

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

کارگاه آنلاین
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

تقویت اجزاء بتنی با استفاده از الیاف پلیمری مرکب (FRP)

دکتر علیرضا رهایی

دکتر. رضا. غفاریان

مهندس امیر رضا براتی

تهران - خیابان حافظ - دانشگاه امیرکبیر

چکیده

استفاده از کامپوزیتها برای تعمیر و تقویت اجزاء بتنی روشی بسیار مؤثر میباشد که در سالهای اخیر وسیعاً مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از این کامپوزیتها به راحتی می توان به صورت قابل ملاحظه ای ظرفیت خمشی و برشی تیرها و همچنین ظرفیت نهایی فشاری ستونها را بالا برد. در مقاله حاضر ابتدا با بررسی مشخصات مصالح مصرفی و طرح اختلاط مناسب برای بتن انتخاب شده است و سپس تعدادی نمونه استوانه ای دور پیچ شده با ورقهای کامپوزیتی مورد آزمایش قرار گرفته و تاثیر آنها بر روی مقاومت فشاری بتن مورد بررسی قرار گرفت در مرحله بعد به بررسی چگونگی رفتار این کامپوزیتها بر روی تیرها و ستونها پرداخته شد که به این منظور تعدادی تیر بتنی و دال جهت بررسی تاثیر این نوع تقویت بر روی رفتار خمشی تیرها و دالها مورد بررسی قرار گرفت همچنین تعدادی تیر نیز جهت تقویت برشی و در آخرین جهت بررسی اثر این تسمه ها بر روی خزش نمونه های بتنی مورد مطالعه قرار گرفت. در حین ساخت نمونه های گفته شده در بالا انواع اپوکسیها و رزینهای مختلف دیگر مورد مطالعه قرار گرفته و بهترین آنها جهت استفاده انتخاب گردید.

۱- کلیات

در چند دهه اخیر به علل گوناگون تعمیر و تقویت سازه ها امری اجتناب ناپذیر بوده است تا بتوان از خسارتهای فراوان بعدی جلوگیری کرد. تقویت سازه های بتنی نسبت به سازه های فولادی به تکنولوژی بالاتری نیاز دارد. برخی دلایل متداول برای تقویت المانهای بتنی را می توان بشرح زیر برشمرد:

- بروز اشتباه در طراحی

- جزئیات نامناسب در تقویت کننده های فولادی خمشی و برشی

- ضعف و اشکال در اجرای سازه ها

- تغییر در کاربری ساختمان

- خوردگی و خسارتهای ناشی از خوردگی فولادها در محیطهای خورنده
- ضعف در سازه‌هایی که در زمانهای گذشته با استانداردهای قدیمی طراحی و ساخته شده‌اند
- خسارت دیدگی سازه‌ها بر اثر بلاهای طبیعی مانند زلزله، باد و...
روشهای گوناگون و متعددی در زمینه تعمیر و تقویت سازه‌های بتنی وجود دارد که در زیر به تعدادی از آنها اشاره شده است:

- کاهش وزن و سبک سازی
- تقویت بوسیله بتن پاشی
- تقویت با اثر پیش تنیدگی خارجی
- اضافه کردن نگهدارنده‌ها و کم کردن طول دهانه‌ها
- اشباع کردن بتن با مواد پلیمری (تزریق)
- استفاده از ورقهای فولادی و چسباندن آنها به زیر و سطوح جانبی تیرها (SPB) جهت بهبود ظرفیت خمشی و برشی تیرها و فشاری ستونها
- استفاده از ورقهای کامپوزیتی (FRP) و چسباندن آنها به سطوح زیرین و جانبی تیرها و اطراف ستونها (FPB) جهت بهبود ظرفیت خمشی و برشی تیرها و فشاری ستونها
روش SPB با توجه به نتایج مطلوب آن یک تکنیک بسیار کارآمد می‌باشد که تا حدود زیادی به یک روش متعارف تبدیل شده است. اما این روش دارای نقصهایی است که از آن جمله می‌توان به بالا بردن قابل ملاحظه وزن سازه بعد از تقویت، سختی اجرا و خطر خوردگی فولاد نام برد. این مشکلات باعث شد که تحقیقات در خصوص روشهای مناسب تر و با دوام تر ادامه یافته که به ابداع روشی به نام FPB انجامید که در این روش به جای فولاد در روش SPB از کامپوزیتها (FRP) استفاده می‌شد. این روش نه تنها معایبی که در روش SPB وجود داشت را ندارد بلکه دارای مزایا و موارد کاربرد فراوانی نیز می‌باشد.
روش FPB در جهت بالا بردن ظرفیت باربری ستونها و پایه‌های پلها و دیوارها، بالا بردن ظرفیت خمشی و برشی تیرها، تقویت مفاصل، همچنین تقویت لوله‌ها و ... بکار می‌رود.
بررسیهای بسیاری در مورد تقویت اجزاء بتنی توسط متخصصین صورت گرفته است که بطور اختصار به تعدادی از آنها اشاره خواهد شد. در این مورد می‌توان به H.Saadatmanesh و M.R.Ehsani که سهم بسزایی از این تحقیقات را داشته‌اند اشاره نمود، نتایج تحقیقات این افراد در تقویت ستونهای پلها بوسیله کامپوزیتها برای مقاوم کردن آنها در مقابل زلزله، تعمیر ستونهای خسارت دیده در اثر نیروهای زلزله بوسیله صفحات کامپوزیتی و بررسی مقاومت خمشی تیرهای تقویت شده بتنی و ...، بکار رفته است در سال ۱۹۹۸ نیز دکتر Amir M.Malek و Hamid Saadat manesh تحقیقات گسترده‌ای بر روی رفتار تئوری و عملی تیرهای تقویت شده برای برش داشته‌اند. از دیگر محققین می‌توان از دکتر Mahmod T.El-Mihilmy و Joseph W. Tedesco نام برد که رفتار تیرهای تقویت شده در جهت بهبود ظرفیت خمشی را مطالعه نموده‌اند. در مجموع نتیجه این تحقیقات و آزمایشها، به حصول یکسری روابط تئوری و روشهای استفاده از کامپوزیتها برای تقویت سازه‌ها انجامیده است.

۲- بررسی نمونه‌های استوانه‌ای تقویت شده

۲-۱- ساخت نمونه‌های آزمایش و مصالح مصرفی:

در برنامه آزمایشها از بتنهای با مقاومت طرح ۲۰ و ۲۵ و ۳۰ مگا پاسکال و همچنین از یک بتن با مقاومت بالا، استفاده شد. در این ارتباط بعد از تهیه طرح اختلاط ابتدا از هر نوع بتن با مقاومت‌های فوق الذکر ۱۲ عدد نمونه استوانه‌ای استاندارد ساخته شد. نمونه‌ها به مدت ۲۸ روز داخل آب قرار گرفت و پس از خروج از آب و خشک شدن، به وسیله یک فرچه سیمی سطح نمونه‌ها کاملاً زبرگردید و به وسیله آب، جهت تمیز شدن و عاری شدن از هرگونه گرد و خاک، شسته شد پس از خشک شدن، سطح نمونه‌ها به نوعی رزین اپوکسی آغشته گردید بعد از این مرحله نمونه‌ها به مدت ۱ روز در دمای محیط جهت پخت کامل اپوکسی قرار گرفتند، بعد از پخت کامل اپوکسی الیاف به دور نمونه‌ها پیچیده شد و در حین پیچاندن الیاف نیز کاملاً به رزین پلی استر آغشته می‌شدند.

