تحلیل عددی رفتار خمشی تیرهای بتن مسلح تقویت شده با مواد کامپوزیتی FRP با استفاده از روش اجزا محدود

محمدرضا قاسمی[۱]، محمدرضا توکلی‌زاده[۲]، آرش شهریاری احمدی[۳]

۱- محمدرضا قاسمی ، استادیار گروه عمران - دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- محمد رضا توکلی زاده ، استادیار گروه عمران - دانشگاه فردوسی مشهد

۳-آرش شهریاری احمدی ، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه– دانشگاه سیستان و بلوچستان

خلاصه

یکی از روش‌های تقویت و مقاوم سازی سازه استفاده از پلیمرهای مسلح با الیاف یا FRP می‌باشد. لذا در این پژوهش به بررسی تقویت خمشی تیرهای بتن مسلح با آنها پرداخته شد و پارامترهای موثر در تقویت خمشی و رفتار سازه لحاظ گردیده‌اند. از جمله این پارامترها می توان به راستای الیاف هر لایه نسبت به محور طولی تیر، تعداد لایه‌ها، ضخامت لایه‌ها، جنس الیاف، و سایر پارامترهای مربوط به ویژگی‌های عضو بتنی چون مقاومت فشاری بتن و سطح مقطع میلگردهای طولی اشاره نمود که در این تحقیق به روش اجزا محدود و به کمک نرم افزار ANSYS v.۱۰ مورد بررسی قرار گرفتند. در ادامه کامپوزیت‌های خاص که به صورت بافته شده در سه جهت (Triaxial) تهیه می‌شوند و به تازگی در صنعت مورد توجه قرار گرفته‌اند، بررسی شدند. برای این منظور استفاده از نرم افزار کمکی MATLAB و نرم افزار اجزای محدود ANSYS جهت تحلیل‌های عددی بکار گرفته شد .در پایان نتایج حاصل از تقویت خمشی این نوع کامپوزیت‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

کلمات کلیدی: مدلسازی، مقاوم سازی، FRP، شکل پذیری، Triaxial

۱. مقدمه

امروزه در دنیا بسیاری از سازه های زیر بنایی که در گذشته ساخته شده اند نیاز به ترمیم و تقویت سازه ای دارند. یکی از روشهای جدید ترمیم و تقویت سازه ها، استفاده از مواد کامپوزیتی می باشد. این مواد کامپوزیتی به صورت پلیمرهای مسلح شده با الیاف می باشد. این مواد با استفاده از چسب بر روی اجزای سازه ای چسبانده می شود. این پلیمرهای مسلح شده با الیاف شامل الیاف با مقاومت بالا می باشند که در یک رزین پلیمری بنام زمینه قرار داده شده است. برخی از مزایای پلیمرهای مسلح شده، مقاومت در برابر خوردگی، نارسانا بودن، غیر مغناطیسی بودن، نسبت مقاومت بالا به وزن، راحتی نصب و هزینه پایین مراقبت می باشد. استفاده از مواد مرکب در ابتدا به دلیل قیمت بالای مواد اولیه و هزینه ساخت، به کندی صورت گرفت، اما مزایای این مواد نسبت به مصالح مرسوم مصرفی در صنعت ساختمان با وجود هزینه های بالای ساخت سبب افزایش کاربرد آنها شده است، به طوری که علاوه بر موارد فوق درتعمیر و تقویت سازه های بنایی نیز از آنها استفاده می شود.[۱،۲]

ما در این مقاله به بررسی رفتار تیرهای بتن مسلح تقویت شده با FRP به کمک روش های عددی می پردازیم. بدون شک روش اجزاء محدود انقلابی در صنعت جهان و نحوهٔ نگرش به تحلیل و طراحی به وجود آورد . قابلیت مدل سازی فرآیند های واقعی صنعتی با کمترین ساده سازی ها، توانمندی روش در ارائه نتایج قابل اطمینان، کاهش هزینه های سنگین تست های عملی در فرآیند های طراحی، سرعت بالای روش در حل مسائل و بالاخره افزایش قابلیت اطمینان و ایمنی در طراحی را باعث گردید تا این روش به عنوان جزء لاینفک پیشرفت صنعتی در آید. در میان نرم‌افزارهای عمومی اجزاء محدود، نرم‌افزارهای معتبری چون NASTRAN , ABAQUS و ANSYS به چشم می‌خورد که دارای قابلیت های بالایی می باشند. [۳]

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲. تقویت خمشی تیرهای بتن مسلح

پژوهشگران زیادی در ۲۰ سال اخیر رفتار تیرهای بتنی تقویت شده با ورق‌های **FRP** را مورد بررسی قرار داده اند [*۴،۵،۶،۷*]. این پژوهشگران به اتفاق استفاده از این مواد را برای ترمیم و تقویت تیرهای بتنی مسلح بسیار مفید دانسته و چندین مدل برای پیشبینی رفتار و حالت های فروپاشی ارائه داده اند. داده های تجربی هماهنگی مناسبی با پیشبینی و مدل‌های ارائه شده داشته‌اند. با توجه به تحقیقات انجام شده توسط محققان، استفاده از مواد پلیمری الیافی برای تقویت و ترمیم خمشی تیرهای بتن مسلح به عنوان ماده ای مؤثر، اثبات شده است. با وجود اینکه تیرهای تقویت شده، بار نهایی بیشتری نسبت به تیرهای تقویت نشده تحمل می نمایند، اما انعطاف پذیری تغییرمکانی این تیرها کاهش می یابد.

