

بررسی تأثیر پارچه اسپیسر سه بعدی بر مقاومت خمشی و کششی بتن پارچه‌ای

سعید احمدی *

استادیار، دانشکده مهندسی و پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران.

محمد فیاض

استادیار، دانشکده مهندسی و پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران.

محمد مهدی کرمانی نژاد

پژوهشگر، دانشکده مهندسی و پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران.

عباس حاجی پور

دکتر، گروه مهندسی نساجی، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

چکیده

امروزه بتن پارچه‌ای در حوزه‌های مختلف عمران و معماری استفاده می‌شود. از این رو بهبود خواص مکانیکی این محصول به منظور افزایش دامنه استفاده از آن مورد توجه می‌باشد. در این مطالعه، تأثیر نخ و بافت پارچه اسپیسر سه بعدی بر مقاومت خمشی و کششی بتن پارچه‌ای بررسی شد. بدین منظور ۴ نمونه پارچه اسپیسر سه بعدی با نخ و طرح بافت مختلف تهیه شد و سیمان به این نمونه‌ها تزریق شد. پس از انجام عملیات هیدراتاسیون بتن پارچه‌ای، مقدار تنش شروع ترک اولیه، تنش نهایی و مقاومت کششی بدست آورده شد. نتایج نشان داد، تعداد نخ اسپیسر تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر مقدار تنش شروع ترک اولیه دارد و تقریباً با افزایش تنش شروع ترک اولیه مقدار تنش نهایی مقاومت خمشی نیز افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد، نوع نخ مورد استفاده در پارچه اسپیسر سه بعدی بر میزان مقاومت کششی تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. با افزایش قابلیت موئینگی نمونه‌ها، مقاومت کششی بتن پارچه‌ای به دلیل هیدراتاسیون بهتر بتن، افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: پارچه اسپیسر، طرح بافت، نخ اسپیسر، مقاومت خمشی، مقاومت کششی.

۱- مقدمه

محصول بتن پارچه‌ای کامپوزیتی انعطاف‌پذیر متشکل از پارچه‌های سه بعدی آغشته به پودر سیمان است که در صورت پاشیدن آب بر روی آن در مدت زمان کوتاهی سخت شده و لایه‌ای نازک، بادوام، ضد آب و مقاوم در برابر بارگذاری و نیز حریق ایجاد می‌کند. بتن پارچه‌ای در سال ۲۰۰۵ توسط مخترعان انگلیسی Brewin و Crawford اختراع شد [۱]. در آن زمان، نیاز به نوعی پناهگاه نیمه‌دائمی بود که بتوان با هزینه کم آن را ساخت. این پناهگاه از قالب بادی با پوشش ژئوتکستایل پر از سیمان تشکیل شده که در محل پروژه برپا شده، و نیازی به قالب بندی نداشته و در برابر باد، باران، برف و موارد دیگر مقاوم می‌باشد. از مزایای بتن پارچه‌ای می‌توان به افزایش سریع مقاومت، ساختار ساده و انعطاف‌پذیر، ساگاری با محیط زیست، صرفه جویی اقتصادی و مقاوم در برابر آب، آتش و خوردگی اشاره کرد. با توجه به این مزایا، از بتن پارچه‌ای جهت احداث سریع پناهگاه‌های اضطراری، تثبیت ترانشه‌ها و خاکریزها، مقاوم سازی و تعمیر سازه، آب‌بندی دیواره مخازن و تصفیه خانه‌ها، پوشش کانال‌های آب، ترمیم کالورت‌ها و خروجی سرریز سد، طراحی مبلمان و آثار هنری، و محل استقرار و نشست و برخاست بالگردها استفاده می‌شود [۲-۶].

در بسیاری از موارد، مواد با پایه سیمانی با تقویت کننده‌هایی از قبیل فولاد، انواع الیاف و غیره ترکیب می‌شوند تا به خواصی بهینه دست یابند. اما در طی چند سال گذشته، بررسی سازه‌های بتنی تقویت شده با پارچه‌ها نشان داد که پارچه‌هایی با هندسه مناسب می‌توانند عملکرد مکانیکی کامپوزیت‌های سیمانی را به دلیل افزایش پیوند پارچه-سیمان توسط مهارهای مکانیکی که توسط ساختار پارچه و هندسه نخ در پارچه ایجاد می‌شود، بهبود بخشند. طبق نظریه مقاومت مواد کامپوزیتی، عملکرد بتن پارچه‌ای با استفاده از خواص ماتریس سیمان، مقاومت پارچه اسپیسر سه بعدی و چسبندگی سطحی بین آنها تعیین می‌شود [۲، ۷].

بطور معمول پارچه‌های مورد استفاده در بتن پارچه‌ای، پارچه‌های اسپیسر سه بعدی حلقوی می‌باشند و خواص مکانیکی این پارچه‌ها تحت تأثیر نخ‌های مورد استفاده و ساختارهای مختلف بافت است. به‌عنوان مثال مقاومت فشاری پارچه متاثر از مواد نخ اسپیسر، نوع نخ اسپیسر، قطر آن، الگوی بافت و غیره است [۵، ۸-۱۲]. Du [۱۳]، Hu [۱۴]، و Jiang [۱۵] خصوصیات مکانیکی پارچه‌های

حلقوی تارری را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که نخ‌های وارد شده در پارچه تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر خواص مکانیکی پارچه دارند. Khondker و همکاران [۱۶] دریافتند که نوع و پارامترهای نخ‌های بافت تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر خواص ضربه‌ای کامپوزیت دارند. در این راستا کامپوزیت با بافت حلقوی با تراکم حلقه بیشتر خاصیت مقاومت ضربه‌ای بهتری دارد. اما موضوع بسیار مهم در خصوص کامپوزیت‌های بتنی، ایجاد ترک در این کامپوزیت‌ها می‌باشد. ایجاد ترک در کامپوزیت‌های بتنی تأثیر زیادی بر طول عمر بتن دارد. علاوه بر نیروهای خارجی، مهمترین دلیل تشکیل ترک‌های اولیه در ساختارهای کامپوزیت‌های بتنی مربوط به انقباض بتن در حین خشک شدن می‌باشد، که در حالت لایه نازک عملاً بسیار مهم می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که الیاف در کامپوزیت‌های بتنی محدودیت قابل توجهی در انقباض بتن در حین خشک شدن ایجاد می‌کنند. در واقع، محدودیت ایجاد شده توسط الیاف، توسط قدرت اتصال بین الیاف و ماتریس ایجاد می‌شود. به محض آنکه ماتریس در حال کاهش طول می‌باشد، الیاف تحت تنش فشاری قرار می‌گیرند و این در حالی است که ماتریس بتن به دلیل تنش برشی که در اثر تماس با الیاف ایجاد می‌شود، تحت تنش کششی قرار می‌گیرد. علاوه بر این، محدودیت بر انقباض بتن پارچه‌ای بیشتر توسط نخ‌های اسپیسر ایجاد می‌شود [۱۰، ۱۷، ۱۸]. در پژوهش دیگری که توسط Chen و همکارانش [۱۲] انجام شد، تأثیر الگوهای هندسی پارچه اسپیسر سه بعدی بر رفتار کششی بتن پارچه‌ای بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که الگوهای هندسی بسترهای بیرونی منسوج پارچه اسپیسر سه بعدی نقش مهمی در ظرفیت تحمل بار دارد. همچنین نتایج نشان داد، افزایش مقدار نخ‌های اسپیسر منجر به کاهش فاصله ترک‌ها و افزایش حداکثر کرنش می‌شود. علاوه بر این، با کاهش زاویه آرایش یافتگی نخ‌های تار و پود، فاصله ترک‌ها کاهش می‌یابد و حداکثر کرنش افزایش می‌یابد. عبدالمهی و همکارانش [۱۹] تأثیر پارچه سه بعدی بر رفتار انعطافی کامپوزیت‌های سیمانی را مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که استفاده از پارچه سه بعدی برای تقویت کامپوزیت سیمانی باعث افزایش مقاومت خمشی می‌شود. از طرف دیگر، با افزایش زاویه آرایش یافتگی نخ اسپیسر، مقاومت خمشی کاهش می‌یابد. در این پژوهش از ۴ پارچه اسپیسر با ویژگی‌ها و مشخصات مختلف

از قبیل طرح بافت مختلف و تعداد متفاوت نخ‌های اسپیسر استفاده



شکل ۱- نمونه‌ای از پارچه اسپیسر تولید شده

شد. پس از پر کردن پارچه‌های اسپیسر بوسیله سیمان و تزریق آب و سخت شدن بتن پارچه‌ای، مقاومت‌های خمشی و کششی نمونه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی تأثیر بافت‌های مختلف بر تنش شروع ترک اولیه، تنش نهایی و مقاومت کششی از تحلیل آماری استفاده گردید که در پژوهش‌های قبلی کمتر به آن پرداخته شده است. همچنین در این پژوهش به بررسی تأثیر نوع نخ و بافت بر خواص انتقال عمودی آب پارچه اسپیسر و رابطه آن با مقاومت کششی پرداخته شد که در پژوهش‌های قبلی به آن توجه نشده است.

جهت بررسی تأثیر مشخصات پارچه بر مقاومت خمشی و کششی بتن پارچه‌ای از ۴ نوع پارچه اسپیسر با بافت و نخ‌های مختلف استفاده شد. نوع بافت و مشخصات نمونه‌های مختلف بافته شده در جدول ۱ آورده شده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- پارچه اسپیسر

شکل ۱ تصویری از پارچه اسپیسر مورد استفاده در این پژوهش را

جدول ۱- مشخصات پارچه‌های اسپیسر سه بعدی بافته شده

کد پارچه	طرح بافت	نوع نخ		ضخامت (mm)	جرم (gr/m ²)	تعداد ردیف (1/cm ²)	تعداد رج (1/cm ²)	تراکم اسپیسر (1/cm ²)
		لایه فوقانی	لایه زیرین					
B1	این-لی زنجیری	DTY	DTY	۱۰/۷±۰/۲	۱۲۰۰±۳۰	۸	۸	۱۲۸
B2	این-لی زنجیری	DTY ^۱	FDY ^۲	۱۰/۵±۰/۱	۱۰۵۰±۲۰	۷	۸	۱۱۲
B3	این-لی زنجیری	DTY	FDY	۱۱/۲±۰/۵	۱۰۷۰±۲۰	۵	۷	۷۰
S	لوزی	FDY	FDY	۱۰/۹±۰/۲	۱۳۰۰±۵۰	۵	۷	۷۰

^۱ نخ کاملاً کشیده شده (Fully Drawn Yarn)

^۲ نخ تکسچر کشیده شده (Drawn Textured Yarn)