از هر نوع بتن با مقاومت‌های ذکر شده ۱۲ نمونه استوانه‌ای ساخته شد، که هر کدام از آنها به چهار دسته سه تایی تقسیم شدند که دسته اول به عنوان نمونه‌های شاهد و دسته دوم با یک لایه، دسته سوم با سه لایه و دسته چهارم با پنج لایه کامپوزیت تقویت و دور پیچی شدند. دور پیچهای کامپوزیتی در تمامی موارد بجز در گروهی که با پنج لایه تقویت می‌شد، به صورت یکپارچه به دور نمونه‌ها پیچیده می‌شد، در نمونه‌هایی که با پنج لایه تقویت می‌شد نیز سه لایه اول به صورت یکپارچه و بعد از پخت این سه لایه، دو لایه بعدی پیچیده می‌شد. لازم به ذکر است که در تمامی موارد برای لایه آخر پوششی حدود ۵ تا ۶ سانتیمتر برای کامپوزیتها در نظر گرفته می‌شد. بعد از پخت کامل پلی استر دوسر نمونه‌ها به وسیله یک سمباده کاملاً صاف می‌شد تا آماده بار گذاری توسط یک جک گردند.

۲-۲- نتایج آزمایش:

نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد با بتنهای مختلف بعد از تقویت تحت آزمایش فشاری قرار گرفته که نتایج حاصله در جدول شماره ۱ ارائه شده است:

جدول ۱ - مقاومت‌های بدست آمده از نمونه‌های استوانه‌ای

مقاومت نمونه‌ها با پنج لایه تقویت (Mpa)	مقاومت نمونه‌ها با سه لایه تقویت (Mpa)	مقاومت نمونه‌ها با یک لایه تقویت (Mpa)	مقاومت نمونه‌های شاهد در عمل (Mpa)	مقاومت نمونه‌ها بر اساس طرح
۵۶,۵	۴۶,۱	۲۹,۵	۱۹,۶	۲۰
۶۸,۵	۵۴,۲	۳۵,۳	۲۷,۱	۲۵
۷۱,۷	۶۰,۱	۴۳,۳	۳۱,۲	۳۰
۸۶,۴	۷۲,۴	۵۴,۹	۴۴,۷	۴۴,۷

۲-۳- نتایج تئوری:

برای ارزیابی تجربیات آزمایشگاهی، مقاومت نمونه‌های استاندارد با بکارگیری روابط تئوریک ارزیابی شد

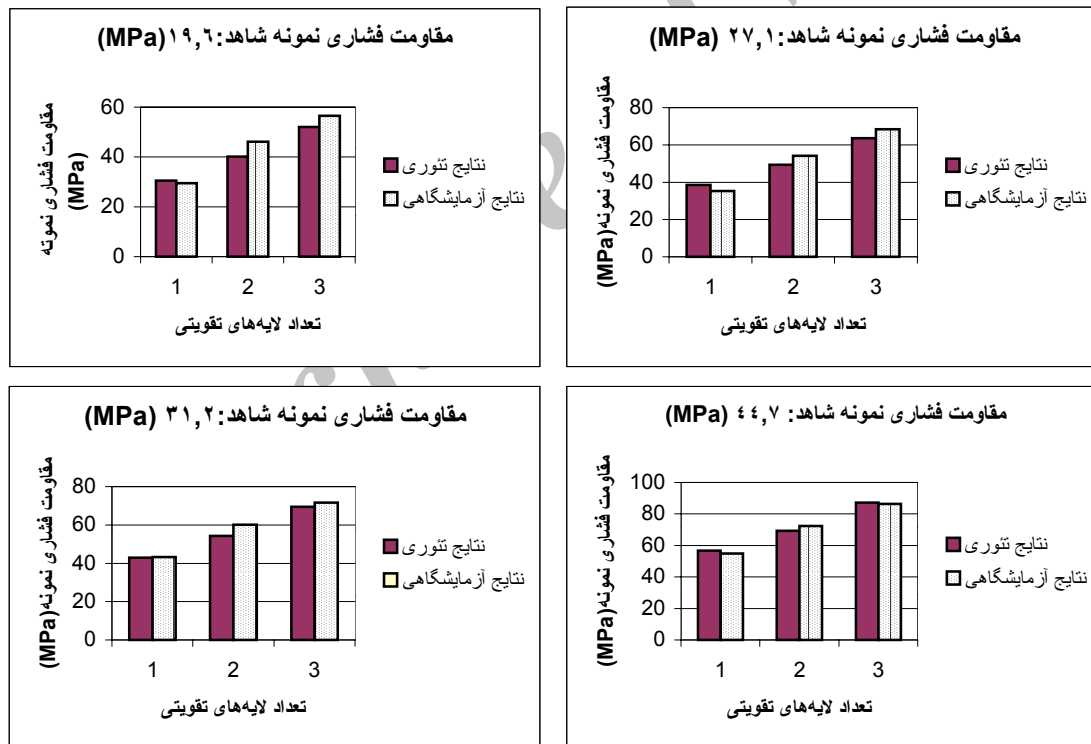
که نتایج حاصله در جدول شماره ۲ ارائه شده است

جدول ۲: نتایج بدست آمده از روابط تئوری

مقاومت نمونه‌های شاهد در آزمایش	مقاومت تئوری نمونه‌ها		
	یک لایه	سه لایه	پنج لایه
۱۹,۶	۳۰,۴۸	۴۰,۱۱	۵۱,۹۷
۲۷,۱	۳۸,۵	۴۹,۴	۶۳,۶۶
۳۱,۲	۴۲,۸۴	۵۴,۲۱	۶۹,۵۲
۴۴,۷	۵۶,۷۸	۶۹,۳۴	۸۷,۲۵

۲-۴- بررسی و مقایسه نتایج تئوری و آزمایشی:

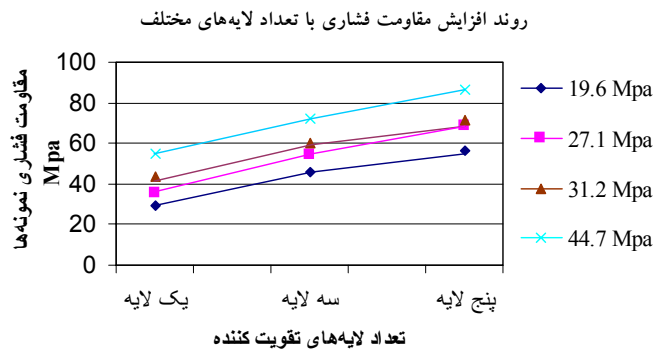
برای راحتی مقایسه بین روش تئوری و روش آزمایشی نمودارهای زیر داده شده است: همانطور که از نمودارها مشخص می‌شود تقریباً در تمامی نتایج بجز در مواردی که با یک لایه تقویت شده، که آنهم به دلیل مشکل اجرایی در دورپیچی نمونه‌ها می‌باشد، در بقیه موارد، مقدار بدست آمده از روش تجربی بزرگتر از روش تئوری می‌باشد، که این مورد مربوط به در نظر نگرفتن الیاف در جهت موازی با محور نمونه‌ها در روش تئوری می‌باشد.