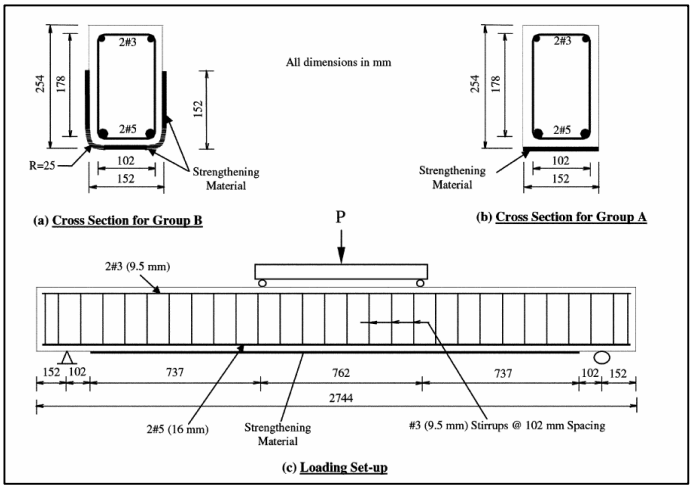
کاچالوف مدل اجزاء محدود تیر های بتنی تقویت شده با مواد **FRP** را با استفاده از نرم افزار **ANSYS** طراحی نمود. به دلیل وجود تقارن در تیر اصلی یک چهارم تیر مدل شد [*۸*]. برای حل معادلات و به دست آوردن نمودار بار- تغییر مکان تیر مورد مطالعه از روش تحلیل غیر خطی نیوتن- رافسون استفاده شد. به خاطر رفتار غیر خطی بتن مسلح، همگرایی مسأله بسیار مشکل بود. به همین دلیل در تحلیل این مدل گامهای بارگذاری متفاوت بود. زمانی که رفتار مسأله خطی بود، مقدار افزایش بار، زیاد ولی در مرحله ایجاد ترک وتسلیم آرماتورهای داخل بتن شدت اعمال بار کمتر می شد .

۳. مدلسازی

تحقیق حاضر به بررسی رفتار خمشی تیرهای بتن مسلح تقویت شده با FRP می پردازد. در ابتدا برای تشخیص صحت رفتار مدل های ارائه شده در این مقاله از نتایج ارائه شده در تحقیقات آزمایشگاهی Nabil F. Grace و همکارانش استفاده می کنیم [*۹*]. سپس به تاثیر تغییرات پارامترهای مختلف آن تحت عنوان آنالیز حساسیت می پردازیم. در انتها تیرهای تقویت شده با کامپوزیت های Triaxial، Hybrid و Triaxial-Hybrid مدلسازی و آنالیز می گردد و نتایج حاصل مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.برای انجام مدلسازی ها به روش اجزا محدود از نرم افزار Ansys **v.۱۰** استفاده شد. در مدلسازی ها از المان سه بعدی شش وجهی هشت گرهی برای المان بندی بتن (solid ۶۵)، المان سه بعدی شش وجهی هشت گرهی برای المان بندی پلیت های تکیه گاهی (solid ۴۵)، المان یک بعدی دو گرهی برای المان بندی آرماتورهای مسلح کننده (link ۸)، المان سه بعدی لایه ای شش وجهی هشت گرهی برای المان بندی صفحات کامپوزیت ارتوتروپیک (solid ۴۶) و از المان سه بعدی شش وجهی هشت گرهی برای المان بندی صفحات کامپوزیتی انایزوتروپیک (solid ۶۴) استفاده شد.

٤. تشخیص صحت رفتار مدل های ارائه شده

مشخصات هندسی تیر آزمایشگاهی در شکل (۱) نشان داده شده است. برای تشخیص صحت رفتار مدل نتایج حاصل بارگذاری این تیر در سه حالت با نتایج حاصل از مدل مقایسه شد که شامل۱) حالت تیر تقویت نشده؛ ۲) حالت تیر تقویت شده با CFRP و ۳) حالت تیر تقویت شده با تسمه فولادی می باشد . این مقایسه نشان می دهد از نظر بار تسلیم و بار نهایی و همچنین شکل پذیری تطابق بسیار خوبی بین نتایج آزمایشگاهی و مدل اجزا محدود ارائه شده وجود دارد که در جداول (۱-۳) آورده شده است.



