

بررسی تأثیر عوامل فرآیندی بر رفتار خزشی بلندمدت ژئوتکستایل‌های پلی‌استر بافته شده و بی‌بافت سوزن‌زنی شده

حسن مشروطه، اسفندیار اختیاری، سعید فتاحی، سید مصطفی احمدی، میترا بخشی، زهرا دهقان بناذکی

چکیده

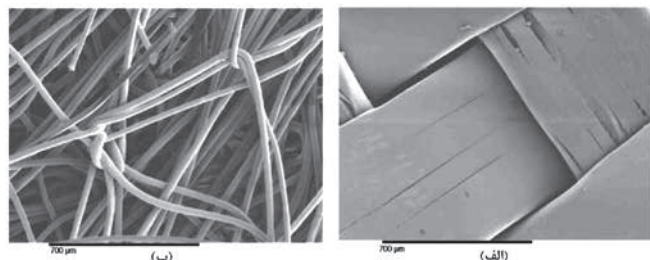
بررسی خواص مکانیکی ژئوتکستایل‌ها بطور اعم و رفتار بلندمدت آنها در مقابل بارگذاری‌های ثابت (خزش) بطور اخص، به دلیل نحوه کاربرد آنها، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. در این تحقیق، ضمن طراحی دستگاه اندازه‌گیری خزش بلندمدت منسوجات، تأثیر پارامترهای تراکم و ساختار نخ پودا از یک طرف و اثر عوامل وزن واحد سطح، تراکم سوزن‌زنی و عمق نفوذ سوزن از طرف دیگر، به ترتیب بر رفتار خزشی ژئوتکستایل‌های بافته شده و بی‌بافت سوزن‌زنی شده مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج بدست آمده برای ژئوتکستایل‌های بافته شده نشان می‌دهد که در مجموع با افزایش تراکم پودی، میزان خزش ژئوتکستایل افزایش می‌یابد، همچنین برای کلیه ساختارهای بررسی شده نخ پودا، رفتار خزشی ثانویه، بطور یکسان برآورد می‌شود. علاوه بر این، نتایج مربوط به ژئوتکستایل‌های بی‌بافت، نشان‌دهنده کاهش مقدار خزش با افزایش مقادیر عمق نفوذ سوزن، وزن واحد سطح و تراکم سوزن‌زنی است. به علاوه، میزان خزش ژئوتکستایل‌های بی‌بافت، در شرایط مشابه، به مراتب بالاتر از نمونه‌های بافته شده است. همچنین کرنش خزشی برای ساختارهای بی‌بافت، بر خلاف بافته شده، طی مدت زمان کوتاه‌تری به حداکثر میزان خود می‌رسد و پس از آن روند نسبتاً یکنواختی را طی می‌نماید. در واقع، صرف‌نظر از مقدار کرنش خزشی اولیه، نمونه‌های بی‌بافت برای خزش‌های بلندمدت، رفتاری پایدارتر را از خود نشان می‌دهند.

مقدمه

الیاف است که عموماً با استفاده از درگیری فیزیکی (غالباً سوزن‌زنی) به هم اتصال یافته و یا بعضاً با استفاده از حرارت و یا چسب‌های شیمیایی، فرآیند اتصال آنها به یکدیگر و نهایتاً شکل‌گیری یک سطح منسوج صورت می‌پذیرد. با توجه به تعدد روش‌ها، مصالح و مواد مختلف موجود در صنعت نساجی برای تهیه ژئوتکستایل، جای تعجب ندارد که انواع مختلفی از آن برای کاربردهای مختلف در دسترس باشد و با توجه به شرایط فیزیکی، مکانیکی، هیدرولیکی و دوام موردنیاز، نوع مناسب آن انتخاب گردد. مسلم است که ژئوتکستایل‌ها در مصارف گوناگون خود، از مرحله نصب الی مصرف، همواره تحت تأثیر نیروهای مختلف مکانیکی قرار دارند. از طرف دیگر بدیهی است که خواص مکانیکی ژئوتکستایل‌ها می‌بایست متناسب با کاربردهایشان باشد. به عبارت دیگر نوع و میزان نیرو یا تغییر شکلی که می‌توانند تحمل کنند، در انتخاب نوع ژئوتکستایل مصرفی مؤثر است. لذا هر گونه کوتاهی در تأمین خواص مکانیکی مورد نیاز، می‌تواند کارایی مناسب ژئوتکستایل‌ها را با تردید مواجه کند.