شکل ۱- نمودارهای مقایسه‌ای بین نتایج تئوری و آزمایشگاهی

همچنین با توجه به رشد به ترتیب ۵۰,۵۱، ۱۳۵,۲۰ و ۱۸۸,۲۶ درصدی برای یک، سه و پنج لایه تقویت نسبت به نمونه شاهد تقویت نشده با مقاومت فشاری ۱۹,۶ مگاپاسکال و رشد به ترتیب ۳۰,۲۶ و ۱۰۰,۰۰ و ۱۵۲,۷۷ درصدی برای یک، سه و پنج لایه تقویت نسبت به نمونه شاهد تقویت نشده با مقاومت فشاری ۲۷,۱ مگاپاسکال و رشد به ترتیب ۲۲,۸۲، ۶۱,۹۷ و ۹۳,۲۹ درصدی برای یک، سه و پنج لایه تقویت نسبت به نمونه شاهد تقویت نشده با مقاومت فشاری ۴۴,۷ مگاپاسکال در نتایج بدست آمده است از این آزمایشها، می‌توان نتیجه گرفت که با

بالا رفتن تعداد لایه‌ها روند صعودی افزایش مقاومت، کاهش پیدا می‌کند که این موضوع در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: نمودارهای روند افزایش مقاومت فشاری با تعداد لایه‌های مختلف لازم به ذکر است که در هیچ یک از نمونه‌های تقویت شده، شکسته شدن نمونه‌ها به صورت زود هنگام که نشان دهنده اشکال و نقص در اجرا و ساخت نمونه‌ها بود، اتفاق نیفتاد در صورتی که در هنگام آزمایش بر روی نمونه‌های شاهد چندین مورد شکست زود هنگام اتفاق افتاد که در هر مورد نمونه دیگری جایگزین آن گردید. این موضوع نشان می‌دهد که این نوع تقویت نه تنها مقاومت فشاری بتن را بالا می‌برد بلکه از یک سری نقصهایی که در بتن وجود دارد، می‌تواند جلوگیری کند که البته این موضوع احتیاج به بررسیهای بیشتری دارد.

۳- ارزیابی تقویت خمشی تیرها:

نظر به اینکه صفحات کامپوزیتی مقاومت خوبی در برابر کشش از خودشان نشان میدهند در نتیجه باید آنها را در نواحی کششی مقاطع استفاده نمود. از طرف دیگر هنگامی که یک تیر تحت نیروی خمشی قرار می‌گیرد قسمت تحتانی تیر به کشش می‌افتد لذا استفاده از صفحات کامپوزیتی و چسباندن آنها در این قسمت میتواند باعث افزایش قابل توجهی در مقاومت خمشی تیر گردد. برای بررسی این موضوع و همچنین بررسی عملکرد این صفحات در تقویت خمشی تیرهای بتنی آزمایشهایی بشرح زیر صورت گرفت

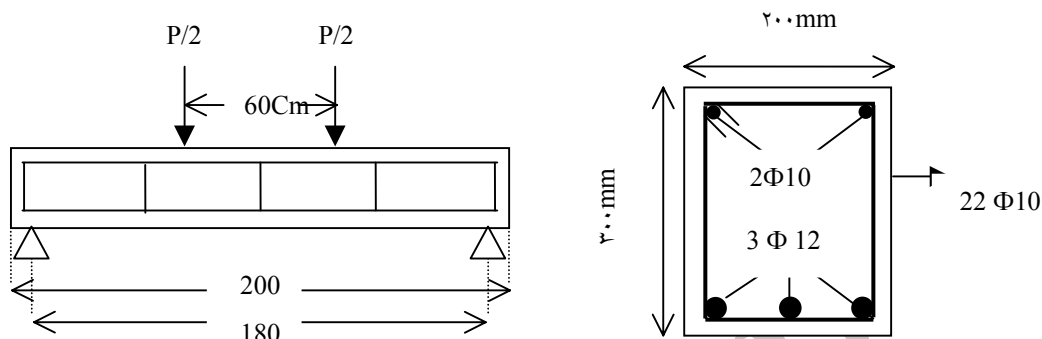
۳-۱- طراحی تیرها:

این تیرها طوری طراحی شدند که در هنگام آزمایش حالت شکست حتی بعد از تقویت خمشی تیرها به صورت شکست خمشی اتفاق بیفتد. برای این منظور مقاومت برشی تیرها چندین برابر مقاومت خمشی آنها در نظر گرفته شد.

۳-۲- ساخت و مشخصات نمونه‌ها:

برای بررسی اثر صفحات کامپوزیتی بر روی مقاومت خمشی ۱۶ عدد تیر با ابعاد مقطع ۳۰*۲۰ سانتیمتر و طول ۲ متر ساخته شد. این تیرها که در دو سری بتن ریزی و توسط هشت عدد قالب ساخته شدند، شامل دو گروه هشتایی از تیرهای بتنی با بتنهای با مقاومتهای فشاری مختلف طرح ۲۵ و ۳۰ مگاپاسکال بوده، که از نظر تعداد و نوع آرماتورها کاملاً یکسان بودند. در این تیرها از ۳ عدد آرماتور طولی کششی با قطر ۱۲ میلیمتر، دو عدد آرماتور فشاری با قطر ۱۰ میلیمتر و از خاموتهایی به قطر ده میلیمتر و فاصله ۹ سانتی متر استفاده شد. هر گروه از تیرها

شامل چهار زیرگروه دوتایی از این نوع تیرها بود که هر کدام از این زیر گروهها بترتیب بدون تقویت و به عنوان نمونه‌های شاهد، با یک لایه تقویت، سه لایه تقویت و پنج لایه تقویت ساخته شده بودند. لازم به ذکر است که تمامی مشخصات تیرهای ساخته شده در این مرحله از نظر آرماتورهای طولی و آرماتورهای برشی یکسان بودند که میتوان جزئیات آنها را در شکل شماره ۳ مشاهده کرد:



شکل ۳: جزئیات تیرهای شاهد

نمونه‌ها توسط صفحاتی از جنس الیاف شیشه که با رزین نوع A اشباع شده بودند و بوسیله رزین نوع B به تیرها چسبانده می‌شدند، تقویت شدند. روش کار به این صورت بود که ابتدا سطحی که باید تقویت می‌شد کاملاً توسط واتر سندبلاست کردن تمیز می‌شد به طوری که دوقاب سیمان روی آن کاملاً برداشته می‌شد و سنگدانه‌های داخل بتن کاملاً آشکار می‌شدند. بعد از واتر سندبلاست کردن و خشک شدن تیرها سطح مورد نظر کاملاً توسط تینر شسته می‌شد. بعد از تبخیر تینر رزین نوع B که به صورت خمیر بود توسط یک کاردک به سطح مورد نظر کشیده می‌شد، سپس بعد از مدت حدود ۲ ساعت و در دمایی حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد که این چسب به حالت ژل درآمد الیاف روی آنها قرار داده شده و با رزین نوع A و با یک قلمو اشباع می‌شدند برای رسیدن به تعداد لایه‌های لازم این کار چند بار تکرار می‌شد. ضخامت لایه‌ها بعد از ساخت برای یک لایه حدود ۱,۰۷ میلی‌متر، برای سه لایه حدود ۲,۴۶ میلی‌متر و برای پنج لایه حدود ۳,۸۳ میلی‌متر می‌شد. تیرهای تقویت شده به مدت ۷ روز در دمای حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد جهت پخت کامل اپوکسی‌ها نگهداری می‌شدند. بعد از این مرحله تیرها به محل انجام آزمایش برای شکست منتقل می‌شدند. در جدول شماره ۳ مشخصات ورقهای کامپوزیتی استفاده شده در این مرحله، که تماماً توسط آزمایشهای مربوطه بدست آمده آورده شده است.

جدول ۳: مشخصات فنی ورقهای مصرفی برای تقویت خمشی تیرها

نوع کامپوزیت	تنش نهایی ورقها (مگاپاسکال)		
	۱ لایه	۳ لایه	۵ لایه
الیاف شیشه و رزین اپوکسی نوع A	۱۴۶,۲۳	۲۱۱,۶۷	۲۲۷,۶۷

همانطور که گفته شد دو نوع بتن با طرح اختلاطهای مختلف که در زیر مقاومت بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه‌های استوانهای ساخته شده از بتن تیرها می‌باشد را نشان می‌دهد این آزمایشها حدود چهار ماه بعد از ساخت تیرها صورت گرفته است.

