

بررسی رفتار شکست سازه‌های قوسی تولید شده با استفاده از فناوری بتن پارچه‌ای

محمدرضا شالباف^۱ / سیدمهدی حجازی^۱

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی رفتار خمشی و رشد ترک در سازه‌های قوسی شکل بتن الیافی تهیه شده از پارچه‌های اسپیسر و پارچه‌های بافته شده شیشه می‌باشد.

با استفاده از یک ورق خمیده به عنوان قالب قوسی، نمونه‌های مختلف تقویت شده با یک لایه پارچه اسپیسر، دو لایه پارچه اسپیسر و اسپیسر/پارچه شیشه، با مدت زمان آبرسانی ۷ روزه تهیه شدند. با استفاده از آزمون خمش سه نقطه‌ای، استحکام خمشی و رشد ترک در راستای ضخامت نمونه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج نشان داد با دو لایه اسپیسر، ماکزیمم نیروی خمشی سازه به دلیل افزایش مقدار سیمان و الیاف افزایش یافته ولی با توجه به ضخامت بالاتر، استحکام خمشی آن در مقایسه با یک لایه اسپیسر کمتر است. تفاوت معناداری بین استحکام خمشی نمونه‌های تک لایه اسپیسر و نمونه‌های اسپیسر/شیشه مشاهده نشد. کمترین نرخ رشد آسیب و بیشترین تنش برای نمونه اسپیسر/پارچه شیشه حاصل شد.

۱- مقدمه

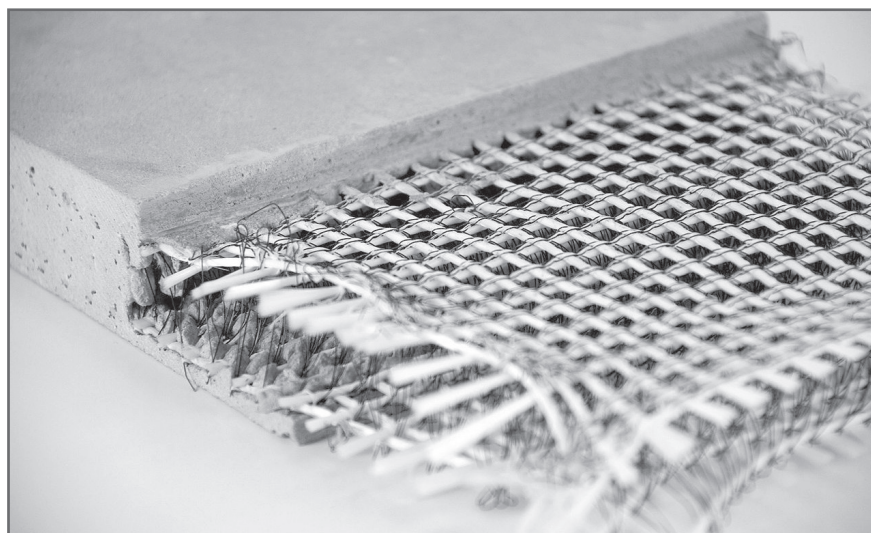
یک ماده شکل‌پذیر جهت تولید سطوح مقاوم با انحنای زیاد را فراهم می‌کند. امروزه استفاده از الیاف شیشه، پلی پرو پیلن، فولاد و یا کربن، برای تولید انواع بتن‌های کامپوزیتی در کاربردهای مختلف صنعتی به ویژه ساختمان مورد توجه قرار گرفته است.