شکل۱- شمای هندسی نمونه‌های آزمایشگاهی پژوهش مرجع[۷]

جدول ۱-مقایسه رفتار تیر کنترل در ۲ حالت آزمایشگاهی و تحلیل عددی

تیر کنترل	بار تسلیم (kN)	تغییر مکان در بار تسلیم(mm)	بار نهایی (kN)	تغییر مکان در بارنهایی(mm)	شکل پذیری
آزمایشگاه	۷۷	۱۵	۸۷	۴۴	۲,۷۵
آنالیز عددی	۷۸	۱۲,۷۸	۸۸,۵	۳۵,۵	۲,۷۷
درصد خطا	%۱	%۱۴	%۱	%۱۸	%۰~

جدول ۲-مقایسه رفتار تیر تقویت شده با تسمه فولادی در ۲ حالت آزمایشگاهی و تحلیل عددی

تیر تقویت شده با صفحه فولادی	بار تسلیم (KN)	تغییر مکان در بار تسلیم(mm)	بار نهایی (KN)	تغییر مکان در بار نهایی(mm)	شکل پذیری
آزمایشگاه	۱۱۹	۱۶	۱۲۱	۳۴	۲,۱۳
آنالیز	۱۱۵	۱۴,۵	۱۲۱	۳۰,۵	۲,۱
درصد خطا	%۲	%۸,۵	%۰	%۱۰	%۰~

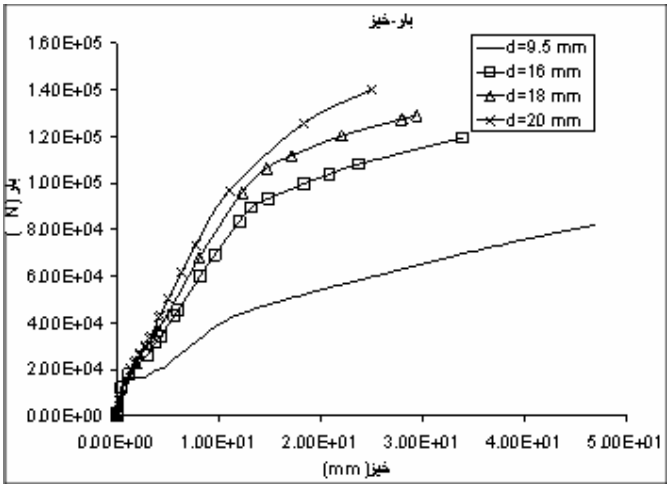
جدول ۳-مقایسه رفتار تیر تقویت شده با ۴ لایه CFRP در ۲ حالت آزمایشگاهی و تحلیل عددی

تیر تقویت شده با ۴ لایه CFRP	بار تسلیم(KN)	تغییر مکان در بار تسلیم(mm)	بار نهایی (KN)	تغییر مکان در بار نهایی(mm)	شکل پذیری
آزمایشگاهی	۱۱۹	۱۷	۱۴۱	۲۹	۱,۶۱
آنالیز عددی	۱۱۰	۱۴,۵	۱۵۰	۲۶,۵	۱,۷۵
درصد خطا	%۷	%۱۴	%۶	%۸	%۸

۵. بررسی اثر عوامل مختلف

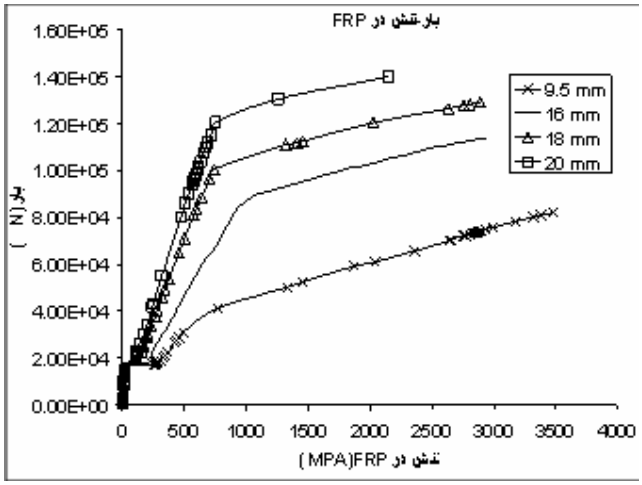
آرماتورهای کششی

برای بررسی اثر قطر میلگردهای کششی ، تیر بتنی مسلح شده با میلگرد به قطرهای مختلف ۹,۵ ، ۱۶,۰ ، ۱۸,۰ و ۲۰,۰ میلیمتر وتقویت شده با یک لایه CFRP (۱ جهته) مدلسازی و مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج آنالیز نشان می دهد که با افزایش قطر میلگرد کششی مقدار بار تسلیم و بار نهایی افزایش قابل توجهی پیدا می کنند ولی شکل پذیری سازه کاهش می یابد. شکل (۲) نشان می دهد که تیر مسلح شده به صورت کم فولاد (قطر ۹,۵ میلیمتر) در مرز تبدیل رفتار الاستیک به الاستوپلاستیک از خود تغییر مکان قابل توجهی بدون افزایش بار وارده نشان می دهد. همچنین نمودار تنش در ورق CFRP-بار (شکل ۳) بیانگر افزایش قابل ملاحظه تنش در CFRP بدون افزایش بار در مرحله ترک خوردگی (و تبدیل رفتار