جدول ۴: مقاومت فشاری بتن تیرها در هنگام آزمایشها

مقاومت هنگام انجام آزمایشها (مگاپاسکال)	مقاومت طرح (مگاپاسکال)
۲۲,۵۶	۲۵
۳۸,۱	۳۰

تنش جاری شدن آرماتورهای مصرفی نیز در جدول ۳ داده شده است

جدول ۵: مشخصات آرماتورهای فشاری

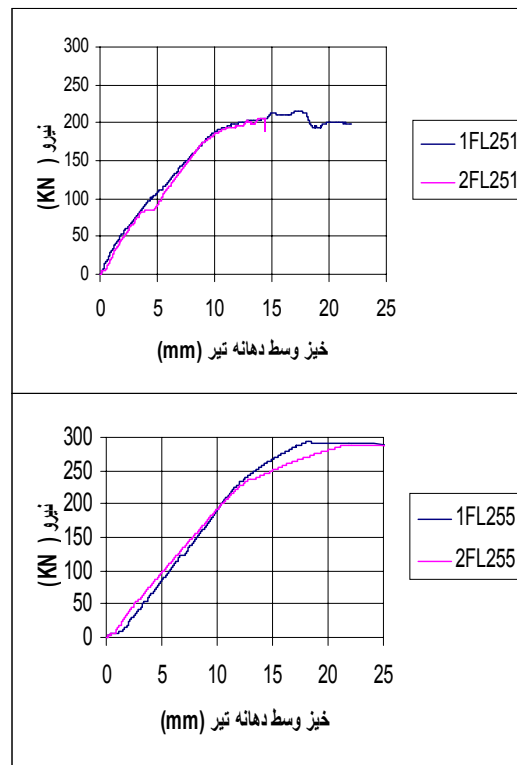
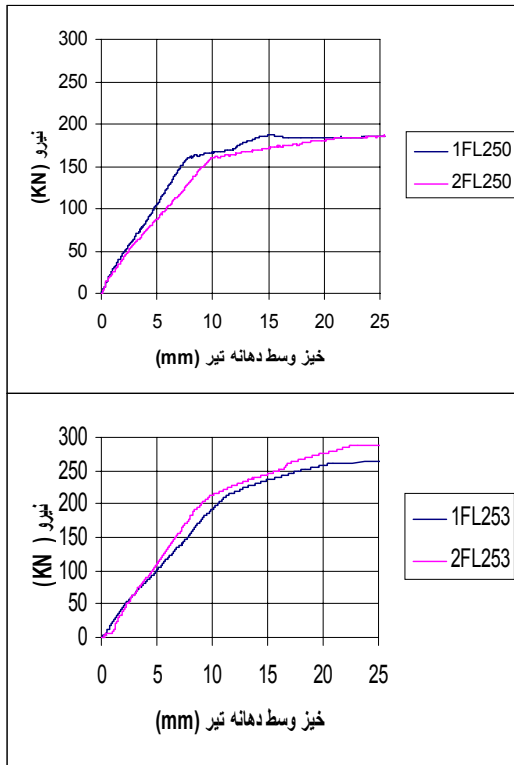
تنش جاری شدن (مگاپاسکال)	قطر آرماتورها mm
۳۳۴,۵۶	۱۰
۵۵۳,۳۳	۱۲

تمامی تیرها و صفحات دالها که در بخش بعدی در مورد آنها صحبت خواهد شد، توسط یک جک ۱۰۰ تنی تحت بارگذاری قرار گرفت که این جک مجهز به یک loadcell و یک shaftingcoder که هر کدام به ترتیب نیرو و تغییر مکان فک جک را اندازه گیری می کردند، بود. سیستم اندازه گیری توسط کابلهایی به یک دستگاه کامپیوتر متصل شده بود که اطلاعات را که به صورت کدهایی بودند به نیرو و خیز وسط دهانه تیر تبدیل و آنها را به صورت نمودارهای بر حسب نیرو و خیز وسط دهانه تیر رسم می نمود.

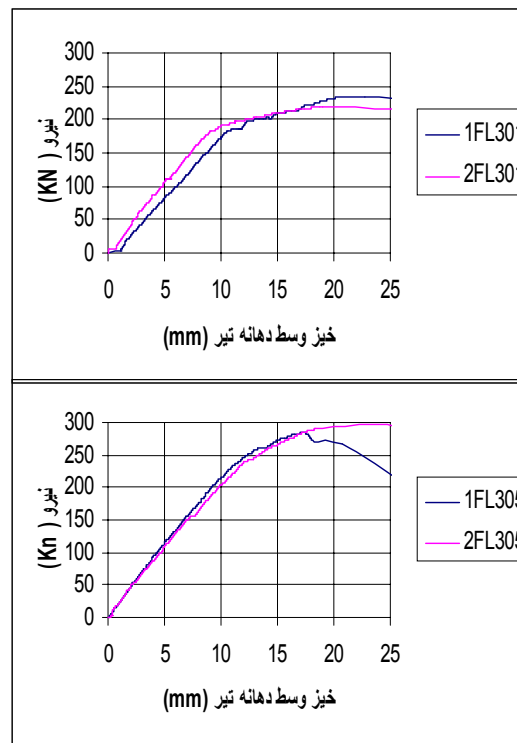
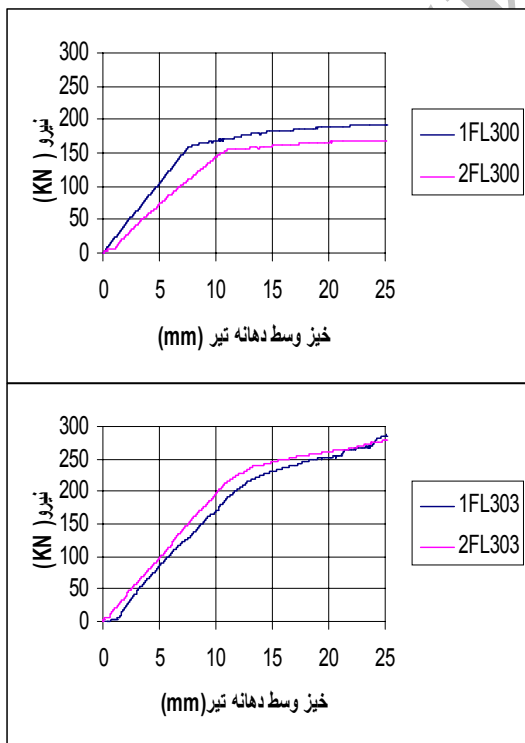
تکیه گاهها نیز از یک نوع فولاد سخت جهت صلبیت بالای آن، ساخته شد که فاصله آنها از یکدیگر، ۲۰ سانتی متر کمتر از طول تیرها و دالها یعنی برابر ۱۸۰ سانتی متر بود. نیرو نیز توسط یک فک متحرک و توسط دو تکیه گاه که در تیرهای خمشی فاصله آنها از یکدیگر ۶۰ سانتی متر بود به صورت برابر و موازی به تیرها اعمال می شد. برای اینکه نیروی وارده از جک کاملاً به صورت عمودی به تکیه گاهی که وظیفه آن تقسیم نیرو به دو نیروی موازی و برابر است، وارد شود بین این تکیه گاه و فک جک یک گوی فولادی قرار داده شد.