بتن الیافی نوعی کامپوزیت است که با به کارگیری الیاف به عنوان تقویت‌کننده داخل مخلوط بتن، مقاومت کششی و فشاری مطلوب حاصل می‌شود. این ترکیب کامپوزیتی، یکپارچگی و پیوستگی مناسبی داشته و امکان استفاده از بتن به عنوان

بتن معمول دارای مقاومت فشاری زیادی می‌باشد، اما مقاومت کششی آن نسبت به مقاومت فشاری آن بسیار کمتر می‌باشد؛ به همین دلیل از الیاف و بتن الیافی برای افزایش مقاومت کششی بتن استفاده می‌شود. برای افزایش مقاومت کششی بتن می‌توان از میلگرد نیز استفاده کرد که این نوع بتن، بسیار سنگین است اما هنگامی که از الیاف برای افزایش مقاومت کششی بتن استفاده می‌شود، بسیار سبک‌تر از بتن آرماتور می‌باشد زیرا میلگرد چگالی بیشتری نسبت به الیاف دارد و باعث سنگین شدن بتن می‌شود.

با توجه به خواص مطلوبی که بتن الیافی در سازه‌ها با هندسه پیچیده نشان داده است، پتانسیل بالایی در طراحی سازه‌های قوسی شکل دارد.

در طراحی این نوع سازه‌ها، لایه‌های بیرونی و داخلی سازه به صورت قوسی می‌باشد. برای پوشش این سازه‌ها اغلب از شیشه، ورقه‌های فولادی و پنل سقفی استفاده می‌شود.





تحت خمش سه نقطه‌ای قرار داده شدند. این آزمون با استفاده از دستگاه Hounsfield مدل H25 KS ساخت کشور انگلیس انجام گرفت (شکل ۱-ب) در این پژوهش از لودسل ۱۰۰۰۰ نیوتن و نرخ جابه جایی ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد.

با در نظر گرفتن فاصله موثر بین دو تکیه گاه ۲۴۰ میلی‌متر، نیرو در مرکز نمونه و از بالا اعمال شد. هر نمونه با سه تکرار مورد آزمایش قرار گرفت. برای بررسی رشد ترک، یک شکاف عرضی در راستای ضخامت در مرکز نمونه ایجاد شد و سپس تحت آزمون خمش سه نقطه‌ای قرار گرفت. سپس با دوربین سرعت بالا (ELPH ۱۱۰ HS Canon) و سرعت فریم ۲۴۰ هرتز بر ثانیه از رشد ترک تصویربرداری شد.

۳- نتایج و بحث

استحکام خمشی به عوامل متعددی از جمله ضخامت سازه، عرض سازه، مقدار سیمان داخل هر سازه، نوع سیمان مورد استفاده، جنس الیاف موجود در داخل سازه، مقدار الیاف موجود در داخل هر سازه، مدت زمان آبرسانی به سازه و عوامل متعدد دیگری بستگی دارد.

شکل ۲-الف، نمودار میانگین نیروی خمشی و جابجایی نمونه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

نقاط مشخص شده روی نمودار، ماکزیمم نیرو و جابجایی نمونه‌های را نشان می‌دهد. نمونه مسلح شده با یک لایه اسپیسر، نیروی کمتری را در مقایسه با سایر نمونه‌ها نشان می‌دهد و در شرایطی که یک لایه دیگر به لایه اسپیسر اضافه شود، افزایش چشمگیر نیرو و کاهش جابجایی تا ماکزیمم نیرو مشاهده می‌شود در صورتی که به جای لایه اسپیسر دوم از پارچه شیشه استفاده شود، افزایش چشمگیر ماکزیمم نیرو مشاهده می‌شود. نکته قابل ملاحظه‌ای که وجود دارد تغییرات ضخامت نمونه‌ها است که باید مد نظر قرار داد. بنابراین، با محاسبه استحکام خمشی نمونه‌های قوسی شکل و با توجه به ابعاد فیزیکی نمونه‌ها، شکل ۲-ب حاصل شده است.

با مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن،



شکل ۱. الف) نمونه‌های بتنی قوسی شکل، ب) دستگاه بررسی رفتار خمشی نمونه‌های مورد استفاده در این پژوهش

Sonmez ترکیه خریداری شد.

برای اتصال پارچه اسپیسر به پارچه شیشه، از رزین پلی استر، کبالت بنفش (شتاب دهنده) و متیل اتیل کتون پروکساید (هاردنر) تولید شرکت فارس شیراز استفاده شد.