از جمله خواص مکانیکی مهم مواد، رفتار آنها در مقابل اعمال بار خزشی می‌باشد. خزش، تغییر شکلی وابسته به زمان است که نتیجه اعمال یک بار ثابت به ماده، در دمای ثابت است. با گذشت زمان، تغییر شکل خزش (کرنش خزشی) ممکن است از حد مجاز تحمل ساختار تشکیل‌دهنده مواد فراتر برود. لذا علی‌الاصول، پارگی مربوط به خزش، مدت‌ها پس از اعمال بار رخ می‌دهد (بلندمدت) [۲]. بدیهی است که ژئوتکستایل‌ها در برخی از کاربردهای خود مانند جداسازی و غیره، تحت تأثیر اعمال بارهای ثابت دائمی

امروزه در مهندسی عمران، انواع ژئوسینتتیک‌ها به طور اعم و منسوجات گوناگون به طور اخص، به صورت گسترده در قالب محصولات از قبیل ژئوتکستایل‌ها، برخی از ژئوگریدها و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌طور مثال، ژئوتکستایل‌ها عموماً پارچه‌های نفوذپذیری هستند که هنگامی که در مجاورت خاک به کار می‌روند، توانایی جداکردن، فیلتر کردن، تقویت، حفاظت یا زهکشی را دارا می‌باشند و بالطبع بر حسب ویژگی‌های از پیش تعیین شده برای آنها، می‌توانند در پروژه‌های مختلف مهندسی عمران مانند سنگ‌فرش‌ها، سدها، خاکریزها، کنترل رسوب، زه‌کشی و غیره به کار گرفته شوند. بر مبنای نوع فرآیند تولید، ژئوتکستایل‌ها به دو نوع بافته شده و بی‌بافت طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۱). ژئوتکستایل‌های بافته شده در واقع پارچه‌هایی هستند که از درگیری دسته نخ‌های تار و پودا با یکدیگر شکل می‌گیرند و نوع بی‌بافت آن، توده‌ای از



شکل ۱. ژئوتکستایل (الف) بافته شده تار و پودی (ب) بی‌بافت سوزن‌زنی شده [۱]



قرار می‌گیرند. بنابراین کرنش بلندمدت ژئوتکستایل باید به گونه‌ای باشد تا از عدم تغییر شکل‌های موضعی زیاد از حد یا گسستگی آن اطمینان حاصل شود [۱]. چرا که حتی تغییر شکل‌های موضعی زیاد از حد و بعضاً غیرقابل بازگشت ژئوتکستایل نیز به دلیل به وجود آمدن تغییراتی در خواص فیزیکی آن از جمله ضخامت و اندازه منافذ، می‌تواند در کارایی ژئوتکستایل به کار گرفته شده تأثیر بسزایی داشته باشد. از سوی دیگر، پُر واضح است که منسوجات و به طبع آن ژئوتکستایل‌ها موادی ویسکوالاستیک هستند. به عبارت دیگر موادی هستند که به هنگام اعمال بار، هر دو رفتار الاستیک (کرنش تابع تنش اعمال شده) و ویسکوزی (کرنش تابع تنش و زمان اعمال بار) را توأم از خود نشان می‌دهند. لذا کرنش خزشی یک ماده ویسکوالاستیک شامل رفتاری است که در آن، ماهیت هر دو عامل خزش و ویسکو الاستیک بودن، به صورت توأم، در زمان بلندمدت موضوعیت پیدا می‌کند. در این راستا، بعضاً رفتار ویسکوالاستیک برخی از پلیمرها و نحوه وابستگی رفتار آنها به زمان، دما و تنش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۳].

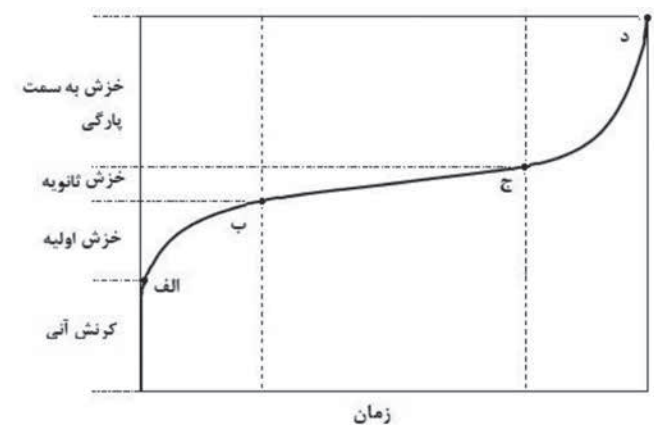
شکل ۲ مراحل مختلف یک رفتار خزشی را نشان می‌دهد. همانگونه که مشخص است رفتار کامل خزش مواد پلیمری را می‌توان به چهار مرحله تفکیک کرد: کرنش آنی، خزش اولیه، خزش ثانویه و خزش به سمت پارگی. زمانی که بار اعمال می‌شود، کرنش آنی، نتیجه تغییر شکل الاستیک یا پلاستیک مواد می‌باشد و این مرحله مستقل از زمان است. در مرحله خزش اولیه، به دلیل لغزش زنجیرهای پلیمری ناشی از اعمال تنش و نتیجتاً تغییر در آرایش یافتگی آنها، نرخ خزش در یک مقدار نسبتاً زیاد شروع می‌شود و به تدریج به مقادیر کمتری کاهش می‌یابد. سپس با گذشت زمان، مقدار خزش به حالت پایدار مرحله دوم (خزش ثانویه) می‌رسد که جریان ویسکوزی در پلیمرها رخ می‌دهد و در صورتی که سطح تنش اعمالی، در مقایسه با حداکثر مقاومت ساختار، در حد بالنسبه پایین باشد (که غالباً این‌گونه است)، این مرحله، مدت زمان قابل توجهی طول خواهد کشید. در نهایت، مواد به مرحله سوم خزش می‌رسند که میزان خزش با نرخ قابل توجهی افزایش می‌یابد تا به پارگی خزشی منجر شود [۴]. لذا در بررسی رفتار خزشی، می‌توان چهار نقطه بحرانی (الف الی د) را نیز مشخص نمود که طبیعتاً هر یک تأثیر خاص خود را بر خواص فیزیکی، همچنین عکس‌العمل‌های رفتاری ژئوتکستایل در آن مرحله از بار اعمال شده دارند. در صورتی که کرنش آنی به عنوان یک خزش کوتاه مدت اولیه که عکس‌العمل‌های رفتاری ژئوتکستایل از آن نقطه به بعد قابل توجه خواهد بود، در نظر گرفته شود (رسیدن به نقطه الف)؛ همچنین ناحیه خزش نهایی (گذر از نقطه برگشت ژئوتکستایل بی‌بافت می‌باشد [۱۳].

محققین دیگری نیز برخی عوامل خارجی از قبیل مقدار بار اعمال شده، زمان، درجه حرارت و محیط خاک را جهت بررسی رفتار خزشی ژئوتکستایل‌های مورد مطالعه خود، در نظر گرفتند [۱۴-۱۷]. همچنین فرانسوا و همکارانش نتایج خزش را در مجاورت خاک بررسی کردند. نتایج آزمون‌های خزش انجام شده بر روی نمونه‌های ژئوتکستایل بافته شده و بی‌بافت از جنس پلی‌استر، نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه نوع خاک بر روی کاهش کرنش خزشی ژئوتکستایل بی‌بافت به دلیل نفوذ ذرات خاک به آن و تأثیر ناچیز آن بر روی نمونه‌های بافته شده می‌باشد. البته مطابق انتظار، افزایش درجه حرارت آزمون، منجر به افزایش میزان خزش می‌گردد [۱۷].