۳-۲-۱- نتایج بدست آمده از آزمایشها:

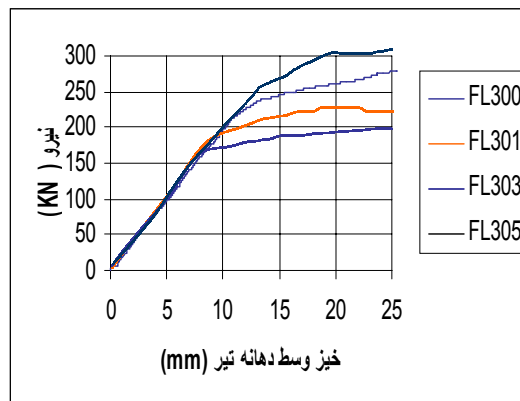
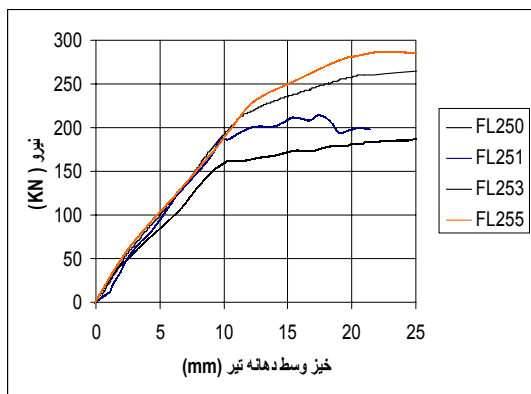
۱۶ عدد تیر ساخته شده تحت آزمایش بارگذاری قرار گرفته و نمودارهای خیز وسط دهانه تیر در مقابل نیروی وارد شده به تیرها ترسیم شد که نمونه آن در اشکال ۵ و ۴ نشان داده شده است. در کد گذاری تیرها عدد اول نشانه اولین یا دومین نمونه ساخته شده در یک زیر گروه با تمامی مشخصات یکسان میباشد حروف FL در این کدها نشان دهنده آزمایشهای خمشی و دو رقم بعد نیز نشان دهنده مقاومت طرح بتنی است که با آن تیرها ساخته شده اند و در رقم آخر نیز نشان دهنده تعداد لایه های تقویتی FRP می باشد. برای مثال کد 1FL251 نشان دهنده اولین تیر ساخته شده بتنی با مقاومت فشاری طرح ۲۵ مگا پاسکال می باشد که با یک لایه FRP تقویت شده است، و FL نشان دهنده تقویت خمشی تیر می باشد.



شکل ۴: نمودار نیرو-خیز وسط دهانه تیرهایی با مقاومت فشاری بتن بمیزان ۲۵ مگاپاسکال در آزمایشهای خمشی
همانطور که در نمودارها مشاهده می‌شود نتایج بدست آمده از تیرهایی که با تعداد لایه‌های یکسان تقویت شده اند بسیار نزدیک به هم می‌باشند که این نشان دهنده دقت در ساخت نمونه‌ها می‌باشد.

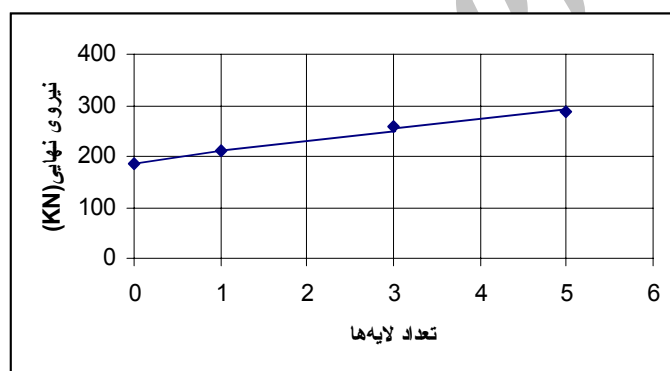


شکل ۵: نمودار نیرو-خیز وسط دهانه تیرهایی با مقاومت فشاری بتن ۳۰ مگاپاسکال در آزمایشهای خمشی



شکل ۶: مقایسه نمودارهای نیرو - خیز در وسط دهانه تیر در آزمایشهای خمشی

بر اساس شکل زیر با تقویت تیرها و افزایش لایه‌های تقویت کننده مقاومت خمشی نهایی تیرها نیز افزایش پیدا می‌کند. در تیرهایی که با پنج لایه تقویت شده بودند در لحظه شکست، بتن از محل اتصال با تقویت‌های طولی جدا می‌شد (شکل ۷) که اگر این اتفاق رخ نمی‌داد تیر نیز مقاومت نهایی بیشتری از خود نشان می‌داد. در تیرهایی که مقاومت طرح بتن آنها ۲۵ مگاپاسکال بود، مقاومت نهایی تیر شاهد (بدون تقویت) برابر $186/1$ KN، با یک لایه تقویت $210/1$ KN، با سه لایه تقویت $259/8$ KN و با پنج لایه تقویت به $288/4$ KN رسید که این مقاومتها در تیرهای با یک، سه و پنج لایه به ترتیب ۱۱۳، ۱۴۰ و ۱۵۵ درصد مقاومت تیر شاهد بوده است.



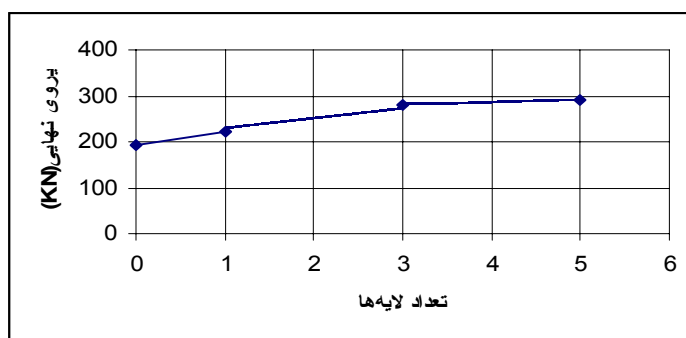
شکل ۷- نمودار روند افزایش مقاومت نهایی تیر با افزایش تعداد لایه‌های تقویتی (با مقاومت فشاری بتن ۲۵ مگاپاسکال)



شکل ۸- جداسدگی بتن از آرماتورهای طولی

در تیرهایی که مقاومت طرح بتن آنها برابر ۳۰ مگاپاسکال بود نیز با بالا رفتن تعداد لایه‌های تقویتی مقاومت نهایی تیرها افزایش چشمگیری داشت. تیرهایی که با پنج لایه تقویت شده بودند تیرها در اثر جدا شدن بتن از تقویت کننده‌های طولی شکسته شدند.

در این سری از آزمایش‌ها مقاومت نهایی تیر بدون لایه تقویتی برابر $191/6$ KN، با یک لایه تقویت برابر $220/2$ KN، با سه لایه تقویت $279/2$ KN و با پنج لایه تقویت به $290/2$ KN رسید که این مقاومتها در تیرهای با یک، سه، و پنج لایه بترتیب ۱۱۵، ۱۴۶ و ۱۵۱ درصد مقاومت تیر شاهد بود.



شکل ۹- نمودار روند افزایش مقاومت نهایی تیر با افزایش تعداد لایه‌های تقویتی (با مقاومت فشاری بتن ۲۵ مگاپاسکال)

۳-۳-۳- دالها:

هر دال که طولی برابر ۲ متر، عرض ۰,۵ متر و ارتفاع ۰,۱ متر داشت، بوسیله ۳ آرماتور طولی با قطر ۱۰ میلیمتر تقویت شده بود همچنین ۶ عدد آرماتور با همین قطر بعنوان آرماتورهای حرارتی در این دالها در نظر گرفته شده بود. مشخصات آرماتورها با مشخصات آرماتورهای استفاده شده در تیرها یکی بود.

در پی بررسی خمشی تیرهای تقویت شده با استفاده از چسباندن ورقهای کامپوزیتی در قسمت زیرین آنها، صفحات دال تقویت شده با همین روش نیز مورد بررسی قرار گرفت.

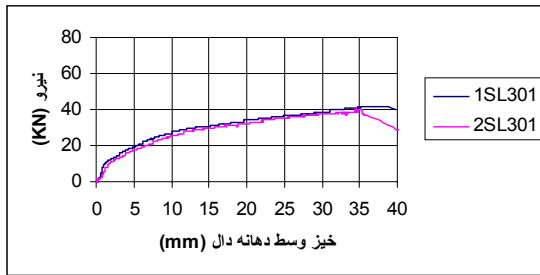
به این منظور ۵ عدد دال بتنی کاملاً مشابه ساخته شد که یکی از آنها به عنوان نمونه شاهد، یکی از صفحات با یک لایه، دو تا از آنها با دو لایه و صفحه آخر با سه لایه از کامپوزیتهایی که در تقویت خمشی هم از آنها استفاده شده بود، تقویت شدند.