برای تهیه قالب سازه قوسی شکل، از ورق خمیده آلومینیومی به طول ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷ سانتی‌متر استفاده شد. برای نمونه‌های تقویت شده با پارچه اسپیسر، ابتدا دور تا دور پارچه‌های اسپیسر با چسب آکواریوم درزبندی شد.

پودر سیمان همزمان با شیک کردن به درون پارچه ریخته شد تا تمام منافذ پارچه از سیمان پر شوند. سپس نمونه به صورت خم یده روی سطح ورق آلومینیومی داخل یک تشت قرار داده شد و به آرامی به داخل تشت آب اضافه شد تا نمونه کاملاً در زیر آب قرار بگیرد. در نهایت، پس از گذشت ۷ روز نمونه از آب خارج و در دمای محیط خشک شد.

برای نمونه‌های تقویت شده با پارچه شیشه و اسپیسر، پارچه شیشه با رزین پلی استر به زیر پارچه اسپیسر چسبانده و تحت فشار خشک شد.

برای تهیه چسب پلی استر ترکیب ۱ درصد کبالت نفتالات و ۲ درصد هاردنر و ۹۷ درصد رزین پلی‌استر مورد استفاده قرار گرفت و بقیه مراحل مطابق قبل انجام شد.

تمامی نمونه‌های ساخته شده (مطابق شکل ۱-الف)

وزن سازه قوسی به جای فشار مستقیم به پایین، در امتداد منحنی قوس به سمت بیرون منتقل می‌شود و توانایی آن برای تحمل باری که به صورت قائم به آن وارد می‌شود، به تکیه‌گاه بستگی دارد.

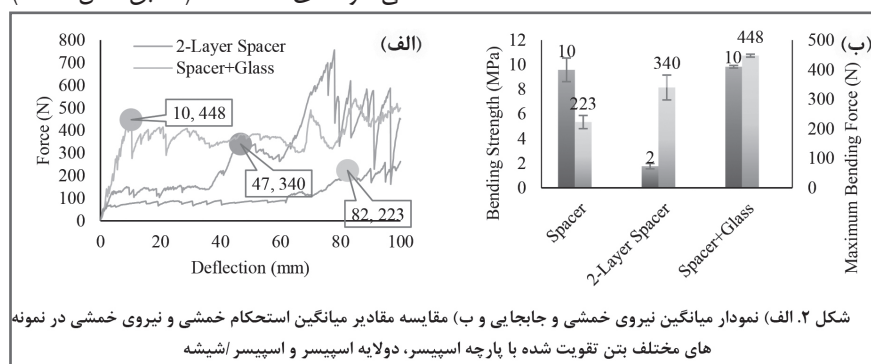
علی‌رغم تحقیقات زیادی که در زمینه بتن الیافی انجام شده، تاکنون رفتار خمشی و رشد ترک سازه‌های بتنی قوسی شکل و تقویت شده با پارچه‌های اسپیسر و پارچه‌های بافته شده شیشه مورد بررسی قرار نگرفته است.

هدف از این پژوهش، بررسی رفتار خمشی و رشد ترک در سازه‌های قوسی شکل بتن الیافی تهیه شده از پارچه‌های اسپیسر و پارچه‌های بافته شده شیشه می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

سیمان پرتلند نوع ۲ با سطح مخصوص g/cm^3 ۳۰۰۰ و وزن مخصوص g/cm^3 ۳/۱۵ از شرکت سیمان اصفهان خریداری شد.