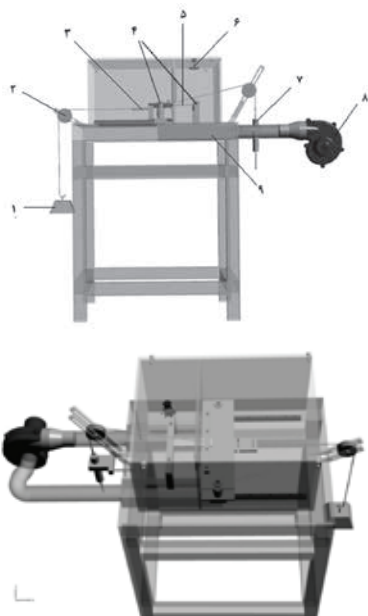
دیگر محققان طی تجربیات خود تشابه بین مدول خزشی تابع زمان در دمای ثابت و مدول خزشی تابع دما در زمان ثابت را نیز نشان دادند. از آنجایی که انجام آزمایشات

قرار می‌گیرند. بنابراین کرنش بلندمدت ژئوتکستایل باید به گونه‌ای باشد تا از عدم تغییر شکل‌های موضعی زیاد از حد یا گسستگی آن اطمینان حاصل شود [۱]. چرا که حتی تغییر شکل‌های موضعی زیاد از حد و بعضاً غیرقابل بازگشت ژئوتکستایل نیز به دلیل به وجود آمدن تغییراتی در خواص فیزیکی آن از جمله ضخامت و اندازه منافذ، می‌تواند در کارایی ژئوتکستایل به کار گرفته شده تأثیر بسزایی داشته باشد. از سوی دیگر، پُر واضح است که منسوجات و به طبع آن ژئوتکستایل‌ها موادی ویسکوالاستیک هستند. به عبارت دیگر موادی هستند که به هنگام اعمال بار، هر دو رفتار الاستیک (کرنش تابع تنش اعمال شده) و ویسکوزی (کرنش تابع تنش و زمان اعمال بار) را توأم از خود نشان می‌دهند. لذا کرنش خزشی یک ماده ویسکوالاستیک شامل رفتاری است که در آن، ماهیت هر دو عامل خزش و ویسکو الاستیک بودن، به صورت توأم، در زمان بلندمدت موضوعیت پیدا می‌کند. در این راستا، بعضاً رفتار ویسکوالاستیک برخی از پلیمرها و نحوه وابستگی رفتار آنها به زمان، دما و تنش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۳].

شکل ۲ مراحل مختلف یک رفتار خزشی را نشان می‌دهد. همانگونه که مشخص است رفتار کامل خزش مواد پلیمری را می‌توان به چهار مرحله تفکیک کرد: کرنش آنی، خزش اولیه، خزش ثانویه و خزش به سمت پارگی. زمانی که بار اعمال می‌شود، کرنش آنی، نتیجه تغییر شکل الاستیک یا پلاستیک مواد می‌باشد و این مرحله مستقل از زمان است. در مرحله خزش اولیه، به دلیل لغزش زنجیرهای پلیمری ناشی از اعمال تنش و نتیجتاً تغییر در آرایش یافتگی آنها، نرخ خزش در یک مقدار نسبتاً زیاد شروع می‌شود و به تدریج به مقادیر کمتری کاهش می‌یابد. سپس با گذشت زمان، مقدار خزش به حالت پایدار مرحله دوم (خزش ثانویه) می‌رسد که جریان ویسکوزی در پلیمرها رخ می‌دهد و در صورتی که سطح تنش اعمالی، در مقایسه با حداکثر مقاومت ساختار، در حد بالنسبه پایین باشد (که غالباً این‌گونه است)، این مرحله، مدت زمان قابل توجهی طول خواهد کشید. در نهایت، مواد به مرحله سوم خزش می‌رسند که میزان خزش با نرخ قابل توجهی افزایش می‌یابد تا به پارگی خزشی منجر شود [۴]. لذا در بررسی رفتار خزشی، می‌توان چهار نقطه بحرانی (الف الی د) را نیز مشخص نمود که طبیعتاً هر یک تأثیر خاص خود را بر خواص فیزیکی، همچنین عکس‌العمل‌های رفتاری ژئوتکستایل در آن مرحله از بار اعمال شده دارند. در صورتی که کرنش آنی به عنوان یک خزش کوتاه مدت اولیه که عکس‌العمل‌های رفتاری ژئوتکستایل از آن نقطه به بعد قابل توجه خواهد بود، در نظر گرفته شود (رسیدن به نقطه الف)؛ همچنین ناحیه خزش نهایی (گذر از نقطه



شکل ۲. مراحل مختلف یک رفتار کامل خزشی مواد پلیمری



شکل ۳. نماهای شماتیک جانبی (بالا) و فوقانی (پایین) از دستگاه طراحی شده اندازه‌گیری خزش

۱- وزنه، ۲- قرقره، ۳- نیروسنج، ۴- گیره‌های نگهدارنده نمونه، ۵- نمونه مورد آزمون، ۶- حسگر دما، ۷- مبدل تفاضلی خطی (LVDT)، ۸- فن دمده هوا، ۹- المنت حرارتی تعبیه شده در محفظه ورود هوا به اتاقک نمونه

برای اندازه‌گیری میزان دقیق بار ثابت اعمال شده بر منسوج ژئوتکستایل، از نیروسنج S شکل کششی مدل DBBP-50 ساخت شرکت بونگشین با ظرفیت اسمی ۵۰ کیلوگرم و نمونه‌برداری تحت نرخ ۲۵ KHz استفاده شده است. همچنین جهت ثبت مقادیر ازدیاد طول، از یک مبدل تفاضلی خطی با درصد خطای ۰/۰۵٪ بهره گرفته شده است. برای سنجش میزان دمای اتاقک نمونه نیز از حسگر دما با دقت ۰/۰۱ درجه استفاده شده است. شایان ذکر است که قبل از به کارگیری هر سه ابزار اندازه‌گیری، جملگی تحت فرآیندهای کالیبراسیون مرتبط قرار داده شده‌اند تا با اطمینان کامل، امکان ارتباط مجزای داده‌های خروجی هر یک از حسگرها، به صورت دیجیتال، با بخش جمع‌آوری اطلاعات میسر باشد. شکل ۴ نحوه ارتباط اجزای مختلف دستگاه اندازه‌گیری رفتار خزشی را نشان می‌دهد.



شکل ۴. ارتباط اجزای مختلف دستگاه اندازه‌گیری رفتار خزشی

عموماً در مدت زمان محدود قابل اجرا می‌باشند، بالطبع در یک مدت زمان کم، تنها مقدار اندکی از رفتار ویسکوالاستیک خزشی، آشکار می‌شود. از طرف دیگر پژوهشگران دریافته‌اند که مواد در اثر افزایش دما، همان رفتار خزشی را از خود نشان می‌دهند که برای آنها در درجه حرارت کمتر، اما در زمان‌های طولانی‌تر به وجود می‌آید. در واقع آنها گزارش نموده‌اند که با جابجایی و به یکدیگر مرتبط نمودن منحنی‌های کوتاه‌مدت خزشی در درجه حرارت‌های مختلف، می‌توان رفتار خزشی مواد (کرنش-زمان) را برای مدت‌زمان طولانی در یک دمای ثابت پیش‌بینی نمود. این روش تجربی به عنوان اصل برهم‌کنش دما-زمان شناخته می‌شود [۱۸].

بررسی‌های انجام شده تاکنون، نشان می‌دهند که حجم گسترده‌ای از مطالعات صورت گرفته در حوزه بررسی رفتار خزشی ژئوتکستایل‌ها، به روش فرآیند (یافته شده، بی‌یافت و ...) و مواد اولیه (پلی‌استر، پلی‌پروپیلن و ...) اختصاص یافته است. همچنین نتیجه برخی از تحقیقات انجام شده، صرفاً گواه تأثیر افزایش درجه حرارت آزمایش بر کاهش زمان انجام آزمون خزشی می‌باشد. از طرف دیگر بدیهی است که کارایی بیشتر ژئوتکستایل‌ها در مقابل تغییر شکل‌های ناشی از بار مکانیکی، از جمله رفتار خزشی، همواره به صورت بلندمدت موردنظر می‌باشد؛ که مسلماً با توجه به طولانی بودن بیش از حد زمان انجام آزمون، پیش‌بینی رفتار خزشی بلندمدت ژئوتکستایل با استفاده از روش معمول انجام آزمون کششی (تحت بار ثابت)، در عمل امکان‌پذیر نمی‌باشد. لذا در این تحقیق، ابتدا نسبت به طراحی دستگاه اندازه‌گیری کرنش خزشی منسوجات که قابلیت انجام آزمون در درجه حرارت‌های مختلف را دارا باشد، اقدام گردید تا به کمک اصل برهم‌کنش دما-زمان و توسط نرم‌افزار آماده شده، بتوان رفتار خزشی بلندمدت ژئوتکستایل‌های مورد مطالعه را در یک دمای ثابت (فی‌المثل در یک دمای مرجع معادل ۲۵ درجه سانتی‌گراد) پیش‌بینی نمود. سپس با مشخص نمودن میزان کرنش خزشی بلندمدت در نقاط بحرانی «الف» و «ج» برای هر یک از ژئوتکستایل‌های مورد بررسی، تأثیر عوامل فرآیندی آنها بر رفتار خزشی بلندمدت، به کمک یک طراحی آزمایش آماری مورد مطالعه قرار گرفته است. شایان ذکر است عوامل فرآیندی انتخاب شده به عنوان متغیرهای مستقل ورودی طرح آماری شامل مهم‌ترین آنها از قبیل وزن واحد سطح، تراکم سوزن‌زنی و عمق نفوذ سوزن برای ژئوتکستایل‌های بی‌یافت سوزن‌زنی شده و دو عامل تراکم پودی و ساختار نخ بود، جهت ژئوتکستایل‌های یافته شده می‌باشند.

تجربیات

طراحی دستگاه اندازه‌گیری خزش بلندمدت

از پدیده خزش مواد، به عنوان وقوع ازدیاد طول در اثر گذشت زمان، هنگام اعمال بار ثابت تعبیر می‌شود. مهم‌ترین عامل در انجام آزمایش خزش که باید بدان توجه نمود، شرایط انجام آزمایش مانند دما است. به نحوی که با تغییر در آن، رفتارهای متفاوتی از منسوج مشاهده می‌گردد. در این تحقیق به جهت بررسی رفتار خزشی، اقدام به طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری و ثبت رفتار خزشی گردید. قسمت‌های اصلی این دستگاه شامل حسگرهای اندازه‌گیری میزان ازدیاد طول و نیروی وارده به ژئوتکستایل، تجهیزات ایجاد و کنترل دمای محیط آزمون و سیستم ابزار دقیق و نرم‌افزاری برداشت، ذخیره‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌های خزش است. شکل ۳ دو نمای شماتیک از دستگاه طراحی شده بررسی رفتار خزشی را با امکان انجام آزمایش در دماهای مختلف، نشان می‌دهد.



```

143 % --- Executes on button press in pushbtn_openin.
144 function pushbtn_openin_Callback(hObject, eventdata, handles)
145 % hObject handle to pushbtn_openin (see GCBO)
146 % state=get(handles.popupmenu_openfile,'value');
147 % id
148 [filename1, pathname] = uigetfile('*.bin','Select File');
149 if filename1 == 0
150 path(pathname);
151 cd(pathname)
152 fid = fopen(filename1,'r');
153 ss= str2num(get(handles.edit_ss,'string'));
154 spe=str2num(get(handles.edit_spe,'string'));
155 if get(handles.RB_unsign,'value')==1
156 type(1,1)='uint8';type(2,1)='uint16';type(4,1)='uint32'
157 else if get(handles.RB_sign,'value')==1
158 type(1,1)='int8';type(2,1)='int16';type(4,1)='int32';type(
159 end
160 type(ss,1)
161 if get(handles.RB_skip,'value')==1
162 skip=(25000*ss)/spe;
163 I= fread(fid, str2num(get(handles.edit_du,'string')), type(ss,1)
164 elseif get(handles.RB_average,'value')==1
165 j=1;
166 while ~feof(fid)
167 for sa=1:str2num(get(handles.edit_du,'string'))
168 end
169 end
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