بتنی که برای ساخت این دالها مورد استفاده قرار گرفت در هنگام انجام آزمایشات مقاومتی در حدود ۲۹,۶۳ مگاپاسکال از خود نشان داد.

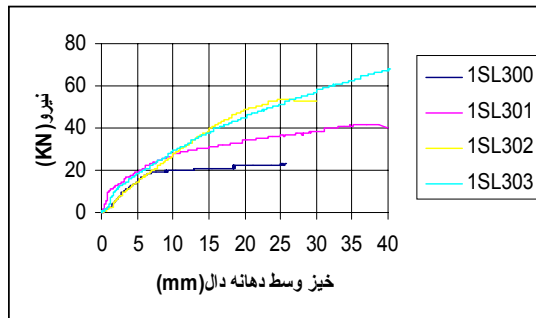
صفحات تماماً با جک و تکیه‌گاههایی که تیرهای خمشی با آنها آزمایش شده بود شکسته شدند که نتایج آزمایشها در اشکال ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است.

کدهای نمونه‌ها نیز مانند قبل می‌باشد با این تفاوت که بجای FL که نشان دهنده آزمایش خمشی بود با SL، نشان داده شده است.

شکل ۱۰- مقایسه بین دو دال
کاملاً مشابه که با یک لایه از
ورقهای کامپوزیتی تقویت
شده بودند



شکل ۱۱- مقایسه بین دالها با لایه‌های
مختلف تقویتی.



همانطور که در نمودارها مشخص شده است نمونه شاهد با نیرویی در حدود $23/03$ کیلونیوتن، دال با یک لایه تقویت $41/46$ کیلو نیوتن، برای دال با دو لایه تقویت $53/44$ کیلو نیوتن و برای دالی که با سه لایه تقویت شده $68/18$ کیلونیوتن شکسته شده اند که به ترتیب 180 ، 232 و 296 درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش باربری از خود نشان می‌دهند.

۴- رفتار برشی تیرهای تقویت شده:

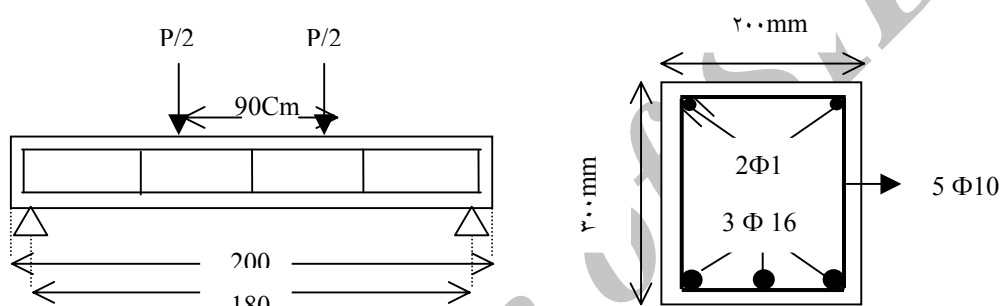
شکست برشی به دلیل آنی بودن یک پدیده نامناسب برای تیرها بوده و موجب خسارات فراوانی می‌گردد. از این رو تقویت برشی تیرهایی که دارای ضعف برشی هستند بسیار حائز اهمیت است. تیرها مورد آزمایش طوری طراحی شدند که از نظر برشی دارای ضعف بوده ولی در مقابل خمش بسیار مقاومت بهتری داشتند و این موضوع حتی بعد از تقویت تیرها نیز صادق بود، بدین صورت افزایش برش به صورت بهتری مورد بررسی قرار می‌گرفت.

طراحی این تیرها بدون توجه به صفحات تقویتی آنها و با توجه به ابعاد نمونه تیر، چگونگی بارگذاری آنها، ابعاد مورد نظر آنها و نوع بتن مصرفی صورت گرفت و طوری طراحی شدند که مقاومت خمشی آنها چند برابر مقاومت برشی آنها باشد.

همانطور که قبلاً نیز گفته شد صفحات کامپوزیتی مقاومت خوبی در مقابل کشش از خود نشان می‌دهند در نتیجه باید آنها را طوری قرار داد که در کشش کار کنند، پس برای تقویت برشی تیرها باید این صفحات را در کناره‌های تیر و حتی الامکان عمود بر ترکهای برشی قرار داد در این صورت مقاومت کششی در این صفحات ایجاد می‌شود که از باز شدن و امتداد ترکهای برشی جلوگیری می‌کند. در آزمایشهای بعمل آمده نیز این صفحات به وسیله چسب مخصوصی به کناره‌های تیر چسبانده شدند و جهت آنها نیز به خاطر بافت الیاف در جهت عمود بر امتداد تیر و مواری امتداد طولی تیر قرار داده شدند. (الیاف در دو جهت عمود بر هم بودند)

۴-۱- ساخت و مشخصات نمونه‌ها:

در این مرحله نیز ۱۶ عدد تیر برای بررسی اثر صفحات کامپوزیتی بر روی مقاومت برشی تیرها ساخته شد. این تیرها که در دو سری بتن ریزی و توسط هشت عدد قالب ساخته شدند، شامل دو گروه هشتایی از تیرهای بتنی با بتنهای مختلف و با مقاومتهای فشاری طرح مختلف ۲۵ و ۳۰ مگاپاسکال بودند، که از نظر تعداد و نوع آرماتورها کاملاً یکسان بودند. طول نمونه‌های ساخته شده ۲ متر و مقطعی به ابعاد ۳۰*۲۰ سانتیمتر (مشابه قطعات خمشی) داشتند در این تیرها از آرماتورهای کششی به قطر ۱۶ میلیمتر، آرماتورهای فشاری به قطر ۱۰ میلیمتر و خاموتهایی به قطر ۱۰ میلیمتر با فاصله‌های ۴۰ سانتی متر استفاده شد. در ضمن در این مرحله نیز مانند تیرهای تقویت شده در مقابل خمش هر گروه نیز شامل چهار زیرگروه دوتایی از این نوع تیرها بود که هر کدام از این زیر گروهها بترتیب بدون تقویت و به عنوان نمونه‌های شاهد، با یک لایه تقویت، سه لایه تقویت و پنج لایه تقویت ساخته شده بودند. مشخصات این تیرها از نظر آرماتورهای طولی و آرماتورهای برشی یکسان بودند که میتوان جزئیات آنها را در شکل زیر مشاهده کرد:



