تحقیقات بتن
سال پانزدهم، شمارهٔ چهارم
زمستان ۱۴۰۱
ص ۸۳ – ۷۳
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۴

طراحی، ساخت و بررسی بتن پارچه‌ای بر پایه فناوری پوششی ریخته‌گری خمیر پلیمری/کامپوزیتی

محسن مصلحی
دکتری پژوهشگر گروه شیمی دانشگاه جامع امام حسین ع.
محمد فیاض*
استادیار گروه عمران دانشکده مهندسی و پدافند غیرعامل دانشگاه جامع امام حسین(ع).
سعید احمدی
پژوهشگر گروه عمران دانشکده مهندسی و پدافند غیرعامل دانشگاه جامع امام حسین ع.

چکیده

یکی از چالش‌های اساسی بتن‌های پارچه‌ای رایج، جدا شدن لایهٔ ژئوممبران از بستر بتن پارچه‌ای می‌باشد که باعث به‌وجود آمدن مشکلات اساسی در بحث کاربرد این محصول شده است. در این کار، از روش ریخته‌گری خمیر پلیمری[1] برپایه رزین‌های اکریلاتی، جهت ایجاد پوشش تک لایه‌ای رزین آب بند با مقاومت مکانیکی کلی محصول بالا، استفاده و خواص محصول مورد بررسی قرار گرفت. در این روش خمیر پلیمری، در یک مرحله و بدون استفاده از چسب و لایه ژئوممبران بر روی بستر زیرآیند سه بعدی تشکیل و محصول کلی بتن پارچه‌ای شکل می‌گیرد. نتایج نشان داد که بتن پارچه‌ای تولید شده بر پایه روش ریخته‌گری خمیر پلیمری دارای مقاومت مکانیکی مناسب((kN/mm^2) ۳۰)، آب بندی بهتر (تا ۳۰ روز بدون تغییر وزن در برابر آب)، لایه لایه نشدن، مقاومت شیمیایی مناسب در برابر هگزان، تولوئن، بنزن و اکتان و مقاومت دمایی بهتر (از ۲۰- تا ۱۰۰ درجه سلسیوس بدون لایه لایه شدن) نسبت به محصول بتن پارچه‌ای رایج می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: **بتن پارچه‌ای، لایهٔژئوممبران، روش ریخته‌گری پلیمری، رزین‌های اکریلاتی.**

* نویسنده مسئول: m.fayyaz@modares.ac.ir

[1] Past Casting

۱- مقدمه

بتن پارچه‌ای از جمله محصولاتی است که با پیشرفت علم و تکنولوژی در زمینه‌های مختلف ساخت و ساز، به منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی، زمان و هزینه‌های اجرا در پروژه های عمرانی، وارد بازار شده است. در این راستا، تحقیقات زیادی برای استفاده از بتن پارچه‌ای در صنایع عمرانی انجام شده است [۱-۴]. این محصول در ضخامت‌ها و رنگ‌های مختلف در بسیاری از کشورها، کاربردهای گوناگون دارد که عبارتند از: ساختمان سازی، ساخت بناهای فوری، بیمارستان و سنگر، راه و جاده سازی، پوشش در صنعت کشاورزی، جاده سازی، سد سازی، پایه ریزی پل‌ها یا سازه‌های بلند، عایق کردن سطوح در برابر آتش، اجرای بناهای دکوری، روکش دادن لوله‌های بین شهری و لوله-های گاز، آب، نفت و هیدروکربن و کاربردهای نظامی [۹-۵].

بتن پارچه‌ای دارای ساختار سه لایه‌ای می‌باشد که هر کدام از این لایه‌ها برای کاربرد خاصی طراحی و مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل-۱)، ۱. بستر سه بعدی[1]، این بستر به جهت نگهداری مخلوط سیمان خشک و تامین مقاومت مکانیکی کلی محصول، مورد استفاده قرار می‌گیرد، ۲. مخلوط سیمان خشک، که بسته به نوع کاربرد، دارای فرمولاسیون‌های مختلف می‌باشد و ۳. لایه پوشش دهنده ژئوممبران، این لایه که در اصل یک نوع از محصولات ژئوسنتتیک[2] می‌باشد، نسبت به آب و بیشتر سیالات نفوذ ناپذیر بوده و وظیفه آن، آب بند کردن محصول بتن پارچه‌ای، جذب رطوبت از محیط بیرون بتن پارچه‌ای به سمت داخل و افزایش مقاومت مکانیکی بتن پارچه‌ای است [۱۰-۱۲].

برای طراحی و ساخت محصول بتن پارچه‌ای، کارهای تحقیقاتی متعددی انجام و برای اتصال لایه ژئوممبران پلی‌وینیل کلراید به بستر سه بعدی از چسب‌ها و رزین‌های مختلفی استفاده شده است. ژانگ و همکاران، رزین اپوکسی[3] نوع (E44 6101) و سخت کننده[4] آمینی نوع (WRS 650) را مورد استفاده و خواص آن را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که مقاومت خمشی و کششی محصول طراحی شده مناسب و خواص شیمیایی خوبی را از خود نشان داده است [۱۳].