۲-۲- آماده‌سازی نمونه‌های بتن پارچه‌ای

جهت تهیه بتن پارچه‌ای از سیمان پرتلند تیپ ۲ با ۲٪ افزودنی فرکومننت با وزن مخصوص ۱٫۱ گرم بر سانتیمتر مکعب و pH بین ۷ تا ۸ استفاده شد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود جهت افزودن سیمان به پارچه اسپیسر سه بعدی از دستگاه ویرنه استفاده شد و سیمان و مواد افزودنی به آرامی توسط لایه متخلخل به داخل پارچه اسپیسر تزریق شد. این عمل تا پر شدن کامل پارچه اسپیسر ادامه می‌یابد. سپس با استفاده از رزین، لایه PVC بر روی پارچه اسپیسر چسبانده می‌شود تا از خروج سیمان از درون پارچه جلوگیری شود. ضمناً وظیفه این لایه آب‌بند نمودن بتن پارچه‌ای

پارچه‌های اسپیسر با استفاده از دستگاه راشل کارل مایر ساخت آلمان با شش شانه و گیج ۱۶ و ۲۸ تولید شدند. جنس تمامی نخ‌های مورد استفاده در پارچه‌های فوق پلی استر می‌باشد و نخ اسپیسر مورد استفاده در نمونه‌های B1، B2 و S، نخ مونوفیلانمنت ۳۰۰ دنیر^۱ و نخ اسپیسر مورد استفاده در نمونه B3، نخ مونوفیلانمنت ۴۰۰ دنیر می‌باشد. نمره نخ‌های FDY و DTY مورد استفاده در پارچه‌های B1، B2 و S به ترتیب 450D/96F و 455D/288F می‌باشد. نمره نخ‌های FDY و DTY مورد استفاده در پارچه B3 به ترتیب 400D/96F و 650D/450F می‌باشد.

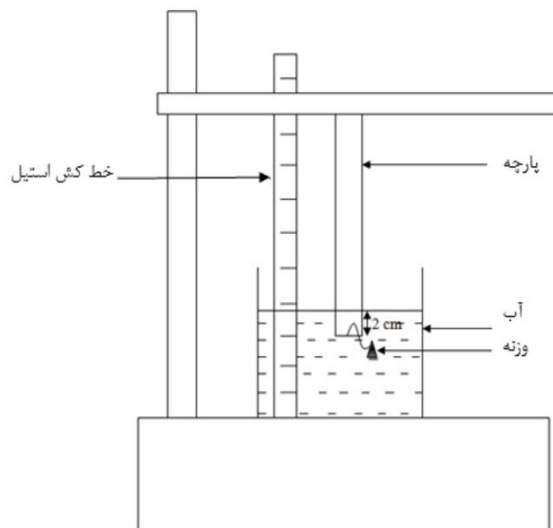
دنیر: وزن ۹۰۰۰ متر نخ بر حسب گرم. ^۱

می باشد [۲].

۲-۳- روش ارزیابی نمونه‌ها

۲-۳-۱- ارزیابی موئینگی نمونه‌های پارچه

یکی از خواص مهم پارچه اسپیسر مورد استفاده در بتن پارچه‌ای که تأثیر قابل توجهی بر مقاومت محصول نهایی دارد، خاصیت موئینگی پارچه اسپیسر می باشد. به منظور بررسی خواص موئینگی و انتقال عمودی آب، پارچه‌ها در ابعاد ۲۵ mm در ۱۶۰ mm در جهت طول و عرض بریده شدند. در هنگام ارزیابی، ۲۰ mm از یک انتهای پارچه به صورت عمودی در مقدار بسیار زیادی آب قرار داده شد. همچنین یک وزنه ۲۵ گرمی به انتهای پارچه متصل شد. طرح‌واره نحوه ارزیابی خاصیت موئینگی در شکل ۵ آورده شده است. انتقال آب در نمونه‌ها بر حسب ارتفاع آب در فواصل ۵ دقیقه برای مدت ۳۰ دقیقه بدست آورده شد. جهت ارزیابی در هر یک از جهات طول و عرض هر یک از نمونه‌ها، ۵ نمونه‌گیری انجام شد [۲۱، ۲۲].



شکل ۵- طرح‌واره نحوه ارزیابی انتقال عمودی آب در نمونه‌ها

۲-۳-۲- آزمایش مقاومت خمشی

مقاومت خمشی سه نقطه‌ای نمونه‌های بتن پارچه‌ای مطابق استاندارد ASTM D8085، با استفاده از دستگاه موجود در دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شریف ارزیابی شد. جهت ارزیابی مقاومت خمشی، نمونه‌های بتن پارچه‌ای با ضخامت‌های ذکر شده در جدول ۱ و به ابعاد ۱۶۰×۴۰ mm تهیه شد و پس از عمل آوری نمونه‌ها آزمایش شد. تصویر دستگاه ارزیابی مقاومت خمشی در شکل ۶ نشان داده شده است.

جهت سفت و سخت شدن این لایه انعطاف پذیر لازم است تا آب بر روی آن اسپری شود. پس از تزریق آب، ۱۰ روز به نمونه‌ها فرصت داده شد تا سفت و سخت گردد [۲۰]. جهت بررسی و تکرارپذیری مقاومت خمشی و کششی نمونه‌های مختلف بتن پارچه‌ای، از هر کدام از نمونه‌ها سه نمونه ساخته شده است (مطابق شکل ۳ و ۴).



شکل ۲- پر کردن و ویریه پارچه اسپیسر با سیمان و افزودنی



شکل ۳- نمونه‌های مقاومت کششی برش داده شده با ابعاد

مشخص مطابق با استاندارد مربوطه



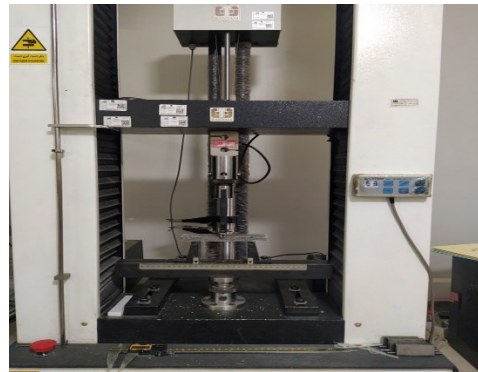
شکل ۴- نمونه‌های مقاومت خمشی برش داده شده با ابعاد

مشخص مطابق با استاندارد مربوطه

تنش شروع ترک اولیه ۳ آزمون تهیه شده، در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- تنش شروع ترک اولیه (MPa) نمونه‌های مختلف بتن

کد پارچه	میانگین	میانگین	حد اکثر	حداقل	انحراف معیار
B1	۳/۹۰	۳/۸۰	۴/۷۰	۳/۲۰	۰/۷۵
B2	۲/۷۰	۳/۲۰	۳/۲۰	۱/۷۰	۰/۸۷
B3	۲/۴۷	۲/۴۰	۲/۸۰	۲/۲۰	۰/۳۱
S	۱/۶۷	۱/۵۰	۲/۲۰	۱/۳۰	۰/۴۷

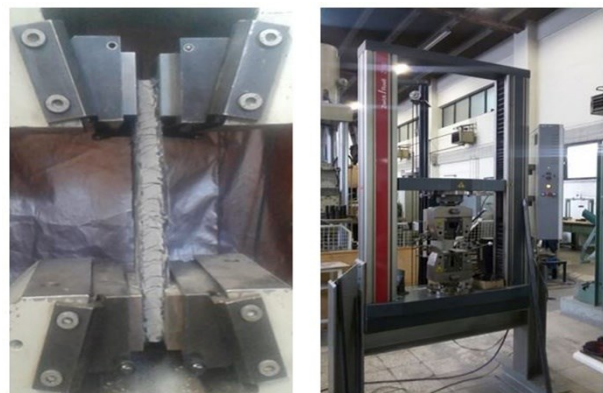


شکل ۶- دستگاه ارزیابی مقاومت خمشی

۲-۳-۳- آزمایش مقاومت کششی

ارزیابی آزمون کششی مستقیم نمونه‌های بتن پارچه‌ای نیز با استفاده از استاندارد ASTM D6768 انجام شد. بدین منظور، نمونه‌های بتن پارچه‌ای در ابعاد $270 \times 80 \text{ mm}$ و با ضخامت‌های ذکر شده در جدول ۱ تهیه شد و جهت ارزیابی از دستگاه موجود در دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شریف استفاده شد. دستگاه مورد استفاده جهت ارزیابی مقاومت کششی در شکل ۷ نشان داده شده است.

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، بیشترین و کمترین مقدار تنش شروع ترک اولیه به ترتیب با استفاده از نمونه‌های B1 و S بدست آورده شده است. میانگین و میانگین تنش شروع ترک اولیه نمونه‌های مختلف B1 به ترتیب برابر با 3.90 MPa و 3.80 MPa می‌باشد، حال آنکه میانگین و میانگین نمونه S به ترتیب برابر با 1.67 و 1.50 مگاپاسکال می‌باشد. همانطور که در جدول ۱ اشاره شد، نمونه B1 دارای بیشترین تعداد نخ مونوفیلament می‌باشد و این امر می‌تواند دلیل بالا بودن تنش شروع ترک اولیه در این نمونه باشد و این در حالیست که نمونه S و B3 دارای کمترین تعداد نخ مونوفیلament می‌باشند. از اینرو تنش شروع ترک اولیه در این دو نمونه کمتر از نمونه‌های B1 و B2 می‌باشد. نمودار میانگین تنش شروع ترک اولیه بر حسب تعداد نخ‌های اسپیسر در شکل ۸ نشان داده است. همانطور که در این شکل نشان داده است، با افزایش تعداد نخ‌های مونوفیلament تنش شروع ترک اولیه به دلیل افزایش درگیری پارچه و بتن افزایش یافته است. در واقع افزایش تعداد نخ‌های اسپیسر منجر به کاهش فاصله ترک و افزایش کرنش نهایی می‌شود [۱۲].



شکل ۷- دستگاه اندازه‌گیری مقاومت کششی مستقیم بتن پارچه‌ای

۳- نتایج و بحث

جهت بررسی تأثیر بافت بر مقاومت بتن پارچه‌ای، سیمان به همراه افزودنی به نمونه‌های مختلف اضافه شد تا لایه‌ای نرم و منعطف از سیمان تهیه گردد. سپس، تزریق آب به نمونه‌ها به صورت اسپری انجام شد تا سفت و سخت گردند. پس از گذشت ۱۰ روز از زمان تزریق آب، مقاومت خمشی و کششی نمونه‌های مختلف بتن پارچه‌ای ارزیابی شد.

به منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر پارچه بر تنش شروع ترک اولیه، از تحلیل واریانس (ANOVA) تک عامله در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شد که در جدول ۳ آورده شده است. آمادهمانطور که در این جدول مشاهده می‌گردد، مقدار $P (0.017)$ کمتر از $\alpha (0.05)$ می‌باشد، در نتیجه پارچه‌های مختلف تأثیر بیشتری در مقدار تنش شروع ترک اولیه دارند.