شکل ۱۲: جزئیات تیرهای شاهد

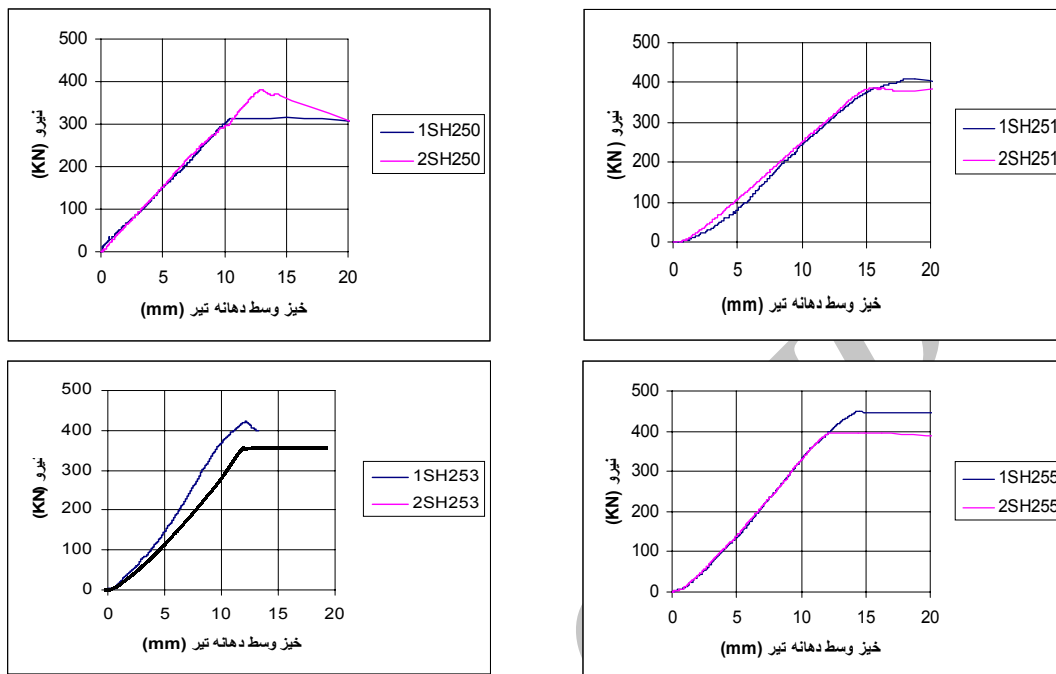
چگونگی ساخت این تیرها و همچنین طرز نگهداری آنها کاملاً شبیه تیرهای ساخته شده برای آزمایش خمش بود. همچنین این تیرها توسط همان جکی که تیرهای تقویت شده خمشی شکسته شدند، مورد آزمایش قرار گرفتند با این تفاوت که دو بار مساوی و موازی به فاصله‌ای بیشتر و به اندازه ۹۰ سانتی متر بر تیرها اعمال می‌شد.

۴-۲- نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها:

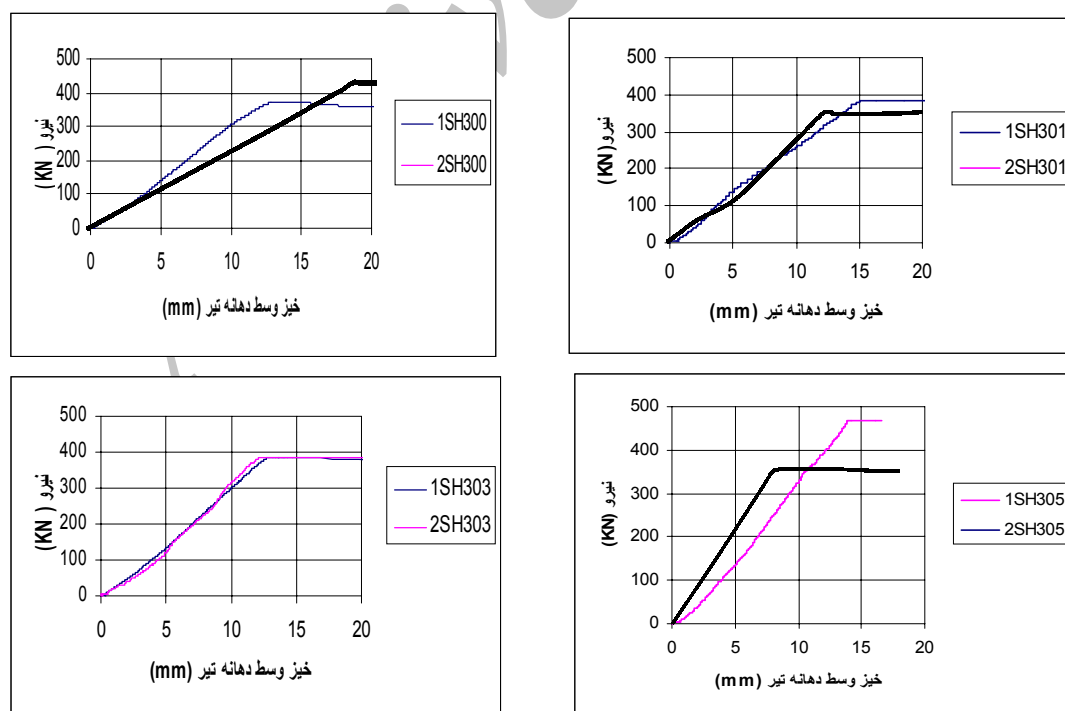
نتایج آزمایش تیرها در اشکال ۱۳ و ۱۴ ارائه شده است. در این قسمت نیز تیرها برای سادگی کد بندی شده و این کد بندی شبیه به کد بندی تیرهایی بود که تقویت خمشی داشتند با این تفاوت که به جای حروف FL که نشان دهنده خمش بود از حروف SH که نشان دهنده برش است استفاده شده است. در این تیرها نیز نتایج بدست آمده از تیرهای یکسان بسیار شبیه به هم می‌باشد که این موضوع می‌تواند درستی نتایج را نشان دهد.

جهت مقایسه نتایج آزمایش‌ها بر روی تیرها با یک نوع بتن و با لایه‌های تقویتی مختلف نمودار شکل ۱۳ داده شده است همانطور که در اشکال ۱۱ و ۱۲ دیده می‌شود با تقویت تیرها و افزایش لایه‌های تقویت کننده مقاومت برشی نهایی تیرها نیز افزایش پیدا می‌کند. در تمامی موارد تیرها به صورت برشی و با ترکهایی با زاویه ۴۵ درجه که از تکیه‌گاه شروع می‌شدند، شکسته شدند که در هنگام شکست صفحات کامپوزیتی از تیرها جدا شدند و این نشان دهنده آن است که از ظرفیت کامل صفحات استفاده نشده و به همین دلیل در تیرهای تقویت شده با ۳ و ۵ لایه افزایش چشمگیری در مقاومت نهایی مشاهده نشد.

هنگام جدا شدن صفحات کامپوزیتی از تیرها صفحات، مقداری از بتن سطح تیرها را نیز از تیر جدا می کرد و در چندین مورد نیز از تیرهایی که با یک لایه تقویت شده بودند شکست بر اثر پاره شدن صفحات اتفاق افتاد که این موضوع نشان دهنده عملکرد بسیار بالای چسب مورد استفاده برای چسباندن صفحات وضعف احتمالی لایه بتن تحتانی بود.



شکل ۱۳- نمودارهای بدست آمده از آزمایشات تیرهای برشی با مقاومت طرح بتن ۲۵ مگاپاسکال

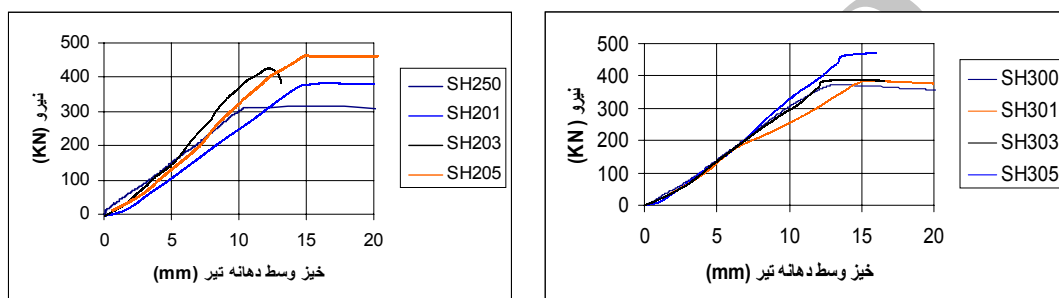


شکل ۱۴- نمودارهای بدست آمده از آزمایشات تیرهای برشی با مقاومت طرح بتن ۳۰ مگاپاسکال

در تیرهایی که مقاومت طرح فشاری بتن آنها ۲۵ مگاپاسکال بود، مقاومت نهایی تیر شاهد (بدون تقویت) برابر $312/3$ KN، با یک لایه تقویت $385/1$ KN، با سه لایه تقویت $420/2$ KN و با پنج لایه تقویت به $448/7$ KN رسید که این مقاومتها در تیرهای با یک، سه و پنج لایه بترتیب ۱۲۳، ۱۳۴ و ۱۴۴ درصد مقاومت تیر شاهد بوده است.