```

شکل ۶. بخشی از متن نرم افزار خزش، آماده شده در فضای متلب

کمک تبدیل ولتاژ خروجی مبدا تفاضلی خطی به موقعیت گیره متحرک نگهدارنده نمونه، اندازه گیری می شود. جهت اطمینان از عدم تأثیر اغتشاشات الکترونیکی بر مقدار ولتاژ خروجی، علی رغم پیش بینی های سخت افزاری متداول در مجموعه ابزار اندازه گیری نیرو و جابه جایی (از جمله استفاده از سیم های انتقال جریان با پوشش ضد اغتشاش که تحت عنوان سیم های شیلددار شناخته می شوند)، نرم افزار خزش با فیلتر نمودن بسیار جزئی، داده های اندازه گیری شده توسط مبدا تفاضلی خطی را به موج های پیوسته تبدیل می نماید.

مواد مورد استفاده

تحقیق مورد نظر بر روی تعداد ۲۷ نمونه بی بافت سوزن زنی شده از جنس الیاف پلی استر با مشخصات مندرج در جدول ۱، همچنین تعداد ۶ نمونه بافته شده از جنس تار و پود ۱۰۰٪ پلی استر انجام گردیده است. همانگونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، تفاوت نمونه های بی بافت مورد بررسی، در تغییر متوسط وزن واحد سطح، عمق نفوذ سوزن و تراکم سوزن زنی (هر یک در سه سطح مختلف) است. برای مثال، نمونه AY3 نمونه ای با وزن واحد سطح ۴۴۶ گرم بر مترمربع، عمق نفوذ سوزن ۱۲ میلی متر و تراکم سوزن زنی ۲۰۰ نفوذ بر سانتی متر مربع می باشد.

نمونه های ژئوتکستایل بافته شده، دارای نخ تار یکسان و نخ های پود متفاوت هستند که مشخصه های نخ تار در جدول ۳ آورده شده است. همچنین دیگر مشخصه های فیزیکی پارچه های فیلامنتی استفاده شده، در جدول ۴ ارائه گردیده است. ضمناً نمره نخ پود در تمامی نمونه ها ثابت و مقدار آن ۱۵۰ دنیر، همچنین طرح بافت تار و پودی کلیه نمونه ها بافت تافته می باشد. تفاوت نمونه های پارچه بافته شده، تغییر در نوع ساختار نخ فیلامنتی پود و تراکم نخ پود است. شایان ذکر است، ساختار متفاوت نخ های پود مورد استفاده در شکل ۷ نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصه های فیزیکی الیاف پلی استر استفاده شده در تهیه ژئوتکستایل های بی بافت سوزن زنی شده

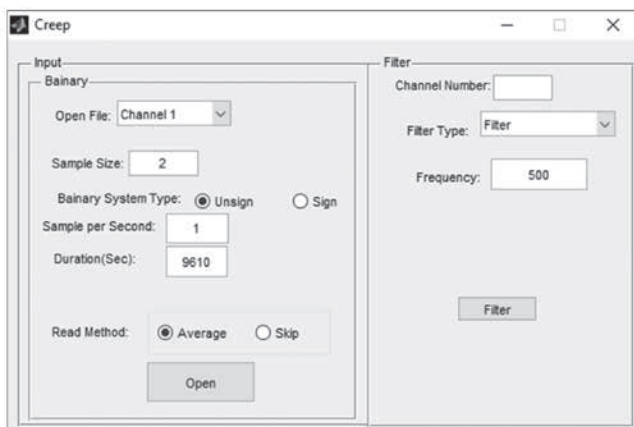
میانگین ظرافت (دنیر)	طول میانگین (میلیمتر)	میانگین تعداد فرموج در سانتی متر
۱۰/۲	۹۲	۲/۸