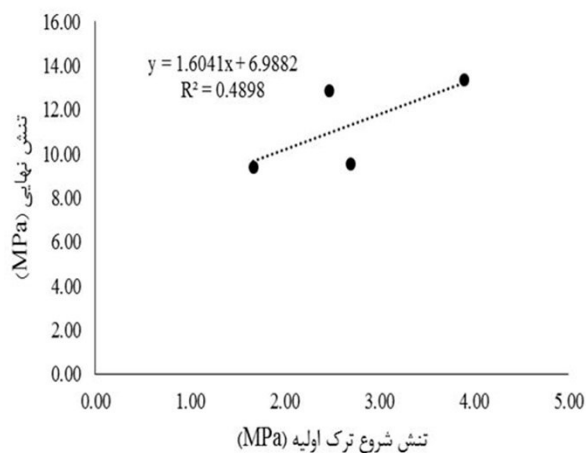
مقادیر تنش نهایی نمونه‌های مختلف بتن پارچه‌ای نیز در جدول ۴ آورده شده است. نمونه‌های B1 با مقدار میانگین 13.37 دارای

میانگین، میانگین، حداکثر، حداقل و انحراف معیار نتایج حاصل از

وجود ندارد. یکی از مهمترین عوامل در مقدار تنش نهایی مقاومت خمشی، بافت لایه‌های بیرونی پارچه‌های اسپیسر می‌باشد و از آنجا که تمام نمونه‌های اولیه دارای یک لایه بافت توپر می‌باشند، تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین آنها مشاهده نشد. در صورتی که هر دو لایه بیرونی نمونه به صورت مشبک باشند، مطمئناً مقدار تنش نهایی مقاومت خمشی به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد [۱۲].

جدول ۴- تنش نهایی (MPa) نمونه‌های مختلف بتن پارچه‌ای

کد پارچه	میانگین	میانه	حداکثر	حداقل	انحراف معیار
B1	۱۳/۳۷	۱۲/۰۰	۱۶/۷۰	۱۰/۵۰	۳/۷۴
B2	۹/۵۷	۹/۷۰	۱۲/۹۰	۶/۱۰	۳/۷۴
B3	۱۲/۸۷	۱۳/۰۰	۱۳/۲۰	۱۲/۴۰	۰/۴۲
S	۹/۳۷	۹/۷۰	۱۲/۹۰	۵/۵۰	۳/۷۱



شکل ۹- نمودار تنش نهایی بر حسب تنش شروع ترک اولیه

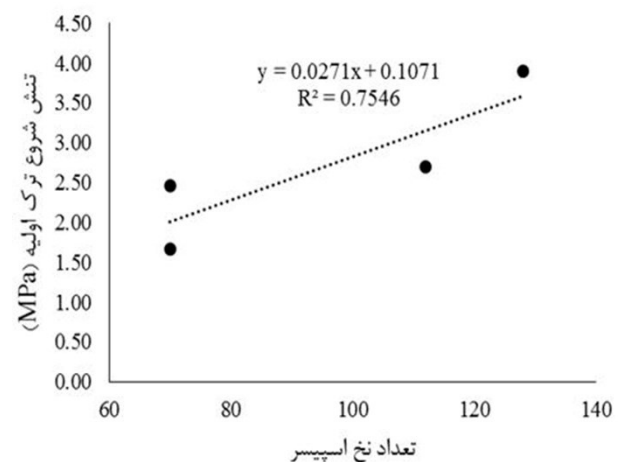
جدول ۵- نتایج ANOVA جهت بررسی تأثیر نوع پارچه بر

تنش نهایی مقاومت خمشی

منبع تغییرات	مجموعه مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F مقدار	P مقدار
بین نمونه‌ها	۲۶/۴۸۳	۳	۸/۸۲۸	۱/۱۳۸	۰/۳۹۱
درون نمونه‌ها	۶۲/۰۸۰	۸	۷/۷۶۰		
مجموع	۸۸/۵۶۳	۱۱			

نتایج حاصل از بررسی مقاومت کششی نمونه‌های مختلف بتن پارچه‌ای در جدول ۶ آورده شده است. با توجه به نتایج جدول ۶ می‌توان دریافت که نمونه B2 و نمونه B3 به ترتیب دارای بیشترین

بیشترین مقدار تنش نهایی می‌باشند و نمونه‌های S با مقدار میانگین ۹/۳۷ دارای کمترین مقدار تنش نهایی می‌باشند. نمودار مقدار میانگین تنش نهایی بر حسب تنش شروع ترک اولیه در شکل ۹ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، تقریباً با افزایش تنش شروع ترک اولیه، مقدار تنش نهایی افزایش یافته است. در مجموع می‌توان انتظار داشت که با شروع ترک اولیه در تنش‌های پایین، مقدار تنش نهایی نیز کاهش یابد. با اینحال این امر در نمونه B2 مشاهده نمی‌گردد.



شکل ۸- نمودار میانگین تنش شروع ترک اولیه بر حسب تعداد

نخ اسپیسر

جدول ۳- نتایج ANOVA جهت بررسی تأثیر نوع پارچه بر

تنش شروع ترک اولیه

منبع تغییرات	مجموعه مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F مقدار	P مقدار
بین نمونه‌ها	۷/۶۸۳	۳	۲/۵۶۱	۶/۲۵۹	۰/۰۱۷
درون نمونه‌ها	۲/۲۷۳	۸	۰/۴۰۹		
مجموع	۱۰/۹۵۷	۱۱			

تحلیل آماری مقدار تنش نهایی بتن‌های پارچه‌ای مختلف با سطح اطمینان ۹۵٪ ارزیابی شد. از این‌رو، تحلیل واریانس تک عامله (ANOVA) جهت بررسی تأثیر پارچه بر مقدار تنش نهایی انجام شد که نتایج در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به جدول ۵، مقدار P (۰/۳۹۱) بدست آمده بیشتر از ۰/۰۵ می‌باشد، در نتیجه تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین تنش نهایی بتن‌های پارچه‌ای مختلف