در تیرهایی که مقاومت طرح فشاری بتن آنها ۳۰ مگاپاسکال بود نیز مانند قبل تیرهایی که با پنج لایه تقویت شده بود در اثر جدا شدن بتن از تقویت کننده‌های طولی شکسته شدند.

در این سری از آزمایش‌ها مقاومت نهایی تیر بدون لایه تقویتی برابر $372/2$ KN، با یک لایه تقویت برابر $382/4$ KN، با سه لایه تقویت $384/2$ KN و با پنج لایه تقویت به $466/2$ KN رسید که این مقاومتها در تیرهای با یک، سه، و پنج لایه بترتیب ۱۰۲، ۱۰۳ و ۱۲۵ درصد مقاومت تیر شاهد بود.

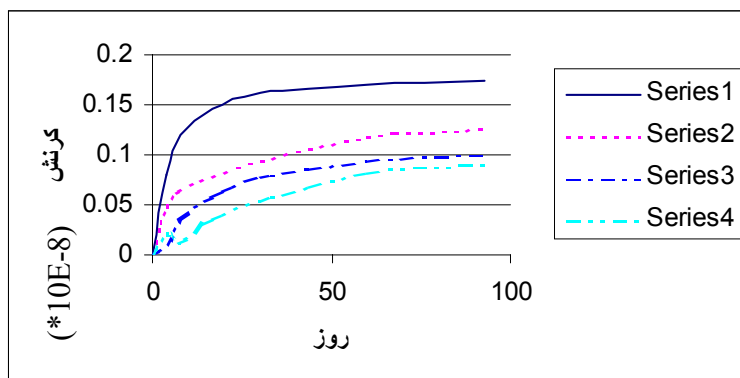


شکل ۱۵: نمودارهای مقایسه‌ای برای دو گروه از تیرهایی که تقویت برشی داشتند

۵- بررسی تاثیر صفحات کامپوزیتی بر روی خزش نمونه‌های استوانه‌ای :

ابتدا ۸ نمونه استوانه‌ای بتنی به قطر ۸۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۷۰ میلی‌متر با استفاده از بتن با مقاومت طرح ۲۵ مگاپاسکال ساخته شد که به مدت ۲۸ روز در آب نگهداری شدند. این بتنها در هنگام آزمایش مقاومت فشاری در حدود $27/2$ مگاپاسکال داشتند. نمونه‌ها به ۴ گروه دوتایی تقسیم شدند که گروه اول بعنوان نمونه شاهد، گروه دوم با یک لایه، گروه سوم با دو لایه و گروه چهارم با سه لایه تقویت شدند.

نوع تقویت کننده‌ها و روش تقویت آن در نمونه‌های استوانه‌ای کاملاً شبیه بود. تمامی نمونه‌ها به صورت به دوتایی در چهار دستگاه آزمایش خزش قرار گرفتند. نیروی وارده بر نمونه‌ها ۳۰ کیلو نیوتن بود که حدود ۲۵٪ نیرویی بود که نمونه‌های شاهد می‌توانستند تحمل کنند. نمونه‌ها به مدت ۹۳ روز در دستگاه و زیر بار قرار داشتند. زمانهای مختلف کاهش طول نمونه‌ها اندازه‌گیری شد که در نهایت نتایج بدست آمده در شکل ۱۶ ارائه شده است. همانطور که در نمودارها مشاهده می‌شود با دور پیچ کردن نمونه‌ها و بالا رفتن تعداد لایه‌ها مقدار خزش نیز کاهش می‌یابد. که در یک لایه، دو لایه و سه لایه به ترتیب به ۷۲، ۵۷، ۱ و ۵۱، ۴ درصد نمونه شاهد کاهش خزش نشان می‌دهد.



شکل ۱۴- نمودارهای مربوط به آزمایشهای خزش

جمع بندی:

همانطور که دیده میشود روش تقویت اجزاء بتنی با استفاده از ورقهای کامپوزیتی بسیار راه حل مفیدی می باشد و به این وسیله میتوان مقاومت خمشی تیرها و دالها، مقاومت برشی تیرها و همچنین مقاومت فشاری ستونها را به مقدار قابل توجهی بهبود بخشید. و از آنجایی که این کامپوزیتها وزن و ابعاد بسیار کمی دارند میتوانند از مشکلات بعدی که در روشهای دیگر وجود دارد جلوگیری کنند.

روش اعمال و استفاده از این ورقها بسیار آسان بوده و قابل اجرا بر روی هر نوع سطح بتنی می باشد و اگر این روش به حالت صنعتی تبدیل شود میتواند از نظر اقتصادی نیز بسیار قابل قبول باشد. تعداد لایه ها و انتخاب دقیق آنها با استفاده از روشهای تئوری ارائه شده توسط متخصصین، از هزینه های اضافی خواهد کاست.

نوع بتن مصرفی و مقاومت آن در بین صفحات و آرماتورها بسیار مهم است و باید مد نظر قرار گیرد. نوع چسب و رزین استفاده شده برای اشباع الیاف، بسیار مهم بوده و تاثیرات چشمگیری بر نتایج خواهد داشت

- 1- Holmes and Just "GFRP in structural engineering" ; 1983
- 2- Agarwal and Broutman "Analysis and performance of Fiber composites"; 1980
- 3- Jones "Mechanics of composite materials" ; 1975
- 4- Powell "Engineering with fibre-polymer laminates" ; 1993
- 5- Matthews and Rawlings "Composite materials : Engineering and science"; 1994
- 6- H.Dominghaus "Plastics for Engineers : Materials , Properties , Applications" 1992 ;
- 12- "State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures" Reported by ACI Committee 440 ; 1996
- 13- by H.Saadatmanesh & M.R. Ehsani "Strength and Ductility of Concrete Columns Externally Reinforced with Fiber Composite Straps"ACI Structural journal ; V.91 ; No.4 ; July-August 1994
- 14- by Mahmoud T. El-Mihilmy & Joseph W.Tedesco "Analysis of Reinforced Concrete Beams Strengthened with FRP Laminates"Journal of Structural Engineering ; June 2000
- 15- by Amir M.Malek & Hamid Saadatmanesh "Ultimate Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Web-Bonded Fiber-Reinforced Plastic Plates" ACI Structural Journal ; V. 94 , No. 4 ; July-August 1998
- 16- by C. Allen Ross & David M. Jerome "Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Externally Bonded Composite Laminates"ACI Structural Journal ; V. 96 , No. 2 ; March-April 1999
- 17- by H.Saadatmanesh & M. R. Ehsani & Limin Jin "Seismic Strengthening of Circular Bridge Pier Models with Fiber composites"ACI Structural Journal ; V. 93 , No. 6 ; November-December 1996
- 18- by Hamid Saadatmanesh "Fiber Composites for New and Existing Structures" ACI Structural Journal ; V. 91 , No. 3 ; May-June 1994
- 19- by Ghazi J. AL-Sulaimani &Alfarabi Sharif "Shear Repair for Reinforced Concrete by Fiberglass Plate Bonding"ACI Structural Journal ; V. 91 , No. 3 ; July-August 1994
- 20- by mohammad R. Ehsani "Strengthening of Concrete and Masonry Structures with Fiber Composite Materials"

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

توجه: بررسی مقاله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

PROPOSAL
پروپوزال

توجه: پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

ISI
Scopus

توجه: آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو