها شده است. تقویت کردن تیرها بوسیله ورقهای CFRP به ما کمک کرد تا رفتار و ظرفیت پیچشی تیرها را تا ۱۱۶/۷٪ نسبت به نمونه کنترلی افزایش و بهبود داشته باشد، همچنین سختی پیچشی تیرها نسبت به نمونه کنترلی تا۶۶/۴٪ افزایش داشته و این عمل بوسیله کم کردن زاویه دوران اتفاق افتاده است.استفاده از یک لایه با فواصل کمتر رفتاری مشابه به استفاده از دو لایه و فواصل زیادتر را دارد

در سال ۲۰۱۳ جاریوال و همکاران مطالعه آزمایشگاهی خود را بر روی ۷ عدد تیر مستطیلی که ۱ عدد به عنوان نمونه کنترلی و ۶ عدد با چیدمان های مختلف تقویت پیچشی شده بودند انجام دادند. طول نمونه ها ۱۷۰۰ میلی متر، وعرض وارتفاع آنها ۱۵۰ میلی متر بوده و با استفاده از الیاف CFRP تقویت شده بودند که نتایج آن بشرح ذیل است:

- ماکسیمم ۱۰۰٪ و ۱۱۷٪ افزایش در لنگر پیچشی ترک خوردگی و لنگر پیچشی نهایی برای نمونه ها نسبت به نمونه کنترلی بدست آمده بود. ترکیب چیدمان نوار طولی گوشه و نوارهای منقطع دور پیچ شده نتایج بهتری از نظر شکل پذیری نسبت به دیگر چیدمانها در بر داشته است. چیدمان نوارهای مایل نسبت به نوارهای قائم مقاومت پیچشی بیشتری را نشان داده اند.
- بهترین عملکرد از نظر مقاومت پیچشی مربوط به چیدمان دورپیچ کامل گسترده در عرض بوده است. (منظوردرکل تیر).

۴.–مشخصات نمونه آزمایشگاهی:

در این پروژه تحقیقاتی ۹ نمونه تیر بتنی با ابعاد ۱۵۰*۲۰۰*۱۵۰۰ میلی متر ، هر کدام توسط ۴ میلگرد طولی از نمره ۱۰ آجدار از نوع AIII ۲عدد در پایین مقطع و۲عدد در بالای مقطع ، خاموت نمره ۸ به فاصله ۱۵سانتی متر از نوع AII ساخته گردید.

پس از آرماتور بندی تیرها و ساخت قالب سپس با رعایت کاور اقدام به بتن ریزی میکنیم که همگی در یک نوبت بتن ریزی شدند و تعداد ۶ نمونه مکعبی ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی متر جهت آزمایش اندازه گیری مقاومت فشاری ۲۸ روزه گرفته شده و تیرهای بتنی به همراه نمونه های مکعبی جهت عمل آوری به مدت ۲۸ روز در حوضچه آب غرقاب شده اند.

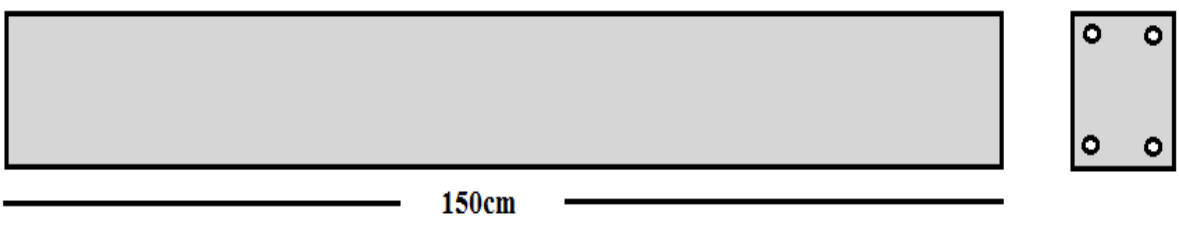
هر کدام از این نمونه ها با عناوین B۰، B۱، B۲، B۳، B٤ نامگذاری شده است .

در این آزمایش پس از آماده سازی سطحی مناسب (برداشتن شیره بتن توسط عملیات ماسه پاشی به طوری که سنگدانه ها نمایان شوند) اقدام به چسباندن لایه ها طبق استاندارد ACI۴۴۰ شده است.

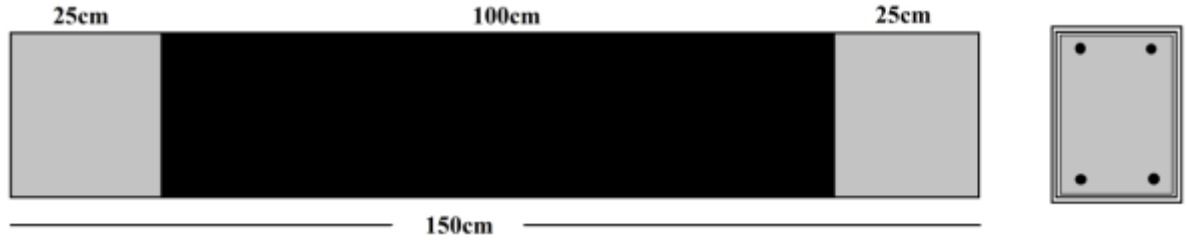
تیرهای بتنی ساخته شده تحت بارگذاری پیچش خالص در آزمایشگاه دانشکده مهندسی ، دانشگاه فردوسی مشهد قرار گرفته و بصورت کنترل دوران با نرخ ۲۰ کیلوگرم برثانیه ، در دو انتهای تیر شکسته شد.

شکل ۴-۱ : چسباندن FRP

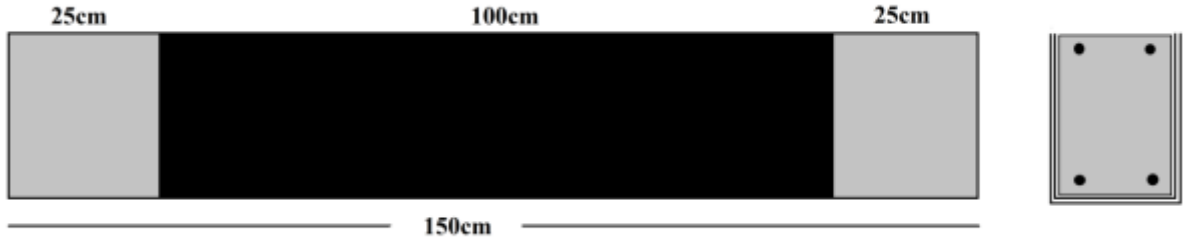
B۰ نمونه شاهد بوده که بدون هیچ گونه تقویت آزمایش می گردد.



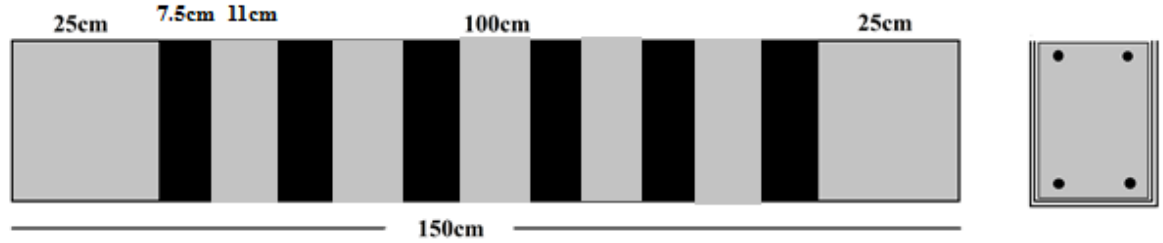
B۱ نمونه تقویت شده بادورپیچ ۲ لایه CFRP به طول ۱ متر



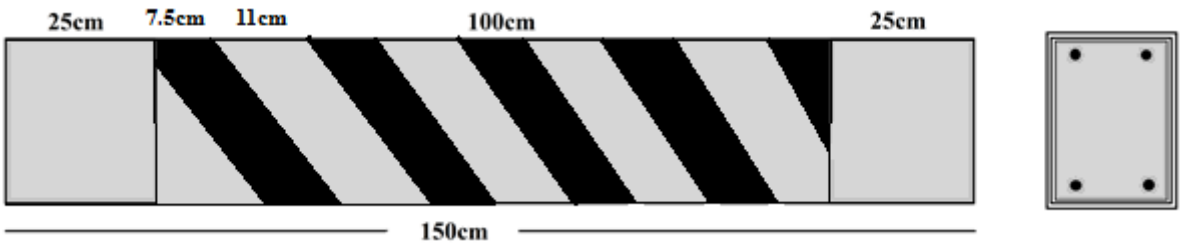
B۲ نمونه تقویت شده رکابی شکل با ۲ لایه CFRP به طول ۱ متر



B۳ نمونه تقویت شده نوار دورپیچ با ۲لایه CFRP به عرض ۷,۵ و فاصله ۱۱ سانتیمتر.



B٤ نمونه تقویت شده بانوار های دورپیچ زاویه دار۲ لایه CFRP به عرض ۷,۵ و فاصله ۱۱ سانتیمتر.



آنگاه همه نمونه ها بر روی دستگاه تست پیچشی قرار گرفته و به وسیله جک هیدرولیکی بارگذاری شدند، سپس شروع به اندازه گیری حداکثر بار ، تغییر مکان و ثبت آن توسط کامپیوتر گردید .

نوع الیاف CFRP مورد استفاده در این تحقیق به شرح جدول زیر می باشد:

جدول ۴-۱ مشخصات کامپوزیت

جنس الیاف	مقاومت کششی نهایی MPa	مدول الاستیسیته GPa	ضخامت mm
CFRP	۴۹۰۰	۲۳۰	۰,۱۱۱

جدول۴-۲ مشخصات بتن مصرفی

نوع مصالح	آب	سیمان	ماسه	شن
میزان مصرف kg/m^۳	۱۵۰	۳۵۰	۷۲۰	۱۰۸۰

جدول۴-۳ مشخصات رزین مورد استفاده

مقاومت کششی MPa	مدول کششی MPa	مدول خمشی GPa
۳۰	۲۵۰۰	۲۷۰۰

نحوه انجام آزمایش به این صورت است که همه تیرهای این آزمایش به صورت دو سر مفصل و تحت بارگذاری پیچشی خالص قرار گرفته اند . بارگذاری به صورت کنترل تغییر بار که با نرخ ۲۰ کیلوگرم بر ثانیه اعمال شده و نمودار بار-دوران به وسیله دستگاه جک ۲۰۰ تنی ثبت می گردد.

شکل۴-۲ نمای از دستگاه بارگذاری

۵–نتایج آزمایشگاه:

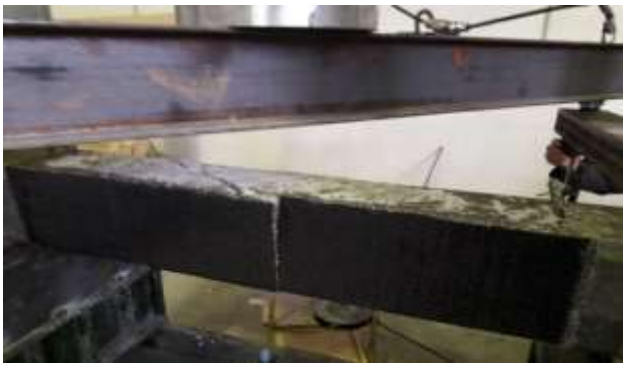
جدول۵-۱ مقایسه نتایج نمونه ها

شماره نمونه	دوران نهایی نمونه (درجه)	دوران متناسب با بیشینه لنگر(درجه)	بیشینه لنگر آزمایشگاه kN	درصد افزایش لنگرنهایی نصبت به حالت تقویت نشده طبق آزمایشات	درصد افزایش شکل پذیری نسبت به نمونه شاهد	نحوه شکست
B۰	۴,۵	۴	۳,۴۹	–		پیچشی
B۱	۶,۴	۶,۴	۱۴,۱۶	۷۲,۶۶	۴۲,۳	پاره شدن FRP همراه قلوه کن شدن بتن
B۲	۵,۴	۴,۷	۵,۴۱	۲۸,۳۳	۲۳	Debonding وپارگی درلایه
B۳	۷	۵	۶,۶۶	۴۱,۳۶	۴۸,۳	پاره شدن FRP وقلوه کن شدن بتن
B۴	۹,۳	۹,۳	۱۰,۴۱	۶۱,۳	۵۵,۲	پارگی در لایه FRP

عکس از نمونه ها:

شکل۵-۱عکس نمونه B۰

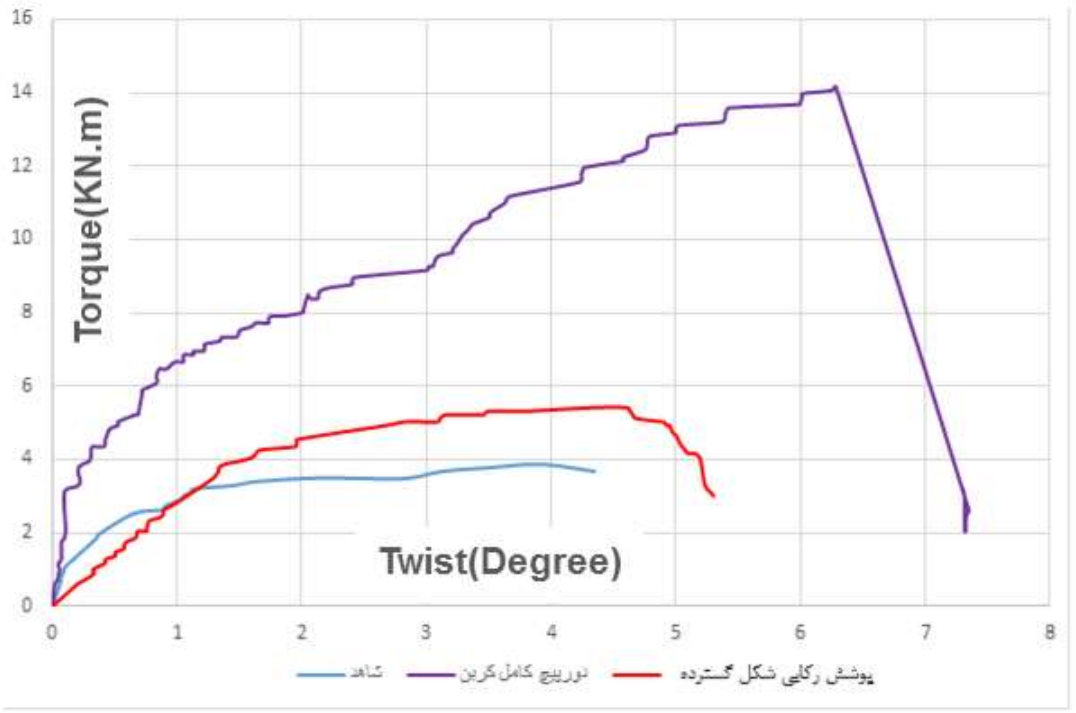
شکل۵-۲عکس نمونه B۱



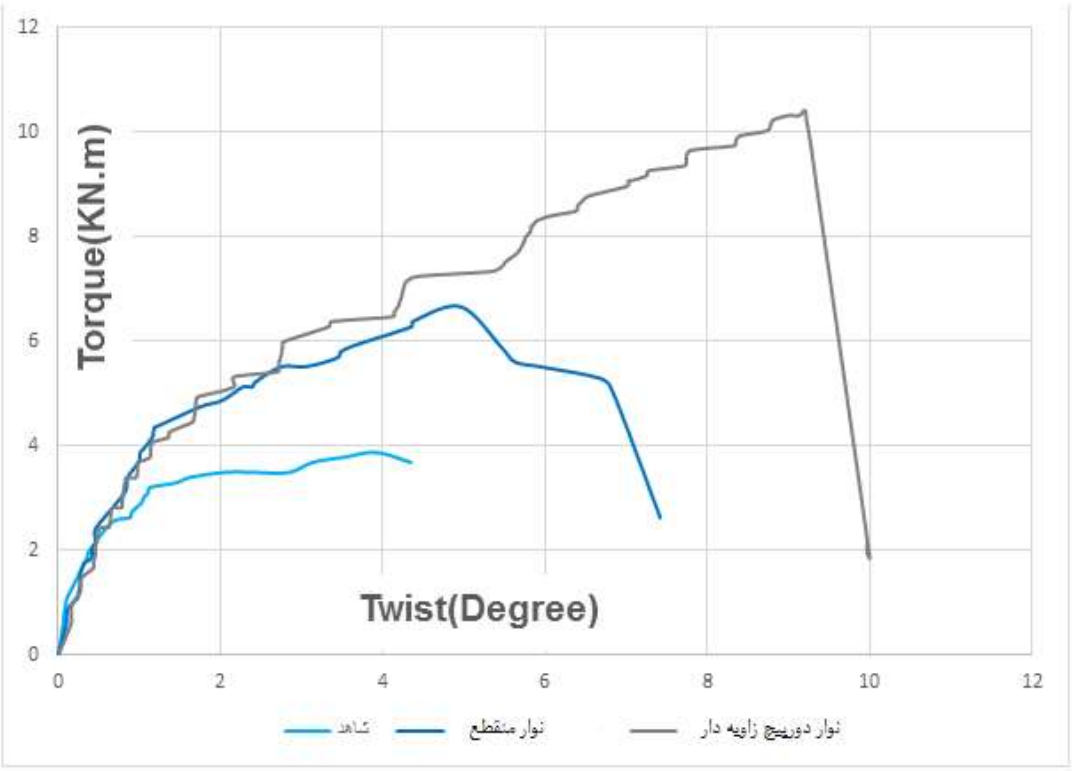
شکل۵-۳عکس از نمونه B۲

شکل۵-۴عکس از نمونه B۳

شکل۵-۶عکس از نمونه B۴



نمودار۵-۱ : مقایسه نمودار B۲،B۱،B۰



نمودار ۵-۲ : مقایسه نمودار B٤،B۳ ،B۰

نتیجه گیری:

با توجه به اینکه همه تیرها در شرایط آزمایشگاهی یکسان تحت آزمایش قرار گرفتند و همان طور که از جداول و نمودارهای فوق مشاهده گردید نتایج زیر بدست می آید:

۱- بهترین نمونه از نظر کسب مقاومت نمونه دورپیچ کامل ۲ لایه CFRP به طول ۱ متر میباشد .

۲- بهترین نمونه از نظر بهبود رفتار شکل پذیری به ترتیب نمونه های دورپیچ نوار منقطع ، ونوار زاویه دار میباشند.

۳- چیدمان دورپیچ نوار زاویه دار، بهبود در رفتار شکل پذیری،همچنین افزایش مقاومت نهایی را نسبت به حالت بدون زاویه آن درپی داشته است.

۴- چیدمان دورپیچ کامل،گرچه ازنظر مقاومت باعث بهبود ظرفیت نمنه گردیده،ولی از نظر کاربردی قابلیت اجرایی کمی دارد.

منابع و ماخذ:

[۱]. طائونی، شاپور، ۱۳۳۴. طراحی سازه های فولادی(براساس طراحی به روش تنش مجاز وروش حدی). انتشارات علم وادب، ۱۳۹۱ .