شده به سیمان می‌باشد که توسط لایه فوقانی (لایه تو پر) انجام می‌پذیرد. با توجه به آنکه محصول تولیدی ممکن است در محیط‌های شیدار مورد استفاده قرار گیرد، یا تزریق آب به صورت یکنواخت در تمامی نقاط پارچه صورت نگیرد، در اینصورت، اگر خواص موئینگی پارچه مورد استفاده مناسب نباشد، هیدراتاسیون بتن در تمامی نقاط به درستی صورت نخواهد گرفت. از اینرو خواص موئینگی پارچه بافته شده در جهت طول و عرض مورد بررسی قرار گرفت. میانگین ارتفاع انتقال عمودی آب در نمونه‌های مختلف در جهت طول و عرض در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۷- نتایج ANOVA جهت بررسی تأثیر نوع پارچه بر

مقاومت کششی بتن پارچه‌ای

منبع تغییرات	مجموعه مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P
بین نمونه‌ها	۱۴۵/۳۷۵	۳	۴۸/۴۵۸	۹/۰۱۶	۰/۰۳۰
درون نمونه‌ها	۲۱/۵۰۰	۴	۵/۳۷۵		
مجموع	۱۶۶/۸۷۵	۷			

و کمترین مقدار مقاومت کششی می‌باشند بطوریکه میانگین مقاومت کششی نمونه‌های B2 و B3 به ترتیب برابر با ۴۱/۵۰ و ۳۱/۵۰ KN/m است. از تحلیل ANOVA تک عامله در سطح اطمینان ۹۵٪ نیز جهت بررسی دقیق‌تر تأثیر نوع پارچه بر مقاومت کششی استفاده شد که نتایج در جدول ۷ آورده شده است.

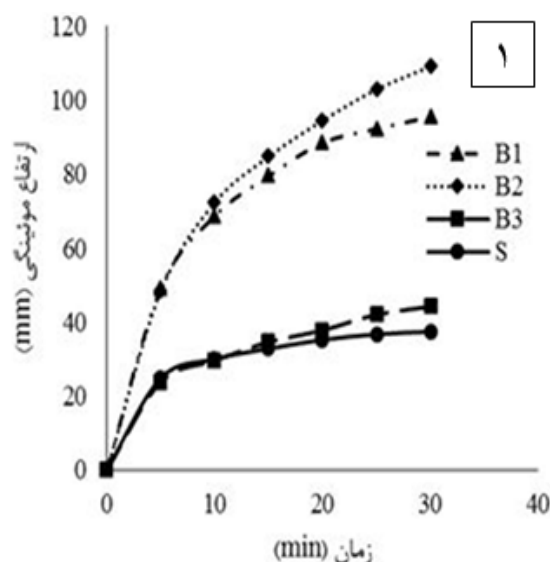
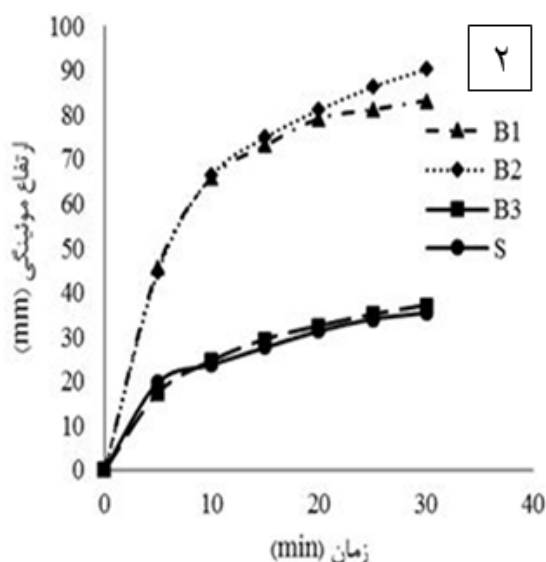
جدول ۶- مقاومت کششی (KN/m) نمونه‌های مختلف بتن

پارچه‌ای

کد پارچه	میانگین	میانه	حداکثر	حداقل	انحراف معیار
B1	۳۸/۵۰	۳۸/۵۰	۳۹/۰۰	۳۸/۰۰	۰/۷۱
B2	۴۱/۵۰	۴۱/۵۰	۴۴/۰۰	۳۹/۰۰	۳/۵۴
B3	۳۱/۵۰	۳۱/۵۰	۳۲/۰۰	۳۱/۰۰	۰/۷۱
S	۳۲/۰۰	۳۲/۰۰	۳۴/۰۰	۳۰/۰۰	۲/۸۳

همانطور که در جدول ۷ نشان داده شده است، مقدار P (۰/۰۳۰)

کمتر از α می‌باشد، در نتیجه نوع پارچه بر مقاومت کششی بتن پارچه‌ای تأثیر قابل توجهی دارد. یکی از پارامترهای مهم که بر خواص مکانیکی بتن پارچه‌ای اثرگذار است، مقدار آب رسانیده



شکل ۱۰- ارتفاع انتقال عمودی آب در نمونه‌های مختلف پارچه‌های اسپیسر در جهت (۱) طول و (۲) عرض

همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، نمونه‌های B1 و B2 دارای بیشترین مقدار انتقال عمودی آب می‌باشند و نمونه‌های B3 و S دارای کمترین مقدار انتقال عمودی آب می‌باشند. نخ مورد استفاده در لایه فوقانی نمونه‌های B1 و B2 نخ DTY و در لایه تو پر نمونه‌های B3 و S نخ 450D/288F می‌باشد که خواص انتقال موئین بهتری نسبت به نخ‌های مورد استفاده در نمونه‌های B3 و S دارد. عموماً رفتار موئینگی نخ‌های DTY نسبت به نخ‌های FDY بهتر می‌باشد. همچنین با افزایش تعداد فیلامنت در یک نمره نخ خاص، در

همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، نمونه‌های B1 و B2 دارای بیشترین مقدار انتقال عمودی آب می‌باشند و نمونه‌های B3 و S دارای کمترین مقدار انتقال عمودی آب می‌باشند. نخ مورد استفاده در لایه فوقانی نمونه‌های B1 و B2 نخ DTY و در لایه تو پر نمونه‌های B3 و S نخ 450D/288F می‌باشد که خواص انتقال موئین بهتری نسبت به نخ‌های مورد استفاده در نمونه‌های B3 و S دارد. عموماً رفتار موئینگی نخ‌های DTY نسبت به نخ‌های FDY بهتر می‌باشد. همچنین با افزایش تعداد فیلامنت در یک نمره نخ خاص، در

پارچه اسپیسر سه بعدی مورد استفاده تأثیر قابل توجهی بر مقاومت کششی بتن پارچه‌ای دارد.
- مقدار نگهداری و انتقال موئین آب پارچه اسپیسر سه بعدی یکی از عوامل مهم در میزان مقاومت کششی بتن پارچه‌ای است.

۵- مراجع

- [1] Jongvivatsakul, P., Ramdit, T., Ngo, T., and Likitlersuang, S. (2018) "Experimental investigation on mechanical properties of geosynthetic cementitious composite mat (GCCM)", *Construction and Building Materials*, Vol. 166, pp. 956-965.
- [2] Jun, Z., Wei, X., Xingzhong, W., Peiwei, G., Zhihua, Y., Lihai, S. and Jiang, W. (2020) "Application and research status of concrete canvas and its application prospect in emergency engineering", *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Vol. 15, pp. 1-11.
- [3] Pandey, R. and Jegatheeswaran, D. (2019) "Concrete Canvas: Solution of Pavement", *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, Vol. 16, pp. 19-21.
- [4] Lakshmi Prasanna, C., Amar Deepak, B. and Tech, M. (2019) "Concrete Canvas: A Multifaceted Construction Material", *International Journal of Recent Technology and Engineering*, Vol. 8, pp. 1898- 1901.
- [5] Li, H., Chen, H., Liu, L., Zhang, F., Han, F., Lv, T., Zhang, W. and Yang, Y. (2016) "Application design of concrete canvas (CC) in soil reinforced structure ", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 44, pp. 557-567.
- [6] فیاض، م.، قربان نژاد، ع.، خسروی، ف. (۱۳۹۸) "مطالعه عددی خسارت های وارد بر پوسته ساخته شده از بتن پارچه ای تحت تاثیر انفجار نزدیک"، علوم و فناوری پدافند نوین، دوره ۱۰، صفحه ۷۹-۸۷.
- [7] Armakan, D.M. and Roye, A. (2009) "A study on the compression behavior of spacer fabrics designed for concrete applications", *Fibers and Polymers*, Vol. 10, pp. 116-123.
- [8] Ma, P., Jiang, G. and Gao, Z. (2017), "The three dimensional textile structures for composites", In *Advanced Composite Materials: Properties and Applications*. De Gruyter Open Poland. pp. 497-526.
- [9] Roye, A. and Gries, T. (2007) "3-D textiles for advanced cement based matrix reinforcement", *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 37, pp. 163-173.
- [10] Peled, A., Cohen, Z., Passer, Y., Roye, A. and

ابتدا خاصیت جذب، نگهداری و انتقال آب افزایش می‌یابد و سپس کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، با افزایش تعداد فیلامنت، تعداد میکرو موئین‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه خاصیت انتقال عمودی آب بهبود می‌یابد، اما با افزایش بیشتر تعداد فیلامنت در نخ، شعاع میکرو موئین‌ها کاهش می‌یابد و از اینرو کاهش شعاع موئین، سبب می‌شود تا مایع کمتری در این موئین‌ها نگهداری شود و همچنین سرعت اولیه و ارتفاع موئین کاهش یابد [۲۳-۲۵].
با توجه به جدول ۶ و شکل ۱۰ می‌توان دریافت که رابطه مستقیمی بین خاصیت انتقال عمودی آب و مقاومت کششی وجود دارد و پارچه با خاصیت جذب، نگهداری و انتقال موئینگی بهتر می‌تواند سبب بهبود مقاومت کششی محصول نهایی شود.

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه به بررسی تأثیر نوع نخ، نوع بافت و تعداد نخ اسپیسر بر خواص مکانیکی بتن پارچه‌ای از جمله: مقاومت خمشی و مقاومت کششی پرداخته شد. بدین منظور، جهت بافت پارچه از نخ‌های DTY و FDY با نمره و تعداد فیلامنت متفاوت و همچنین طرح بافت‌های مختلف این-لی زنجیری و لوزی با تعداد متفاوت رج و ردیف استفاده شد و ۴ نوع پارچه مختلف بافته شد. جهت پر کردن فضای داخلی پارچه‌ای اسپیسر سه بعدی از سیمان پرتلند تیپ ۲ به همراه افزودنی استفاده شد و پس از انجام عملیات هیدراتاسیون، مقاومت خمشی سه نقطه‌ای و مقاومت کششی نمونه‌های مختلف بتن پارچه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج ذیل بدست آمد:

- با افزایش تعداد نخ اسپیسر، تنش شروع ترک اولیه به دلیل افزایش درگیری پارچه و بتن افزایش می‌یابد و نوع پارچه تأثیر قابل توجهی بر مقدار تنش شروع ترک اولیه دارد.