شکل ۱- شماتیک ساختار بتن پارچه‌ای

هان و همکاران، برای ساخت محصول بتن پارچه‌ای، از چسب و رزین ترموپلاست پلی یورتان[5] طراحی شده بر پایه پلی اتر، برای اتصال لایه ژئوممبران به بستر سه بعدی از جنس پلی استر[6] استفاده کردند. نتایج نشان داد که محصول تولید شده دارای ویژگی فیزیکی، شیمیایی و گرمایی مناسب می‌باشد[۱۴]. لیا و همکاران نیز از مخلوط انواع رزین‌های اپوکسی برای اتصال لایه ژئوممبران پلی وینیل کلراید به بستر سه بعدی از جنس پلی‌آرامید، استفاده و مقاومت کلی محصول را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند [۵]. کومار و همکاران نیز، برای ساخت انواع کامپوزیت‌های انعطاف پذیر از مخلوط انواع چسب‌های پلیمری برای اتصال لایه‌ها در کامپوزیت انعطاف پذیر از جمله بتن پارچه‌ای استفاده کردند [۱۵]. با این حال، یکی از چالش‌های موجود در این تحقیقات، جدا شدن لایه‌ها در کامپوزیت‌های چند لایه مانند جدا شدن ژئوممبران از بستر سه بعدی، بعد از مرحله سخت شدن بتن می‌باشد که در اثر افزایش تعداد تنش‌های مکانیکی و حرارتی، لایه از بستر جدا شده و در ادامه آب‌بندی نهایی محصول با مشکل مواجه خواهد.

در این کار، برای اولین بار از روش ریخته‌گری خمیر پلیمری برای پوشش سریع و درجا[7] بستر سه بعدی با رزین‌های اکریلاتی، استفاده گردید. در این روش از لایه ژئوممبران و انواع چسب‌ها استفاده نمی-شود و خمیر پلیمری با فرمولاسیون مناسب به صورت یکنواخت بر روی بستر سه بعدی قرار گرفته و بعد از خشک شدن، به بستر سه بعدی اتصال پیدا می‌کند. پس از تهیه محصول، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و دمایی این محصول مورد مطالعه قرار داده شد.

[1] 3D substrate
[2] Geosentetics
[3] Epoxy
[4] Hardner
[5] Thermoplastic polyurethane
[6] Polyester
[7] One-site

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

پارچه سه بعدی با ضخامت متوسط ۲۰ mm و عرض ۱۰۰۰ mm از جنس پلی استر بافته شده با دستگاه راشل از شرکت بی بافت اصفهان، مصالح مورد استفاده ۱۰۰ درصد سیمان تیپ ۲ از شرکت سیمان تهران، رزین کوپلیمر وینیل استات/ بوتیل اکریلات از شرکت سیماب رزین، پودر میکرو سلیس شرکت میکروسلیس سمنان، چسب پلی یورتان از شرکت آذین بسپار اصفهان و لایه ژئوممبران پلی وینیل کلراید از شرکت اسپادانا اصفهان تهیه گردید.

۲-۲- روش‌ها

پارچه سه بعدی مورد استفاده در این کار در ابعاد ۲۰mm×۳۰۰mm×۳۰۰mm برش و سپس به مقدار مناسبی از سیمان در داخل پارچه سه بعدی ریخته شد. در ادامه، خمیر پلیمری از اختلاط لاتکس کوپلیمر وینیل استات/ بوتیل اکریلات با پودر میکروسلیس با نسبت وزنی ۳۰/۷۰ (کوپلیمر/ میکروسلیس) تهیه گردید. همچنین جهت افزایش میزان نرمی مخلوط حاصل، به مقدار ۰/۲ درصد وزنی/وزنی از نرم کننده DBP[1] استفاده گردید. برای اختلاط از هم زن حجم ۵ لیتری با سرعت ثابت ۱۰۰ دور بر دقیقه استفاده گردید. در مرحله پایانی، این خمیر، با استفاده از فیلم‌کش دکتر بلید[2] به ضخامت نیم میلی متر بر روی بستر سه بعدی حاوی سیمان، پوشش داده شد. فیلم‌کش دکتر بلید که در شکل- ۲ نشان داده شده است، از یک تیغه‌ی حساس، به نام تیغه‌ی دکتر بلید[3]، دو بازوی متحرک قابل تنظیم برای ضخامت پوشش یا فیلم و از یک بدنه مناسب تشکیل شده است.

شکل ۲- فیلم‌کش دکتر بلید جهت پوشش‌دهی بتن پارچه‌ای

برای مقایسه بین محصول بتن پارچه‌ای تهیه شده بر مبنای فناوری ریخته‌گری پلیمری و بتن پارچه‌ای ساخته شده با لایه ژئوممبران، یک نمونه با ابعاد مشابه توسط چسب پلی یورتان و لایه ژئوممبران پلی وینیل کلراید ساخته شد. در این روش سطح بستر سه بعدی حاوی سیمان با ابعاد مشابه با چسب پلی یورتان پوشش و سپس لایه ژئوممبران بر روی این بستر قرار داده شد و بعد از اتصال و خشک شدن، برای فرایندهای بعدی آماده گردید.

۳- شناسایی

برای شناسایی گروه‌های عاملی شیمیایی پوشش ایجاد شده بر روی بتن پارچه‌ای از روش ATR-FTIR[4] از نوع Barnes Model 300 استفاده گردید. جهت بررسی خواص مکانیکی تک لایه پوششی خمیر پلیمری و لایه ژئوممبران از تست کششی استفاده گردید. در این راستا، خواص مکانیکی فیلم پوشش پلیمری (لایه فیلم بر روی بستر شیشه‌ای تشکیل و سپس مورد آنالیز قرار گرفتو لایه ژئوممبران PVC با استفاده از دستگاه کششی با ظرفیت ۱ تن طبق استاندارد (D683-14) [۱۶] انجام گرفت. ابعاد ۲ mm ×۳۰mm×۳۰ mm و سرعت کشش ۳ سانتیمتر بر ثانیه در نظر گرفته شد.

خواص مکانیکی کل محصول بتن پارچه‌ای ساخته شده با فناوری ریخته‌گری پلیمری و لایه ژئوممبران/چسب با استفاده از دستگاه کشی با ظرفیت ۱۰ تن طبق استاندارد (ASTM D6768) [۱۷] انجام گرفت. ابعاد نمونه‌ها برای این تست ۸۰ mm*۲۰ mm * ۲۷۰mm و سرعت کشش ۳ سانتیمتر بر ثانیه در نظر گرفته شد. نتایج مقاومت مکانیکی کلی محصول بتن پارچه‌ای ساخته شده بر پایه فناوری ریخته‌گری پلیمری و بتن پارچه‌ای ساخته شده با لایه ژئوممبران PVC / چسب مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

در ادامه برای مطالعه بهتر خواص مکانیکی نمونه‌های بتن پارچه‌ای ساخته شده با فناوری ریخته‌گری پلیمری و لایه ژئوممبران، آزمون خمشی (بررسی میزان مقاومت محصول در برابر نیروی عمودی حاصل بر نمونه‌های بتن پارچه‌ای) مطابق استاندارد BS EN 12467 بر روی نمونه‌های محصول با شرایط زیر انجام شد. ابعاد

[1] Dibutyl phetalate
[2] Doctor blade
[3] Doctor blade knife
[4] Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared

نمونه‌ها و طول آزمایش باید به گونه‌ای باشد که نسبت دهانه / ضخامت اسمی بیشتر از یا برابر با ۱۵ است. نسبت دهانه / انحراف در هنگام پارگی بیشتر از یا برابر با ۲۰ است. طول نمونه‌ها بزرگ‌تر یا مساوی با مقدار دهانه به علاوه ۴۰ میلی‌متر عرض نمونه‌ها از پنج برابر ضخامت اسمی نمونه‌ها بیشتر یا مساوی است. برای هر آزمایش، سه نمونه با شرایط مشابه برای محصول بتن پارچه‌ای با فناوری ریخته‌گری پلیمری و بتن پارچه‌ای با لایه ژئوممبران در نظر گرفته و متوسط نتایج گزارش شده است.

برای اندازه‌گیری مقاومت شیمیایی بتن پارچه‌ای بدست آمده از روش ریخته‌گری پلیمری و روش لایه ژئوممبران/چسب، در برابر لایه لایه شدن، نمونه‌ها با ابعاد ۱۲ cm*۳ cm*۲ cm در محیط-های مختلفی از جمله هگزان، تولوئن، اکتان، بنزن و آب در مدت زمان‌های مختلف قرار داده شد و نتایج مورد بررسی قرار گرفتند. برای سنجش رفتار دمایی بتن پارچه‌ای بدست آمده از روش ریخته‌گری پلیمری و روش لایه ژئوممبران/چسب، محصولات مورد نظر مطابق با استاندارد (EN12467) تحت دماهای مختلف قرار گرفته تا مقاومت حرارتی آن‌ها در دماهای مختلف در برابر لایه‌لایه شدن بررسی شود. در این روش از محصولات مورد نظر ۳ نمونه از هر دو محصول را برش داده تا تکرار پذیری فرایند نتایج عملی حاصل از ذوب یخبندان بررسی گردد. در این فرایند از واحد فریزر با داشتن گردش هوای اجباری و حمام آب با کنترل دمایی در محدودهٔ مورد نظر استفاده گردید.

به منظور بررسی میزان آب‌بندی محصول نهایی، از قالب‌های نشان داده شده در شکل-۳ استفاده گردید. در این روش طبق قالب‌های نشان داده شده، نمونه‌های واقعی از محصولات طبق فرایندهای ذکر شده تهیه و میزان مقاومت آن‌ها در برابر نشت آب به بیرون از محصول مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. بدین منظور از قالب استوانه‌ای با قابلیت بازشوندگی (ارتفاع ۱۵۰ mm و شعاع دایره‌ای ۷۰ mm) و قالب مکعبی با ابعاد (۱۰۰ mm×۵۰ mm×۴۰ mm) استفاده گردید.

شکل ۳- نمونه قالب‌های مورد استفاده در ساخت محصول بتن

۴- نتایج و بحث

شکل-۴، مربوط به نمونه تهیه شده بتن پارچه‌ای با روش ریخته-گری خمیر پلیمری (کوپلیمر وینیل استات/ بوتیل اکریلات/میکروسیلیس/ DBP) می‌باشد. همانطور که در تصویر نشان داده شده است، به جای لایه ژئوممبران /چسب، یک لایه مناسب و یکنواختی از این رزین بر سطح بستر سه بعدی حاوی سیمان پوشش داده شده است.

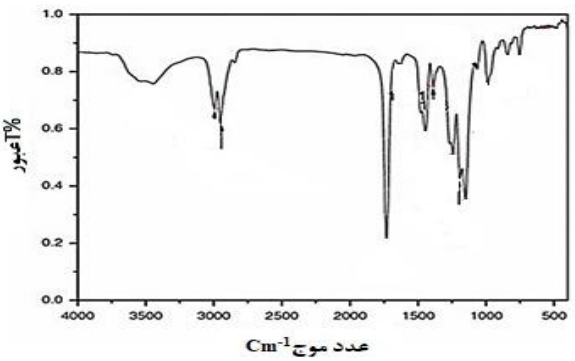
شکل ۴- بتن پارچه‌ای ساخته شده بر پایه روش ریخته گری پلیمری

همانطور که در شکل نشان داده شده است، لایه پوشش پلیمری اکریلات تشکیل شده بر روی بستر، کاملا یکنواخت، با اتصال کامل به زیر لایه و بدون ترک خوردگی در سطح می‌باشد. با استفاده از این روش، در یک مرحله و بدون نیاز به لایه ژئوممبران و چسب، پوششی مناسب و یکنواخت بر روی سطح پلیمر قرار می-گیرد. با توجه به ماهیت خمیری بودن پوشش، این خمیر با گرانروی مناسب در تار و پود پارچه‌ی سه بعدی تا حد مناسب نفوذ کرده و با برقراری اتصال با زیرلایه و سیمان، چسبندگی بسیار بالایی را ایجاد می‌کند.

۴-۱- طیف بینی مادون قرمز

شکل-۵، طیف شناسایی ATR-FTIR مربوط به رزین کوپلیمر وینیل استات/ بوتیل اکریلات را نشان می‌دهد. پیک‌های مشخصه پیوندهای شیمیایی این ترکیب عبارتند از: پیک‌ها مربوطه در (cm^{-1}) ۲۹۰۰ مربوط به ارتعشات کششی C-H و CH_2 (نشان دهندهٔ گروه‌های عاملی متیلن در بوتیل اکریلات)، پیک‌های پهن در محدودهٔ (cm^{-1}) ۳۲۰۰ مربوط به ارتعشات کششی O-H (گروه عاملی هیدروکسیل مربوط به وینیل استات هیدرولیز شده تحت شرایط محیطی)، پیک‌ها در محدوده‌ی (cm^{-1}) ۱۷۲۷ و(cm^{-1}) ۱۶۳۹ مربوط به ارتعاشات کششی C=O (گروه عاملی

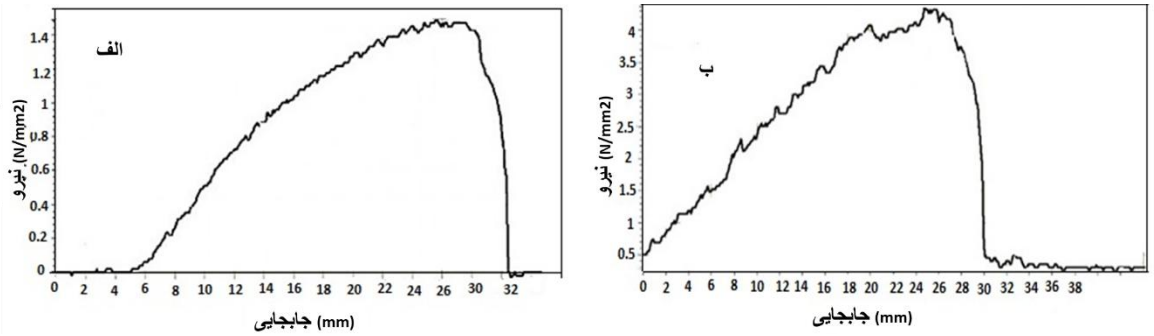
کربونیل استری در استات و اکریلات) و پیک‌ها در محدوده‌ی (cm^{-1})۱۵۰۰-(cm^{-1})۱۴۰۰ مربوط به ارتعاشات کششی C-O (گروه عاملی کربن –اکسیژن در گروه متیل اکریلات). چون این شناسایی از سطح پوشش خمیری گرفته شده است، وجود این پیک‌های مشخصه نشان دهندهٔ وجود کوپلیمر وینیل استات/بوتیل اکریلات در کامپوزیت پلیمری و امتزاج مناسب این دو رزین در لایهٔ حاصل از این خمیر پلیمری در سطح بتن پارچه‌ای می‌باشد و به خوبی بر روی سطح بتن پارچه‌ای پوشش داده شده است، همانطور که در شکل-۴ نشان داده شده است.



شکل ۵- طیف ATR-FTIR مربوط به پوشش خمیری کوپلیمر وینیل استات/بوتیل اکریلات

۴-۲- بررسی مقاومت مکانیکی

برای بررسی خواص مکانیکی لایه پوششی پلیمری اکریلات (فقط خود لایه پلیمری بدون قرار گرفتن روی محصول) و لایه ژئوممبران/ چسب از روش کششی استفاده گردید. در این‌روش، خواصی مانند درصد کشش، مقاومت تنشی و نقطهٔ تسلیم پوشش‌ها مورد بررسی قرار گرفتند که در شکل-۶ نشان داده شده است. همانطور که در شکل-۶ (الف) نشان داده شده است، میزان کشش لایه‌ی پوششی کامپوزیتی اکریلات در حدود ۲۹ mm بوده و همچنین میزان نیروی تنش قبل از شکست در حدود N/mm^2 ۱/۴ می‌باشد. به این معنا که نقطه‌ی تسلیم ابن لایه‌ی پلیمری N/mm^2 ۱/۴ می‌باشد و اگر تنشی بیش از این به این لایه‌ی پوششی وارد شود، شکسته و اگر نیروی کمتر از این مقدار به آن وارد شود، بعد از تعداد سیکل‌های مشخصی شروع به شکست و کاهش مقاومت خواهد کرد. در ادامه برای بررسی و مقایسه خواص مکانیکی لایه پوششی پلیمری اکریلات و لایه ژئوممبران PVC نیز از روش کششی استفاده گردید. در این‌روش، خواصی مانند درصد کشش، مقاومت تنشی و نقطه‌ی تسلیم لایه ژئوممبران مورد بررسی قرار گرفت که در شکل-۶ (ب) نشان داده شده است. همانطور که در شکل-۶ (ب) نشان داده شده است، میزان کشش لایه‌ی پوششی PVC در حدود ۲۷ mm بوده و همچنین میزان نیروی تنش قبل از شکست در حدود (N/mm^2) ۴/۵ می‌باشد. به این معنا که نقطه‌ی تسلیم پلیمر (N/mm^2) ۴/۵ می‌باشد و اگر تنشی بیش از این به این لایهٔ پوششی وارد شود، شکسته و اگر نیروی کمتر از این مقدار به آن وارد شود، بعد از تعداد سیکل‌های مشخصی شروع به شکست و کاهش مقاومت خواهد کرد. این نتایج نشان می‌دهد که لایه تشکیل شده از فناوری ریخته‌گری اگرچه مقاومت مکانیکی پایین‌تری نسبت به لایه‌ی ژئوممبران دارد ولی به تنهایی دارای مقاومت مکانیکی قابل قبولی داشته و جهت پوشش دهی برای بتن پارچه‌ای مناسب می-باشد. در ادامه مقاومت مکانیکی کل محصول بتن پارچه‌ای ساخته شده با فناوری ریخته گری پلیمری و بتن پارچه‌ای بدست آمده از روش لایهٔ ژئوممبران/چسب، مورد بررسی قرار گرفت.

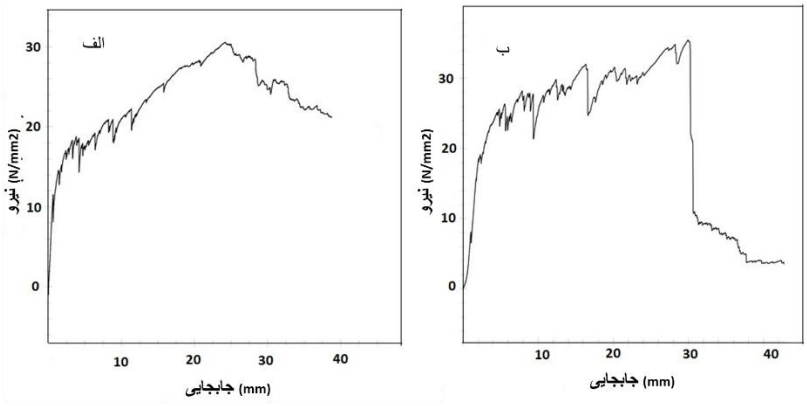


شکل ۶- مقاومت کششی و تنشی مربوط به پوشش خمیری کوپلیمر وینیل استات/بوتیل اکریلات(الف) و لایه ژئوممبران PVC(ب)

شکل-۷ (الف) نتایج مقاومت مکانیکی مربوط به نمونه بتن پارچه-ای تهیه شده با روش ریخته‌گری را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، مقاومت تنشی این محصول در حدود متوسط (kN/mm^2) ۳۰ می‌باشد و میزان کشش این نمونه در حدود

متوسط ۳۵ mm می‌باشد. به این معنا که نقطه‌ی تسلیم این نوع از محصول بتن پارچه‌ای (ریخته‌گری پلیمر) (kN/mm^2) ۳۰ می‌باشد و اگر تنشی بیش از این به آن وارد شود، شکسته خواهد شد. شکل-۷ (ب) نتایج مقاومت مکانیکی مربوط به نمونه بتن پارچه‌ای تهیه شده با روش لایه ژئوممبران/چسب را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، مقاومت تنشی این محصول (ژئوممبران/ چسب) در حدود متوسط $F(kN/mm^2)$ ۳۴ می‌باشد و میزان کشش این نمونه در حدود متوسط ۴۳ mm می‌باشد. درنتیجه حد تسلیم این محصول در حدود $F(kN/mm^2)$ ۳۴ می‌باشد و اگر تنشی بیش از این به آن وارد شود، شکسته خواهد شد. این نتایج نشان می‌دهد که نمونه بتن پارچه‌ای حاصل از ریخته‌گری پلیمری نسبت به نمونه حاصل از لایه‌ی ژئوممبران/چسب مقاومت مکانیکی مناسبی را نسبت به تنش و کرنش وارد شده از خود نشان می‌دهد و می‌تواند به‌عنوان محصول مناسب در کاربردهای مختلف بتن پارچه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

همچنین در جدول-۱ نتایج مربوط به آزمون خمشی برای نمونه‌های بتن پارچه‌ای ساخته شده با فناوری ریخته‌گری پلیمر و نمونه بتن پارچه‌ای ساخته شده با فناوری ژئوممبران، نشان داده شده است.



شکل ۷- مقاومت کششی و تنشی مربوط به محصول بتن پارچه‌ای برپایه پوشش خمیری کوپلیمر وینیل استات/بوتیل اکریلات(الف) و لایه‌ی ژئوممبران(ب)

جدول ۱- نتایج مربوط به تست خمشی نمونه بتن پارچه‌ای ساخته شده با فناوری ریخته گری پلیمری و لایه ژئوممبران

نمونه	شماره	تنش شروع ترک اولیه(MPa)	تنش نهایی (MPa)
نمونه ریخته‌گری	۱	۴/۵±۰/۲	۱۲/۷±۰/۴
نمونه ژئوممبران	۲	۵/۱±۰/۳	۱۰/۵±۰/۵

همانطور که در جدول -۱ نشان داده شده است مقاومت خمشی سه نمونه از بتن پارچه‌ای ساخته شده با فناوری ریخته‌گری پلیمری تحت آزمون خمشی قرار گرفته ونتایج آن با نمونه‌های رایج بتن پارچه‌ای مورد مقایسه قرار گرفته است. همانطور که مشاهده می‌شود نمونه بتن پارچه‌ای ساخته شده با فناوری ریخته‌گری پلیمری، نسبت به نمونه با ژئوممبران، نیروی مورد نیاز برای تنش اولیه (شروع ترک) کمتری و تنش نهایی بیشتری احتیاج دارد و نسبت به مقاومت‌های خمشی نمونه رایج (بتن پارچه‌ای با ژئوممبران) نتایج قابل مقایسه و مورد قبولی را از خود نشان داده است.

۴-۳- بررسی مقاومت شیمیایی

مقاومت شیمیایی محصول بتن پارچه‌ای بدست آمده از روش ریخته‌گری پلیمری و روش لایه‌ی ژئوممبران/چسب با استفاده از حلال‌های مختلف مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. همانطور که در جدول-۲ نشان داده شده است، نمونه ساخته شده با فناوری ریخته‌گری پلیمری، به واسطه اتصال مناسب به زیرلایه سه بعدی و یکنواختی مناسب، در اکثر حلال‌های آلی مقاومت خوبی را از خود نشان داده است و این در حالی است که محصول رایج به واسطه‌ی استفاده از چسب برای اتصال ورق پلیمری ژئوممبران به زیرلایه سه بعدی در بیشتر حلال‌های آلی، مقاومت خود را از دست داده و شروع به لایه لایه شدن می‌کند.

در محصول بتن پارچه‌ای تهیه شده با فناوری ریخته‌گری پلیمری، با توجه به میزان چسبندگی لایه پلیمری به پارچه، حلال فقط از یک سمت با این لایه در ارتباط است و با توجه به جنس مناسب پوشش

پلیمری، تغییرات زیادی در کل محصول بتن پارچه‌ای در تماس با اکثر حلال‌ها ایجاد نشده است و این در حالی است که میزان این تغییرات برای محصول بتن پارچه‌ای ساخته شده بر مبنای لایه‌ی ژئوممبران/چسب بیشتر می‌باشد. زیرا نفوذ حلال در نقاطی از محصول که اتصال بین لایه ژئوممبران و پارچه توسط چسب کامل نبوده، باعث از بین رفتن حدودی چسبندگی، لایه‌لایه شدن و متورم شدن محصول می‌گردد. نتایج حاصل از این تست نشان می‌دهد که محصول بتن پارچه‌ای تشکیل شده با روش فناوری ریخته‌گری پلیمری می‌تواند در بسیاری از کاربردهای که با سیال‌های شیمیایی در ارتباط است، نسبت به بتن پارچه‌ای ساخته شده با لایه‌ی ژئوممبران/چسب بهتر عمل کند.

جدول ۲- نتایج مربوط به مقاومت شیمیایی بتن پارچه‌ای بر پایه فناوری ریخته گری پلیمری

نمونه	نوع آزمون	تغییر وزن	لایه لایه شدن
نمونه ساخته شده با فناوری ریخته‌گری	دمای اتاق، حلال بنزن، ۴۸ ساعت	۱٪ افزایش	خیر
نمونه ساخته شده با لایه‌ی ژئوممبران/چسب	دمای اتاق، حلال بنزن، ۴۸ ساعت	۲٪ کاهش	بله
نمونه ساخته شده با فناوری ریخته‌گری	دمای اتاق، حلال اکتان، ۴۸ ساعت	۱٪ افزایش	خیر
نمونه ساخته شده با لایه‌ی ژئوممبران/چسب	دمای اتاق، حلال اکتان، ۴۸ ساعت	۱٪ افزایش	خیر
نمونه ساخته شده با فناوری ریخته‌گری	دمای اتاق، حلال هگزان، ۴۸ ساعت	۳٪ افزایش	خیر
نمونه ساخته شده با لایه‌ی ژئوممبران/چسب	دمای اتاق، حلال هگزان، ۴۸ ساعت	۳٪ کاهش	بله
نمونه ساخته شده با فناوری ریخته‌گری	دمای اتاق، حلال تولوئن، ۴۸ ساعت	۱٪ افزایش	خیر
نمونه ساخته شده با لایه‌ی ژئوممبران/چسب	دمای اتاق، حلال تولوئن، ۴۸ ساعت	۱٪ افزایش	بله
نمونه ساخته شده با فناوری ریخته‌گری	دمای اتاق، حلال آب، ۴۸ ساعت	۱٪ افزایش	خیر
نمونه ساخته شده با لایه‌ی ژئوممبران/چسب	دمای اتاق، حلال آب، ۴۸ ساعت	۱٪ افزایش	خیر

۴-۴- بررسی آب بندی

به منظور اندازه‌گیری و مقایسه میزان آب بندی بتن پارچه‌ای ساخته شده با فناوری ریخته گری پلیمری و بتن پارچه‌ای ساخته شده با پوشش لایه ژئوممبران/چسب، از قالب‌های نشان داده شده در شکل-۳ استفاده گردید.

در این جهت، سعی بر این شده که نمونه واقعی از محصولات بدست آمده از هر دو فناوری تهیه و سپس توانایی آن‌ها در نگهداری وزن مشخصی از آب (درصد تغییرات وزن آب) نسبت به زمان اندازه‌گیری و بررسی شود. همانطور که در شکل-۸ نشان داده شده است، از قالب استوانه ای برای آزمایش میزان آب بندی محصول بتن پارچه‌ای ساخته شده با فناوری ریخته‌گری پلیمری استفاده گردید. در این روش، ابتدا شکل دایره‌ای برای کف قالب استوانه‌ای برش داده شده و در درون قالب قرار می‌دهیم، در ادامه از خمیر رزینی مورد نظر برای اطراف نمونه‌ای دایره‌ای و سطح نمونه اطراف و کناره‌های نمونه برای اتصال به قطعه‌ی عمودی) استفاده و سپس قطعه‌ی رول شده (در این حالت نمونه اول رول شده و سپس دوخته می‌شود و در ادامه محل اتصال این نمونه از داخل پارچه سه بعدی با رزین آب بندی شده است) در داخل این قالب و بر روی نمونه‌ی دایره‌ای قرار می‌گیرد تا رزین در محل اتصال دو قطعه به صورت کامل عمل چسبندگی و اتصال را خوب انجام دهد.

شکل ۸- محصول شکل دهی شده با بتن پارچه‌ای ساخته شده با فناوری ریخته گری پلیمری

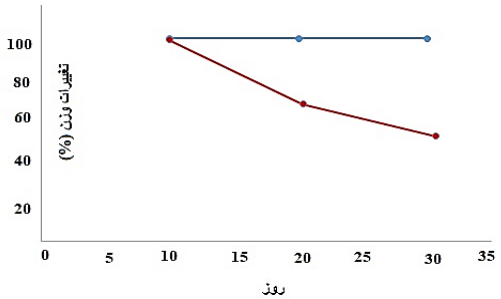
پس از خشک شدن رزین‌های اتصال دهنده قطعات عمل گیرش و سخت شده انجام می‌گیرد. در تمامی این مراحل دقت شده است

که آب از درزهای دوخته شده و اتصال یافته توسط رزین، خارج نگردد.