پارچه اسپیسر از جنس پلی‌استر با ضخامت کلی ۱۲ میلی‌متر و تراکم طولی و عرضی لانه زنبوری در لایه‌های رویی و زیری ۱۲ و ۷ بر متر، اتصال‌دهنده مونوفیلamentی با قطر ۲۵۰ میکرومتر مورد استفاده قرار گرفت. پارچه شیشه دو جهته (GFRP) (صفر و نود درجه) با وزن سطحی ۴۰۰ گرم بر متر مربع و ضخامت 5 ± 775 میکرومتر از شرکت



شکل ۲. الف) نمودار میانگین نیروی خمشی و جابجایی و ب) مقایسه مقادیر میانگین استحکام خمشی و نیروی خمشی در نمونه‌های مختلف بتن تقویت شده با پارچه اسپیسر، دولایه اسپیسر و اسپیسر/شیشه



به دلیل سرش لایه‌ها نسبت به یکدیگر بر می‌گردد و مادامی که لایه زیرین کاملاً دچار شکست نشده، لایه بالایی انسجام خود را حفظ کرده و آسیب نمی‌بیند و فقط دچار جابجایی می‌شود بنابراین برای گسترش آسیب به انرژی بیشتری نیاز دارد.

۴- نتیجه گیری

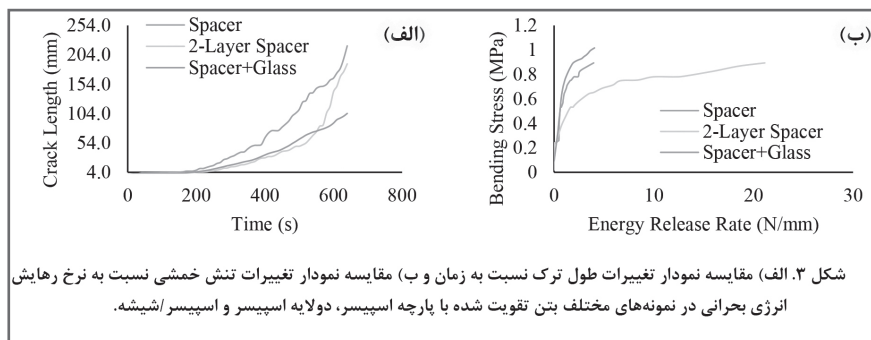
در این پژوهش، رفتار خمشی و رشد ترک در سازه‌های قوسی شکل بتن الیافی تهیه شده از پارچه‌های اسپیسر و پارچه‌های بافته شده شیشه مورد بررسی قرار گرفت.

در سازه‌های دو لایه پارچه اسپیسر ماکزیم نیروی خمشی سازه به دلیل افزایش مقدار سیمان و پارچه اسپیسر به شدت افزایش پیدا کرد و در مواردی که بار وارده به سازه زیاد می‌باشد و نیاز به استحکام بالایی می‌باشد می‌توان از این سازه دولایه استفاده کرد اما با توجه به ضخامت بالای این نوع سازه، استحکام خمشی آن در مقایسه با یک لایه اسپیسر کمتر است؛ بنابراین، افزایش تعداد لایه اسپیسر لزوماً منجر به نتایج بهتر نخواهد شد و مقرون به صرفه نیست.

اگرچه نمونه‌های مسلح شده با پارچه اسپیسر و پارچه شیشه بیشترین نیروی خمشی را از خود نشان دادند اما در مقایسه با نمونه مسلح شده با یک لایه اسپیسر، کمی ضخامت سازه را افزایش داده و در نتیجه استحکام خمشی نمونه‌های مسلح شده با یک لایه اسپیسر تفاوت معناداری با نمونه‌های مسلح شده با پارچه اسپیسر و پارچه شیشه ندارد. بنابراین استفاده از یک لایه اسپیسر برای بهبود استحکام خمشی کفایت می‌کند و اگر تحمل بارهای بیشتر ملاک باشد اضافه کردن یک لایه پارچه شیشه بهتر از اضافه کردن یک لایه پارچه اسپیسر است؛ در صورتی که ضخامت نمونه تحت کنترل باشد مسلح کردن بتن با پارچه اسپیسر و یک لایه پارچه شیشه بافته شده در زیر آن شرایط مطلوب‌تری فراهم خواهد کرد.