شکل ۲- تغییرات خیز وسط دهانه تیر نسبت به بار وارده برای نسبت میلگردهای مختلف

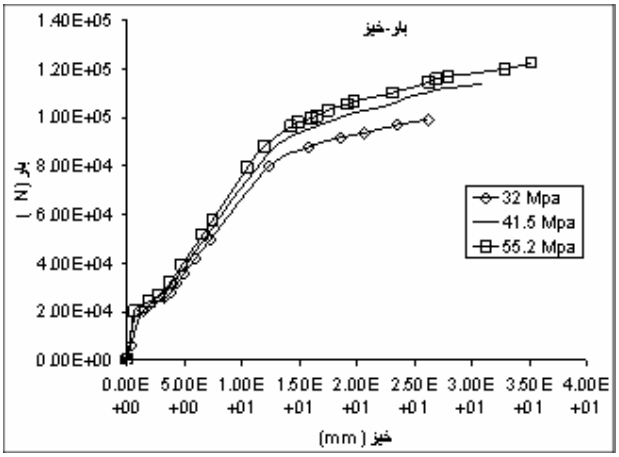
کشسان به ناکشسان) می باشد.



شکل۳- تغییرات تنش در FRP نسبت به بار وارده برای نسبت میلگردهای مختلف

مقاومت فشاری بتن

برای بررسی اثر مقاومت فشاری بتن بر روی رفتار تیر بتن مسلح تقویت شده با FRP ، مدلسازی و انالیز را بر روی نمونه های با مقاومت فشاری مختلف انجام می دهیم.نتایج شکل (۴) نشان می دهدکه با افزایش مقاومت فشاری بتن، بار تسلیم، بار گسیختگی و شکل پذیری در تیر بتن مسلح تقویت شده با یک لایه CFRP (تک جهته)افزایش می یابد. برای بتن مقاومت فشاری های ۳۲,۰، ۴۱,۵ و ۵۵,۲ مگا پاسکال در نظر گرفته شد.

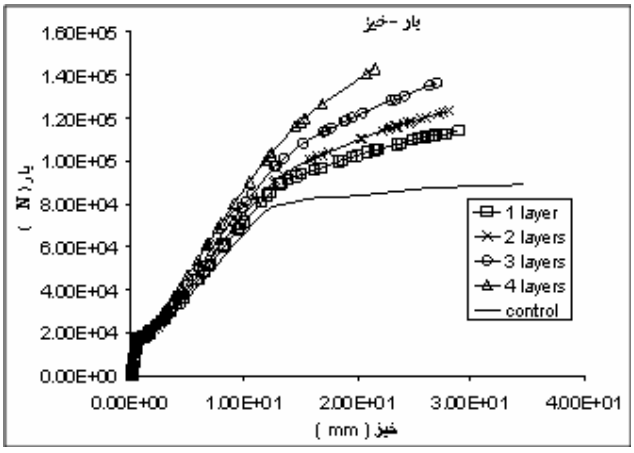


شکل۴- تغییرات خیز وسط دهانه تیر نسبت به بار وارده برای بتن با مقاومت های مختلف

ضخامت FRP (تعداد لایه ها)

برای بررسی اثر تعداد لایه ها ویا ضخامت صفحات کامپوزیت در رفتار و مقاومت سازه ،تیر بتن مسلح را با تعداد لایه های مختلف (۱ ، ۲ ، ۳ و۴ لایه) تقویت می کنیم و هر تیر را تحلیل می کنیم.

نمودارهای شکل (۵) نشان می دهد که با افزایش تعداد صفحات کامپوزیت بار تسلیم و بار گسیختگی سازه افزایش پیدا می کند ولی شکل پذیری کاهش می یابد.