[۲]. فردیناند پی، بیر، ای راسل، جانسون، جان تی، ای ولف . مقاومت مصالح (ترتجمه بهرام پوستی). انتشارات متفکران، ۱۳۹۲.

[۳]. موستوفی نژاد، داود، ۱۳۳۹. سازه های بتن آرمه (جلد اول)، انتشارات ارکان دانش، ۱۳۸۵.

[۴]. رئوفی، ابدالرئوف، ۱۳۲۵،مبانی بتن مسلح براساس آیین نامه های ACI۳۱۸-۰۸ و آبا. ناشر، ابدالرئوف رئوفی، مشهد، ۱۳۸۸.

[۵]. طلائی طبا، سید بهزاد، موستوفی نژاد، داود، ۱۳۹۰. تقویت برشی-پیچشی تیرهای بتن آرمه با استفاده از کامپوزیت های FRP . رساله دکتری مهندسی عمران – گرایش سازه . دانشکده مهندسی عمران .دانشگاه صنعتی اصفهان .

[۶]. میرزایی، مهدی، عربزاده، ابوالفضل، ۱۳۸۷.ارزیابی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح تقویت شده با ورق های FRP . پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش سازه . دانشکده فنی ومهندسی، دانشگاه تربیت مدرس .

[۷]. کرمانی، فرهاد، وارسته پور، حمید، ۱۳۹۴. طراحی بهینه تیر بتنی با استفاده از الیاف کربن. پایان نامه کارشناسی ارشد عمران – گرایش سازه . دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم وتحقیقات خراسان رضوی (نیشابور).