در ادامه، از قالب مکعبی برای ساخت محصول بتن پارچه‌ای ساخته شده با لایه ژئوممبران /چسب جهت آزمایش آب بندی استفاده گردید (شکل-۹).

شکل ۹- محصول شکل دهی شده با بتن پارچه‌ای ساخته شده با لایه ژئوممبران

شکل-۱۰ نتایج مربوط به آزمایش آب بندی بتن پارچه‌ای ساخته شده با فناوری ریخته‌گری پلیمری و بتن پارچه‌ای ساخته شده با روش رایج را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل-۱۰ نشان داده شده است، نمونه محصول بتن پارچه‌ای تهیه شده بر مبنای پوشش ریخته‌گری پلیمری درجا، تا حدود ۳۰ روز هیچ آبی به بیرون از محصول نهایی نفوذ نکرده و این موضوع از پوشش یکنواخت و درجا از پلیمر را بر روی سطح بتن پارچه‌ای را نشان می‌دهد و این در حالی است که در محصول بتن پارچه‌ای ساخته شده با لایه ژئوممبران و چسب، در کمتر از ۱۰ روز، آب بندی را از خود از دست داده و آب به دیوارهای بیرونی محصول رسیده است.



شکل ۱۰- میزان تغییرات وزن آب موجود در مخزن‌های استوانه‌ای و مکعبی برای محصولات بتن پارچه‌ای

در فناوری ریخته‌گری پلیمری درجا، از هیچ‌گونه چسبی استفاده نمی‌شود، و رزین با ویسکوزیته مناسب بر روی بستر سه بعدی با روش دکتر بلید و با ضخامت مناسب پوشش داده می‌شود. با توجه به ماهیت رزین، به هنگام قرار گیری بر روی سطح بستر سخ بعدی، به واسطه خمیری بودن، در شبکه بستر سه بعدی نفوذ کرده و اتصال محکمی بین رزین و بستر سه بعدی صورت می‌گیرد و همین موضوع باعث تشکیل یک محصول یکنواخت و مناسب می‌شود. اما در روش رایج، یک ورق ژئوممبران با چسب بر روی بستر سه بعدی قرار می‌گیرد و ممکن است سیمان موجود بر روی سطح بستر باعث اتصال مناسب ورق پلیمری و بستر سه بعدی نشود. از طرفی به واسطه اتصال ورق و زیرلایه سه بعدی با چسب و تشکیل محصول نهایی، چسب به صورت کامل بر روی سطح زیرلایه سه بعدی پخش نشده باشد و راه نفوذ آب به جداره خارجی بتن پارچه‌ای ایجاد و آب‌بندی محصول نهایی از بین برود.

۴-۵- بررسی مقاومت دمایی

تست ذوب و یخبندان محصول بتن پارچه‌ای ساخته شده با روش ریخته‌گری پلیمری و روش لایهٔ ژئوممبران/چسب، در دماهای مختلف طبق استاندارد (EN12467) [۱۸] مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت(جدول-۳).

جدول ۳- رفتار حرارتی نمونه بتن پارچه‌ای ساخته شده با فناوری ریخته‌گری پلیمری و نمونه رایج ساخته شده با ورق ژئوممبران و چسب در برابر لایه لایه شدن در دماهای مختلف (علامت √ به معنای جدا شدن و علامت × به معنای جدا نشدن لایه از بستر محصول می‌باشد)

نمونه	۲۰- ˚C	۱۰- ˚C	۰ ˚C	۳۰ ˚C	۸۰ ˚C	۱۰۰ ˚C
ریخته گری پلیمری	×	×	×	×	×	×
ورق ژئوممبران	√	√	×	×	×	√

همانطور که در جدول-۳ نشان داده شده است، نمونه ساخته شده با فناوری پوشش رزین پلیمری نسبت به نمونه تجاری ساخته شده بر پایه ورق ژئوممبران/ چسب، مقاومت دمایی مناسبی در برابر لایه لایه شدن از خود نشان داده است. به واسطه‌ی نفوذ رزین پوشش دهنده در شبکهٔ سه بعدی، و اتصال محکم بین آن‌ها، محصول تشکیل شده بر پایه این فناوری، نسبت به دماهای مختلف خواص مناسبی را از حود نشان داده است. این در حالی است که نمونه ساخته شده با فناوری ورق ژئوممبران پلیمری/چسب، تحت تنش‌های

مختلف دمایی، لایه ژئوممبران به واسطه‌ی از دست دادن مقاومت چسب، از بدنهٔ محصول بتن پارچه‌ای جدا شده است.

۵- نتیجه‌گیری

به منظور طراحی و ساخت محصول بتن پارچه‌ای و حل برخی از چالش‌های آن از جمله لایه لایه شدن و اتصال ضعیف ورق پلیمری با زیرلایه سه بعدی، از روش ریخته‌گری پلیمری درجا استفاده گردید. در این روش، لایهٔ یکنواختی از کوپلیمر وینیل استات/ بوتیل اکریلات با روش دکتر بلید بر روی بستر بتن پارچه‌ای پوشش داده شد. نتایج نشان داد که نمونه محصول بتن پارچه‌ای ساخته شده در این کار، دارای مقاومت مکانیکی، شیمیایی و دمایی مناسبی بوده و خواص مناسبی را از خود نشان داد. در ادامه برای بررسی نوع روش در کاربرد محصول، آزمایش‌های مقاومت دمایی، آب بندی و مقاومت مکانیکی برای هر دو محصول بتن پارچه‌ای ساخته شده با فناوری ریخته‌گری پلیمری و روش رایج(استفاده از ورق ژئوممبران و چسب) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که محصول ساخته شده با فناوری ریخته‌گری پلیمری، دارای خواص آب بندی، مقاومت دمایی و مقاومت مکانیکی قابل قبولی نسب به نمونه بتن پارچه‌ای ساخته شده با لایه‌ی ژئوممبران/چسب داشته است.