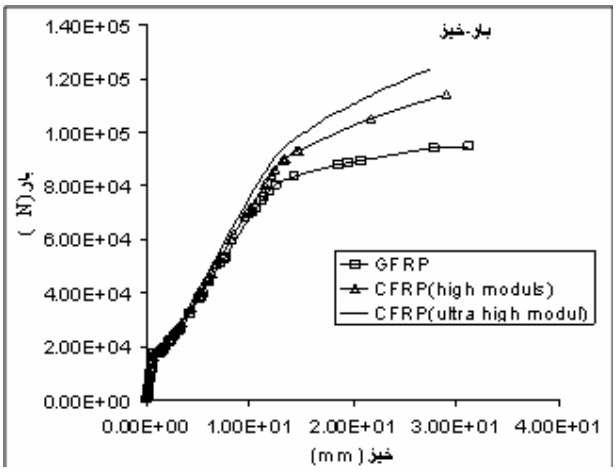


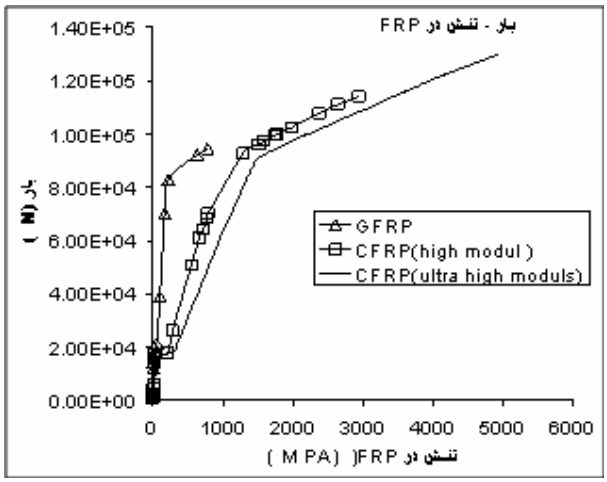
نمودار۴- تغی

شکل۵- تغییرات

اثر نوع وجنس الیاف درکامپوزیت

برای بررسی اثر نوع و جنس کامپوزیت تقویت کننده بر روی رفتار و مقاومت سازه ، تیر مزبور را با کامپوزیتهای مختلف وبا ضخامت یکسان، تقویت و سپس آنالیز می کنیم. . شکل (۶)نشان می دهد که با افزایش مدول الاستیسیته FRP بار تسلیم و بار نهایی سازه افزایش یافته ولی رفتار سازه تردتر می شود. . افزون بر آن شکل (۷) بیانگر نرخ تغییرات تنش در ورق FRP با الیاف مختلف است و نشان می دهد که تنش در FRP تا مرحله ناکشسان در مقایسه با کامپوزیتهای دارای مدول الاستیسیته بالاتر، کمتر می باشد.

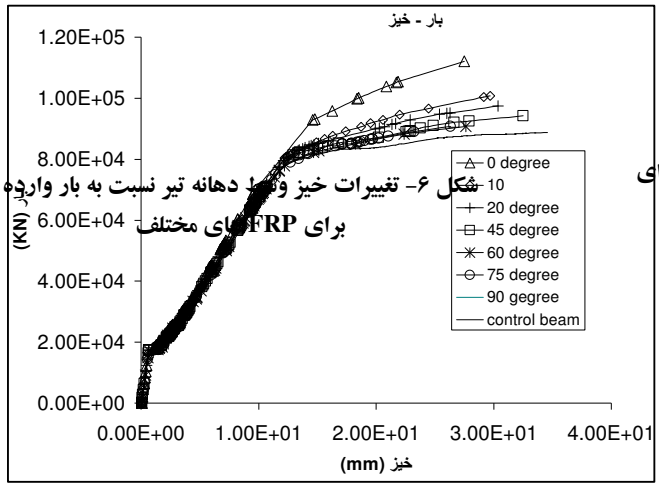




جهت و راستای الیاف

برای بررسی اثر راستا و جهت الیاف بر رفتار و مقاومت خمشی تیر بتن مسلح، تیر بتنی مورد نظر که با ۱ لایه CFRP تقویت شده است را مورد بررسی قرار داده و چرخش الیاف را نسبت به محور طولی تیر به اندازه ۰ ، ۱۰،۲۰ ، ۴۵ ، ۶۰ ، ۷۵ و ۹۰ درجه در نظر گرفته شد.

نتایج در شکل (۸) نشان میدهد که افزایش جهت گیری الیاف نسبت به محور طولی تیرسبب کاهش بار تسلیم وبار گسیختگی خواهد شد. نکته قابل توجه ای که از نمودارها برداشت می شود اینستکه تا زاویه ۴۵ درجه نرخ تغییرات کاهش بار تسلیم و بار نهایی سازه محسوس می باشد و با افزایش جهت گیری الیاف فراتر از زاویه ۴۵ درجه تغییرات چندانی در بار تسلیم وبار نهایی سازه دیده نمی شود و نمودارها تقریبا بر هم منطبق هستند. شکل پذیری با افزایش جهت گیری تا زاویه ۴۵ درجه افزایش و پس از آن به تدریج کاهش می یابد تا به یک مقدار ثابت برسد.



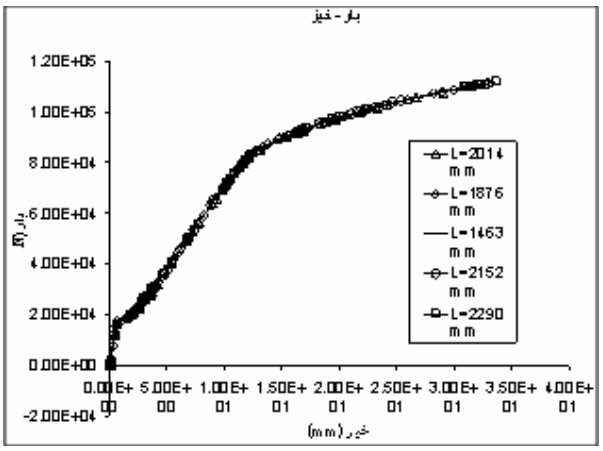
شکل ۶- تغییرات خیز وسط دهانه تیر نسبت به بار وارده برای FRP های مختلف