[۸]. **Gobarah,A., Ghorbel, M., and Chidiac, S.** (۲۰۰۲). "Upgrading torsional resistance of RC beams using FRP." *Journal of Composites for Construction* ,٦,٢٥٧–٢٦٣.

[۹]. **Panchacharam, S. and Belarbi, A.** (۲۰۰۲). "Torsional behaviour of reinforced concrete beams strengthened with FRP composites", *Proceedings ١st FIB Congress*, Osaka, Japan, ١-١٠.

[١٠]. **Chalioris, C.E.** (٢٠٠٧a). "Torsional strengthening of rectangular and flanged beams using carbon fibre reinforced polymers – Experimental study", *Construction & Building Materials*, in press (available online since ١٦ Nov. ٢٠٠٦).

[١١]. **Ameli, M., and Ronagh, H. R.** (٢٠٠٧). "Analytical method for evaluating ultimate torque of FRP strengthened reinforced concrete beams" ,*Journal of Composites for Construction* ,١١, ٣٨٤–٣٩٠.

[۱۲]. ذهبیون، امیر، برسی کاربرد ورق های FRP در افزایش ظرفیت پیچشی تیرهای بتنی، دانشگاه آزاد شهر کرد، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران – زلزله ، زمستان ۱۳۸۶.

،

[۱۳]. **Deifalla, A. and Ghobarah, A. (۲۰۱۰).** "Strengthening RC T-Beams Subjected to Combined Torsion and Shear Using FRP Fabrics: Experimental Study." *J. Compos. Constr.*, ۱۰,۱۰۶۱/(ASCE)CC.۱۹۴۳-۵۶۱۴,۰۰۰۰۰۹۱, ۳۰۱-۳۱۱.

[۱۴]. **El Mostafa Higazy.and Mahmoud El-Kateb .**(۲۰۱۱). "STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE BEAMS UNDER TORSION USING CFRP SHEETS ." ۳۶th Conference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES: ۱۴ - ۱۶ August ۲۰۱۱,Singapore.

[۱۵]. **Chhabirani Tudu (۲۱۰CE۲۲۷۷)** .(۲۰۱۲)."STUDY OF TORSIONAL BEHAVIOUR OF RECTANGULAR REINFORCED CONCRETE BEAMS WRAPPED WITH GFRP." Department of Civil Engineering, National Institute of Technology Rourkela Odisha -۷۶۹۰۰۸, India May ۲۰۱۲.

[۱۶]. **Deifalla A, Awad A, El-Garhy M**. (۲۰۱۳)." Effectiveness of externally bonded CFRP strips for strengthening flanged beams under torsion: an experimental study." Eng Struct ۲۰۱۳;۵۶:۲۰۶۵–۷۵. Elsevier.

[۱۷].**VishnuH.Jariwala,PareshV.Patel,SharadkumarP.Purohit.(۲۰۱۳).**"Strengtheningof RCBeamssubjectedtoCombinedTorsionand BendingwithGFRPComposites."Procedia Engineering, Volume ۵۱, ۲۰۱۳, Pages ۲۸۲-۲۸۹.

Torsional reinforcement of rectangular reinforced concrete beams using FRP using grooving and reciprocating methods

In recent decades, reinforcement and restoration of concrete structures have been of interest to many researchers for many reasons, such as increased exploitation loads, design errors, corrosion and decay of materials, changes in regulations, execution errors. Among the investigations, fewer contributions to studies belong on the torsion reinforcement of reinforced concrete members. In the design of many concrete objects, such as the rafters of the slabs, the shafts of the bridges, the beams of the outside of the plot, and their channels connected at the mouth of the crater and to the orthogonal tower, torsional forces are important and should be considered. The purpose of this study is to compare several different methods of installing FRP composite under the same laboratory conditions and comparing with non-reinforcing control samples in order to achieve the best installation method for resistance and formability. For this purpose, ۵ concrete reinforced beams with a width of ۱۵۰, a height of ۲۰۰ and a length of ۱۵۰۰ mm, after reinforcement with different layouts, were subjected to a pure torsional loading test. After examining the results and comparing with the control sample, full carbon screw specimens showed a ۷۲,۶٪ and ۶۱,۳٪ increase in resistance to the control sample, respectively.