۶- مراجع

[1] Malnar, Leo, Bruno Matjašić, and Boris Kereš. "Concrete Canvas application." In 6th International Conference on Road and Rail Infrastructure. 2021.

[2] Kadam, Kaustubh A. "Development of Concrete Canvas for Structural Applications." In Advances in Civil Engineering and Infrastructural Development, pp. 637-644. Springer, Singapore, 2021.

[3] Ding, Guangya, Lin Zhou, Jun Wang, Ying Xu, Xueyu Geng, and Xiaobin Li. "Shaking table tests on gravel slopes reinforced by concrete canvas." Geotextiles and Geomembranes 48, no. 4 (2020): 539-545.

[4] Yangfeng, Zhou, Li Li, and Zhang Zhongfeng. "Research on the Design of Concrete Canvas Furniture." Furniture & Interior Design (2017): 05.

[5] Li, Hui, Huisu Chen, Xiangyu Li, and Fangyuan Zhang. "Design and construction application of concrete canvas for slope protection." Powder Technology 344 (2019): 937-946.

[6] Li, Hui, Huisu Chen, Lin Liu, Fangyuan Zhang, Fangyu Han, Tao Lv, Wulong Zhang, and Yujie Yang. "Application design of concrete canvas (CC) in soil reinforced structure." Geotextiles and Geomembranes 44, no. 4 (2016): 557-567.

[7] Jun, Zhang, Xu Wei, Weng Xingzhong, Gao Peiwei, Yao Zhihua, Su Lihai, and Wang Jiang. "Application and research status of concrete canvas and its application prospect in emergency engineering." Journal of Engineered Fibers and Fabrics 15 (2020): 1558925020975759.

[8] Zhou, Lin, Guangya Ding, Jie Tan, Xiaoxia Zhao, and Jun Wang. "Seismic response of concrete-canvas reinforced slopes: influence of tilt degrees for reinforcement." Journal of Earthquake and Tsunami 14, no. 03 (2020): 2050011.

[9] Niu, Jiangang, Wenming Xu, Jingjun Li, and Jian Liang. "Influence of Cross-Sectional Shape on the Mechanical Properties of Concrete Canvas and CFRP-Reinforced Columns." Advances in Materials Science and Engineering 2021 (2021).

[10] Han, Fangyu, Huisu Chen, Wulong Zhang, Tao Lv, and Yujie Yang. "Influence of 3D spacer fabric on drying shrinkage of concrete canvas." Journal of Industrial Textiles 45, no. 6 (2016): 1457-1476.

[11] Han, Fangyu, Huisu Chen, Xiangyu Li, Buchuan Bao, Tao Lv, Wulong Zhang, and Wen Hui Duan. "Improvement of mechanical properties of concrete canvas by anhydrite-modified calcium sulfoaluminate cement." Journal of Composite Materials 50, no. 14 (2016): 1937-1950.

[12] Pallavi K. Pasnur*, Ansari Umair Ahmad. "Experimental Study on Concrete Canvas." Journal of Advances and Scholarly Researches in Allied Education 15, no. 2 (2018): 648 - 652 (5).

[13] Zhang, Fangyuan, Huisu Chen, Xiangyu Li, Hui Li, Tao Lv, Wulong Zhang, and Yujie Yang. "Experimental study of the mechanical behavior of FRP-reinforced concrete canvas panels." Composite Structures 176 (2017): 608-616.

[14] Han, Fangyu, Huisu Chen, Kefeng Jiang, Wulong Zhang, Tao Lv, and Yujie Yang. "Influences of geometric patterns of 3D spacer fabric on tensile behavior of concrete canvas." Construction and Building Materials 65 (2014): 620-629.

[15] Bahukudumbi, Pradipkumar, Randolph S. Kohlman, Mark A. Hornung, Peter Brewin, and William Crawford. "Composite textile." U.S. Patent Application 14/048,630, filed April 9, 2015.

[16] Standard, A. S. "D638, Standard test method for tensile properties of plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA,(2010)." Google Scholar There is no corresponding record for this reference (2013).

[17] STM D6768 / D6768M-20, Standard Test

Method for Tensile Strength of Geosynthetic Clay Liners, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020
[18] EN, BS. "Fibre-cement flat sheets. Product specification and test methods." Br. Stand. Inst. (2012): 60.

Design, fabrication and inspection of textile concrete based on polymer / composite paste casting coating technology

Mohsen Moslehi
Researcher, Imam Hossein University, Faculty of science, Chemistry group.
Mohammad Fayyaz *
Assistant Professor, Imam Hussein University, Engineering faculty, Civil Engineering group.
Saeid Ahmadi
Researcher, Imam Hussein University, Engineering faculty, Civil Engineering group.

Abstract

One of the main challenges of conventional concrete canvas is the separation of the geo-membrane layer from the fabric concrete substrate, which has caused major problems in the discussion of the application of this product. In this work, the method of casting polymer paste based on acrylic resins was used to create a single-layer coating of sealing resin with the high overall mechanical strength of the product, and the properties of the product were investigated. In this method, polymer paste is formed in one step without the use of adhesive and geo-membrane layer on the three-dimensional substrate bed, and the overall productivity of concrete canvas is formed. The results showed that concrete canvas produced based on polymer paste casting method with suitable mechanical strength (30 (kN / mm^2)), better sealing (up to 30 days without changing weight against water), non-layering, Suitable chemical resistance against hexane, toluene, benzene and octane and better temperature resistance (from -20 to 100 C) than conventional concrete canvas product.

Keywords: Concrete canvas, Geo-membrane layer, Polymer casting method, Acrylic resins.

* Corresponding Author: m.fayyaz@modares.ac.ir