شکل ۷- تغییرات تنش در FRP نسبت به بار وارده برای FRP های مختلف

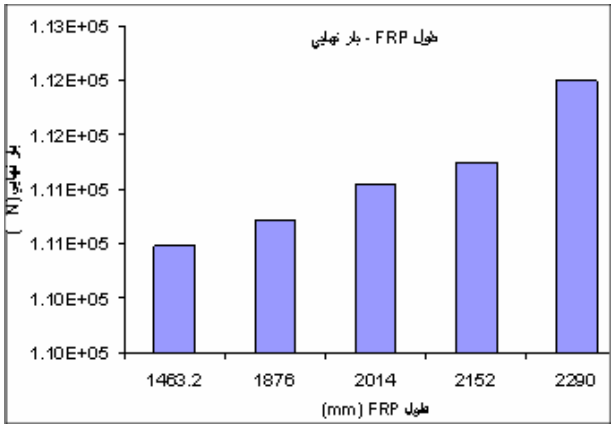
شکل ۸- تغییرات خیز وسط دهانه تیر

طول FRP

برای بررسی اثر طول ورقهای FRP و محل قطع آنها بر روی رفتار و مقاومت خمشی سازه، تیر بتنی مورد نظر با یک لایه CFRP و با طول های متفاوت تقویت خمشی و تحلیل گردید. با توجه به نمودارهای شکل های (۹) و (۱۰) مشاهده می شود که افزایش طول FRP تاثیر چندانی بر روی بار تسلیم و افت تحت آن بار نداشته و فقط بار نهایی سازه را افزایش داده و باعث افزایش نسبی انعطاف‌پذیری رفتار سازه می‌شود. با افزایش هر ۱ میلیمتر طول FRP مقدار ۱,۸۴ کیلونیوتن بر مقدار بار نهایی تیر بتن مسلح افزوده می شود. همچنین با افزایش ۵۶,۵ درصدی طول FRP مقدار ۱,۳۸ درصد بر مقدار بار نهایی تیر بتن مسلح افزوده می شود



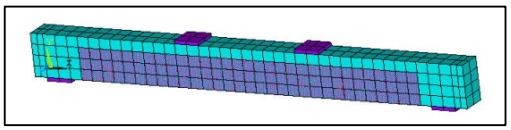
شکل ۹- تغییرات خیز وسط دهانه تیر نسبت به بار وارده برای FRP با طول های مختلف



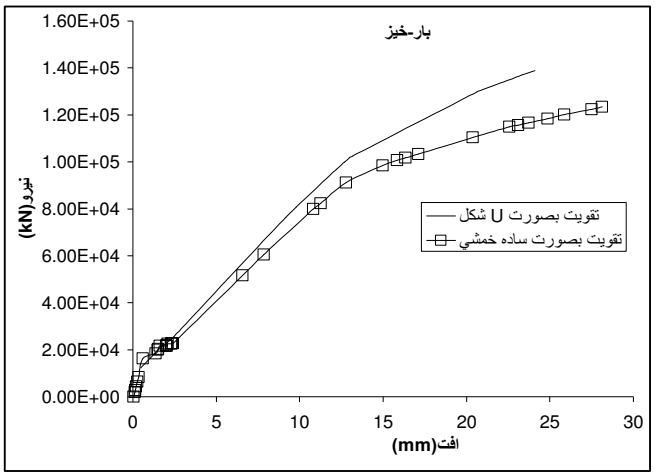
شکل ۱۰- تغییرات بار نهایی تیر نسبت به طول مختلف ورق های FRP

صفحات تقویتی جانبی

نتایج و نمودار شکل (۱۱) نشان می دهد که تقویت خمشی به صورت U شکل(۱۲) مقاومت خمشی سازه را به مراتب بیشتر از حالت تقویت به صورت خمشی ساده می کند ولی رفتار سازه را ترد تر می کند.برای هر ۲ حالت ، ازکامپوزیت کربنی(CFRP) استفاده شد.

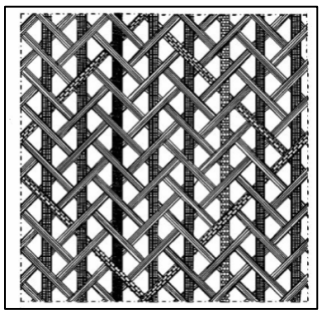


شکل۱۲-شمای تقویت تیر بتنی به صورت U شکل



شکل ۱۱- تغییرات ح

۶. مدلسازی تیرهای تقویت شده با کامپوزیت ها ی بافته شده در سه جهت (Triaxial)



شکل۱۳- الیاف در کامپوزیت بافته شده سه جهته

کامپوزیت های بافته شده سه جهته که به تازگی در صنعت کامپوزیت مورد توجه واقع شده است بر خلاف کامپوزیت های تک جهته که در آن فقط از یک نوع الیاف و در یک جهت مشخص استفاده می شود، دارای الیاف در سه جهت مختلف و با زاویه های مختلف می باشد. متداوالترین آنها در بحث تقویت خمشی و برشی تیرهای بتنی با ورق های کامپوزیتی به صورت صفحه های FRP بافته شده سه جهته با زاویه الیاف ۴۵+، ۴۵- و صفر درجه می باشد (شکل۱۳). این نوع کامپوزیتها با توجه به خصوصیات مکانیکی آنها بر خلاف کامپوزیتهای یک جهته (که از دسته مواد اورتوتروپیک محسوب می شوند) دارای رفتار انایزوتروپیک می باشند و در بحث مدلسازی این مواد بایستی از المانی استفاده کرد که این قابلیت ارائه چنین رفتاری را داشته باشد و المان ۶۴ SOLID مناسبترین المان می باشد[۱۰] .

مدلسازی ماده مورد نظر بعنوان یک ماده انیزوتروپیک در نرم افزار ANSYS با تشکیل ماتریس سختی متقارن که شامل ۳۶ درایه می باشد میسر است. بدست آوردن درایه های این ماتریس سختی ۶*۶ با توجه به پیچیدگی مساله به راحتی قابل محاسبه نبود که سرانجام پس از صرف وقت فراوان وتحقیق زیاد با استفاده از روابط و منابع موجود[۱۱] منجر به تهیه و تنظیم برنامه ای جامع و کامل با استفاده از نرم افزار MATLAB گردید. از طرفی می دانیم که مواد ایزوتروپیک و اورتوتروپیک حالتهای خاص مواد انیزوتروپیک می باشند. پس بنا به توضیحات فوق ما می توانیم کامپوزیت های یکطرفه را به عنوان یک ماده Anisotropic تعریف کنیم و از المان ۶۴ solid استفاده کنیم.

$$\begin{bmatrix} 1.1217 & 0.0388 & 0.0388 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0388 & 0.10725 & 0.0314 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0388 & 0.03147 & 0.10725 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.03789 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0560 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.056 \end{bmatrix} \times 10^5$$

شکل۱۴- ماتریس سختی برای کامپوزیت بافته شده سه جهته

در این قسمت نیز برای تشخیص صحت مدلسازی از مقایسه مدل اجزا محدود و نتایج آزمایشگاهی استفاده نمودیم [۹].

جدول (۴) تطابق بسیار خوبی بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از مدل اجزا محدود ارائه شده نشان می دهد. همانطور که قبلا ذکر شد ماتریس سختی ورودی نرم افزار Ansys با استفاده از محاسبات انجام شده به کمک نرم افزار MATLAB بر اساس

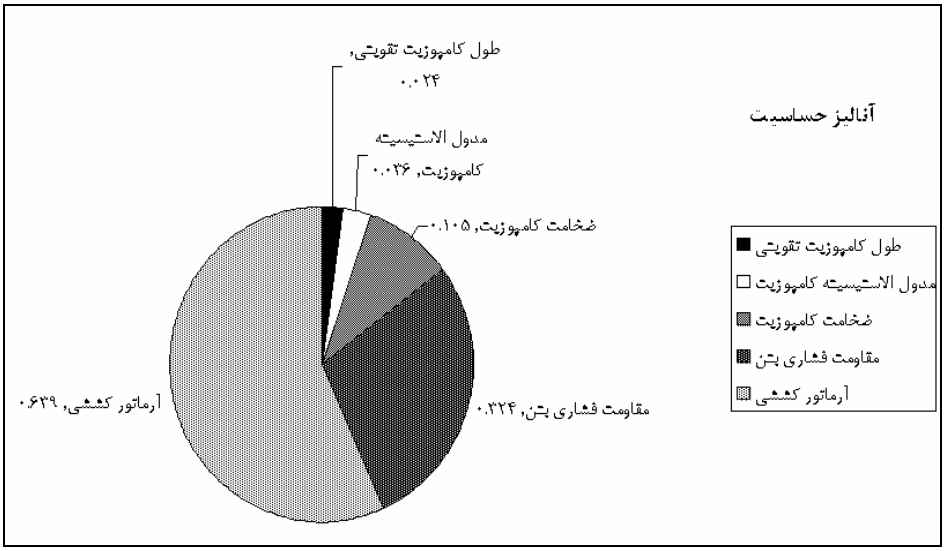
مشخصات کامپوزیت مورد نظر (جنس، درصد، جهت و مشخصات مکانیکی هر دسته از الیاف به کار رفته) به دست آمد.

جدول ۴-مقایسه رفتار تیر تقویت شده با Triaxial FRP در ۲ حالت آزمایشگاهی و تحلیل عددی

TRIAXIAL BRAIDED FRP	بار تسلیم(KN)	تغییر مکان در بار تسلیم(mm)	بار نهایی(KN)	تغییر مکان در بار نهایی(mm)	شکل پذیری
آزمایشگاهی	۱۱۳	۱۸	۱۲۴	۳۶	۱,۹۵
آنالیز عددی	۱۰۲	۱۴	۱۳۷	۲۸	۱,۹۸

۷. آنالیز حساسیت

شکل(۱۵) تاثیر پارامترهای مختلف بر روی بار نهایی نشان داده شده است. بیشترین تاثیر را میزان میلگرد کششی و کمترین اثر مربوط به طول ورق های کامپوزیت مصرفی است. مشاهده می شود که با افزایش ۱٪ میلگرد کششی مقدار ۰,۶۳۹ درصد افزایش بار گسیختگی و با افزایش ۱ درصد طول کامپوزیت تقویتی ۰,۰۲۴ درصد افزایش بار گسیختگی مشاهده می شود. ذکر این نکته مهم است که با افزایش زاویه انحراف الیاف بارگسیختگی کاهش یافت.



شکل ۱۵- نمودار حساسیت بار نهایی به پارامترهای مختلف مورد بررسی

۸. نتیجه گیری:

- با افزایش قطر میلگرد کششی مقدار بار تسلیم و بار نهایی افزایش قابل توجهی پیدا می کند ولی شکل پذیری سازه کاهش می یابد. بیشترین اثر بر روی رفتار تیر به تغییرات این پارامتر بستگی دارد. همچنین افزایش قابل ملاحظه تنش در ورق های FRP بدون افزایش بار در آستانه ترک خوردگی (و تبدیل رفتارکشسان به ناکشسان) مشاهده می شود.
- با افزایش مقاومت فشاری بتن، بار تسلیم، بار گسیختگی و شکل پذیری در تیر بتن مسلح تقویت شده با FRP افزایش می یابد.
- با افزایش تعداد صفحات کامپوزیت بار تسلیم و بار گسیختگی سازه افزایش پیدا می کند ولی شکل پذیری کاهش می یابد.
- کامپوزیت با مدول الاستیسیته بالا بار تسلیم و بار نهایی سازه را افزایش می دهد، ولی رفتار سازه را تردتر می کند.
- با افزایش جهت گیری الیاف نسبت به محور طولی تیر با کاهش بار تسلیم و بار نهایی روبرو هستیم. این تغییرات برای زاویه های کوچکتر از ۴۵ درجه محسوس می باشند. میزان شکل پذیری، تا زاویه ۴۵ درجه رو به افزایش و پس از آن رو به کاهش تدریجی و سپس به مقداری ثابت میرسد.
- افزایش طول FRP تاثیر چندانی بر روی بار تسلیم و خیز در بار تسلیم سازه نداشته و فقط سبب افزایش بار نهایی سازه شده و همچنین نرم تر شدن رفتار تیر می شود. . کمترین اثر بر روی ظرفیت تیر به تغییرات این پارامتر بستگی دارد.
- تقویت خمشی به صورت U شکل ظرفیت خمشی سازه را به مراتب بیشتر از حالت تقویت خمشی ساده افزایش می دهد ولی باعث ترد شدن رفتار سازه می گردد.
- تیرهای تقویت شده با کامپوزیت های بافته شده سه جهته در مقایسه با کاپوزیت های تک جهته شکل پذیری بیشتری از خود نشان می دهند. همچنین کامپوزیت های بافته شده سه جهته علاوه بر افزایش ظرفیت خمشی تیرها ظرفیت برشی آن ها را نیز افزایش می دهند.

۹. مراجع

۱. امیر شمالی **"تقویت برشی تیرهای بتن مسلح بکمک مواد مرکب "**پایان نامه کارشناسی ارشد عمران،دانشگاه فردوسی مشهد،مردادماه ۱۳۸۵

۲. Tavakkolizadeh. M., and Saadatmanesh. H. "**Strengthening of Steel-Concrete Composite Girders Using Carbon Fiber Reinforced Polymers Sheets**". *Journal of* Structural Engineering. ASCE, Vol. ۱۲۹, No.۱, pp. ۳۰-٤۰, January, (۲۰۰۳).

۳. Colombi,P., and Poggi, C. "**An Experimental, Analytical and Numerical Study of The Static Behavior of Steel Beams Reinforced by Pultruded CFRP Strips**". Composites, part B ۳۷, pp ۶۴-۷۳ (۲۰۰۶).

۴. Nabil F.Grace,Wael F.Ragheb,George Abdel-sayed "**Strengthening of Concrete Beams Using Innovative Ductile Fiber-Reinforced Polymer Fabrics**" ACI Structural Journal, V.۹۹.No.۵, September-۰ctober ۲۰۰۲

۵. Saadatmanesh, H. and Ehsani, M.R. (۱۹۹۱) "**RC Beams Strengthened with GFRP Plates. I: Experimental Study**", Journal of Structural Engineering, VOl.۱۱۷,No.۱۱,pp.۳۴۱۷-۳۴۳۳

۶. Saadatmanesh, H. and Malek, A.M. (۱۹۹۸) "**Design Guidelines for Flexural Strengthening of RC Beams with FRP Plates**" , journal of Composite for Construction, ASCE, Vol.۲,No. ۴,pp. ۱۵۸-۱۶۴

۷. Shahawy,M.A., Arockiasamy, M., Beitelman, T. and Sowrirajan, R.(۱۹۹۶) "**Reinforced Concrete Rectangular Beams Strengthened with CFRP Laminates**", Composites: part B,Vol.۲۷B, PP.۲۲۵-۲۳۳

۸. Kachlakev, D.I.; Miller, T.; Yim, S.; Chansawat, K.; Potisuk, T., "**Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures Strengthened With FRP Laminates"**. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA and Oregon State University, Corvallis, OR for Oregon Department of Transportation, May. (۲۰۰۱).

۹. Nabil F.Grace, Wael F.Ragheb, George Abdel-sayed "**Flexural and Shear Strengthening of Concrete Beams Using New Triaxially Braided Ductile Fabric**" ACI Structural Journal,V.۱۰۰.No.۶,November-December ۲۰۰۳

۱۰. **آرش** شهریاری، **" تحلیل عددی رفتار خمشی تیرهای بتن مسلح تقویت شده با مواد کامپوزیتی FRP با استفاده از روش اجزا محدود "** پایان نامه کارشناسی ارشد عمران،دانشگاه سیستان و بلوچستان ،خرداد ۱۳۸۷

۱۱. Antonio Miravete, University Of Zaragoza, Spain **"۳D Textile Reinforcements Composite Materials",** Wood Head Publishing Limited, Cambridge England (۲۰۰۰)