پی‌نوشت:

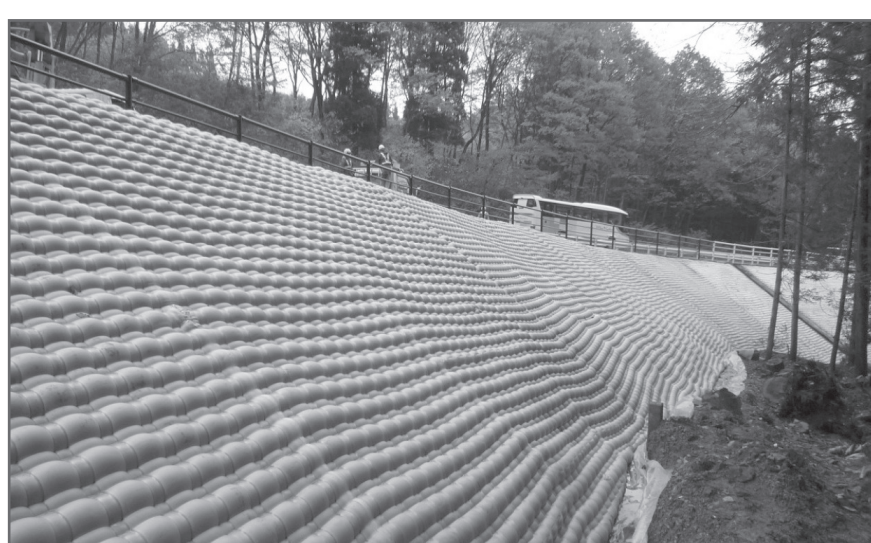
۱- دانشکده نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان



شکل ۳. الف) مقایسه نمودار تغییرات طول ترک نسبت به زمان و ب) مقایسه نمودار تغییرات تنش خمشی نسبت به نرخ رهاش انرژی بحرانی در نمونه‌های مختلف بتن تقویت شده با پارچه اسپیسر، دولایه اسپیسر و اسپیسر/شیشه.

نمونه‌ها، فقدان کنترل کافی در ضخامت نمونه‌ها است. چون حین تولید نمونه‌های اسپیسر/شیشه، ابتدا پارچه‌ها چسبانده شده و سپس سیمان ریخته شده در صورتی که اگر ابتدا سیمان تقویت شده با اسپیسر تولید شود و سپس پارچه شیشه چسبانده شود، یک راه حل مناسب برای جلوگیری از افزایش ضخامت نمونه‌ها است که در این پژوهش مورد بررسی قرار نگرفت.

با محاسبه نرخ رهاش انرژی طبق رابطه گریفیث نمودارهای شکل ۳-الف) و ب) حاصل شده‌اند. در حقیقت نرخ رهاش انرژی، انرژی لازم برای نوک ترک است که بر مقاومت ذاتی ماده غلبه کرده و رشد می‌کند.



استحکام نمونه تک لایه اسپیسر تفاوت معناداری با استحکام نمونه مسلح شده با پارچه اسپیسر و شیشه نشان نداد و نمونه مسلح شده با دو لایه اسپیسر کمترین استحکام خمشی را داشت. بر اساس علم مقاومت مصالح، نباید تفاوت معناداری بین استحکام نمونه یک لایه و نمونه دولایه اسپیسر حاصل شود اما افت چشمگیر استحکام خمشی نمونه دولایه به دلیل افزایش بیش از حد ضخامت حاصل شده است زیرا با افزایش تعداد لایه و کاهش قابلیت کنترل و موقعیت قرارگیری سیمان در سطح خمیده، سیمان به جای آنکه به داخل ساختار پارچه نفوذ کرده باشد به اطراف ریخته و یک ساختار حجیم و با چگالی کمتر حاصل شده است.

در خصوص نمونه مسلح شده با پارچه شیشه نیز، به طور کلی اضافه کردن پارچه شیشه به عنوان عامل تقویت کننده ثانویه باعث جابجایی تار خنثی شده و انتظار بهبود خواص کششی در زیر تار خنثی را داریم که موجب افزایش استحکام خمشی کلی نمونه می‌شود اما مشکل اصلی در