- تنش شروع ترک اولیه بر مقدار تنش نهایی مقاومت خمشی مؤثر است و با افزایش تنش شروع ترک اولیه، تقریباً تنش نهایی نیز افزایش می‌یابد.

- با توجه به آنکه یکی از مهم‌ترین عوامل بر مقدار تنش نهایی نوع بافت لایه‌های بیرونی است، و در تمامی نمونه‌های استفاده شده، حتماً لایه فوقانی از نوع پارچه توپر بود، تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین تنش نهایی بتن‌های پارچه‌ای مختلف مشاهده نشد.

- نتایج حاصل از تحلیل واریانس (ANOVA) نشان داد که نوع

effect of fabric density on the quality of digital printing on polyester", *Fibers And Polymers*, Vol. 18, pp. 2462-2468.

[23] Chatterjee, A. and Singh, P. (2014) "Studies on wicking behaviour of polyester fabric", *Journal of Textiles*, Vol. 2014, pp. 1-11.

[24] Saricam, C. and Kalaoğlu, F. (2014) "Investigation of the wicking and drying behaviour of polyester woven fabrics", *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol 22, pp. 73-78.

[25] Sampath, M., Mani, S. and Nalankilli, G. (2011) "Effect of filament fineness on comfort characteristics of moisture management finished polyester knitted fabrics", *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 41, pp. 160-173.

Gries, T. (2008) "Influences of textile characteristics on the tensile properties of warp knitted cement based composites", *Cement and Concrete Composites*, Vol. 30, pp. 174-183.

[11] Yip, J. and Ng, S-P. (2008) "Study of three-dimensional spacer fabrics: Physical and mechanical properties", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 206, pp. 359-364.

[12] Han, F., Chen, H., Jiang, K., Zhang, W., Lv, T. and Yang, Y. (2014) "Influences of geometric patterns of 3D spacer fabric on tensile behavior of concrete canvas", *Construction and Building Materials*, Vol. 65, pp. 620-629.

[13] Du, G-W. and Ko, F. (1996) "Analysis of multi-axial warp-knit preforms for composite reinforcement", *Composites Science and Technology*, Vol. 56, pp. 253-260.

[14] Hu, J., Jiang, Y. and Ko, F. (1998) "Modeling uniaxial tensile properties of multi-axial warp knitted fabrics", *Textile Research Journal*, Vol. 68, pp. 828-834.

[15] Jiang, Y., Hu, J. and Ko, F. (1999) "Characterizing and modeling bending properties of multi-axial warp knitted fabrics", *Textile Research Journal*, Vol. 69, pp. 691-697.

[16] Khondker, O., Leong, K., Herszberg, I. and Hamada, H. (2005) "Impact and compression-after-impact performance of weft-knitted glass textile composites", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 36, pp. 638-648.

[17] Toledo Filho, R.D., Ghavami, K., Sanjuán, M.A. and England, G.L. (2005) "Free, restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres", *Cement and Concrete Composites*, Vol. 27, pp. 537-546.

[18] Han, F., Chen, H., Zhang, W., Lv, T. and Yang, Y. (2016) "Influence of 3D spacer fabric on drying shrinkage of concrete canvas", *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 45, pp. 1457-1476.

[19] Abdollahi, S.B., Hejazi, S.M. and Hasani, H. (2018) "Investigation of flexural behavior of 3D textile reinforced concrete using both experimental tests and finite element method", *Journal of Sandwich Structures & Materials*, Vol. 20, pp. 578-594.

[۲۰] امیری، ه.، فیاض، م.، رعیا، ا. (۱۴۰۱) "ارزیابی عملکرد بتن پارچه‌یی در پناهگاه تعجیلی"، مهندسی عمران، دوره ۳۸، ۲، صفحه ۱۵-۲۵.

[21] Hajipour, A. and Shams Nateri, A. (2019) "The effect of weave structure on the quality of inkjet polyester printing", *The Journal of the Textile Institute*, Vol. 110, pp. 799-806.

[22] Hajipour, A. and Shams-Nateri, A. (2017) "The

Study of the Effect of 3-D Spacer Fabric on Flexural and Tensile Strengths of Concrete Canvas

Saeed Ahmadi *

Assistant Professor, Faculty of Engineering and Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

Mohammad Fayyaz

Assistant Professor, Faculty of Engineering and Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

Mohammad Mahdi Kermaninejad

Researcher, Faculty of Engineering and Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

Abbas Hajipour

Ph.D, Textile Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

Abstract

Nowadays, concrete canvas is used in various fields of civil engineering and architecture. Therefore, improving the mechanical properties of this product is important in order to increase the scope of its using. In this study, the effect of yarn and weave of 3-D spacer fabric was investigated on flexural and tensile strengths of concrete canvas. For this purpose, four samples of 3-D spacer fabrics with different yarns and weaves were prepared and the cement was injected into these samples. After hydration of concrete canvas, the initial cracking stress, final stress and tensile strength were obtained. The results showed that the number of spacer yarns has a significant effect on the amount of initial cracking stress, and the final stress of flexural strength is also increased almost with increasing the initial cracking stress. The results also showed that the type of yarn used in the 3-D spacer fabric has a significant effect on the tensile strength. The tensile strength of concrete canvas is increased with increasing the capillary ability of the samples, due to the better hydration of concrete.

Keywords: Spacer fabric, Weave, Spacer yarn, Flexural strength, Tensile strength.

* Corresponding Author: S.Ahmadi@ihu.ac.ir