برای ثابت نگهداشتن نمونه های ژئوتکستایل، اقدام به طراحی گیره های نگهدارنده ای به شکل تخت و شیاردار گردید تا نمونه مورد آزمون در عرض، به طور یکنواخت گرفته شود. گیره سمت فن، ثابت است و گیره جلوی آن بر روی یک واگن نصب شده است که می تواند با کمترین اصطکاک، بر روی ریل تعبیه شده در زیر آن، جابه جا شود. دلیل وجود حداقل اصطکاک، ساختار مناسب انتخاب شده برای ریل و واگن می باشد.

بدیهی است که صحت انجام آزمون خزش در دماهای مختلف، از یک طرف نیازمند یکنواختی شرایط دمایی در اتاقک نمونه است و از طرف دیگر وابسته به پایداری شرایط محیطی، به جهت ثبت صحیح مقادیر لحظه ای نیروی ثابت اعمال شده به نمونه و از دید طول حادث شده در آن است. بدین منظور، اتاقکی به ابعاد ۳۷×۵۵×۲۳ سانتی متر و با ضخامت ۸ میلی متر از جنس پلی متیل متا اکریلات با ظرفیت تحمل حرارتی ۲۰۰ درجه سانتی گراد در اطراف نمونه تحت آزمایش در نظر گرفته شده است. همچنین داخل آن نیز دیوارهای از همان جنس تعبیه گردیده است تا بخش محل قرار گرفتن نمونه که حاوی المنت حرارتی است، از دیگر بخش اتاقک که محل قرار گرفتن نیروسنج است و دارای شرایط محیطی آزمایشگاه است، به نحو مطلوب جدا شود. همچنین از یک فن دمنده نیز برای دمیدن و عبور هوا از بین المنت ها و در نتیجه ورود هوای گرم به درون اتاقک استفاده شده است. شایان ذکر است که کنترل دقیق دمای محفظه قرار گرفتن نمونه، به کمک مدارهای کنترل و فرمان شامل منبع تغذیه، میکرو کنترلر، صفحه نمایش، رله ها و تجهیزات اغتشاش گیر الکترونیکی انجام شده است.

طراحی نرم افزار اندازه گیری خزش

بدیهی است که بررسی و تحلیل داده های مورد نیاز، علاوه بر لزوم دقت در طراحی قطعات، مستلزم طراحی و به کارگیری نرم افزار مناسب است. به همین دلیل نرم افزار مورد نیاز در محیط متلب طراحی گردید. نرم افزار خزش، قادر به برداشت دیجیتالی انواع داده از هر نوع حسگر الکترونیکی، همچنین ذخیره سازی آنها است. شکل های ۵ و ۶، به ترتیب، صفحه اصلی کاربر و بخشی از متن نرم افزار خزش را نشان می دهند. این نرم افزار در برگیرنده بخش های ورود و پردازش اطلاعات است. همچنین امکان ترسیم نمودارهای مختلف از تغییرات عوامل مورد مطالعه و نتایج حاصله را دارا است.



شکل ۵. نرم افزار خزش: صفحه اصلی کاربر

مقدار دقیق ازدیاد طول ژئوتکستایل در طی آزمون خزش، توسط نرم افزار مربوطه و به



جدول ۲. مقادیر عوامل فرآیندی ژئوتکستایل‌های بی‌بافت سوزن زنی شده

عامل فرآیندی	سطوح مقادیر عوامل فرآیندی	کد نمونه
وزن واحد سطح (g/m ²)	۴۴۶	A
	۵۴۴	B
	۶۹۰	C
عمق نفوذ سوزن (mm)	۱۰	X
	۱۲	Y
	۱۴	Z
تراکم سوزن زنی (cm ² /1)	۱۰۰	۱
	۲۰۰	۳
	۳۰۰	۵

جدول ۴. مقادیر عوامل فرآیندی ژئوتکستایل‌های بافته شده

کد نمونه	ساختار نخ بود	تراکم نخ بود در سانتی متر	طرح بافت
D1	جوشی	۲۵	سرژه Z2/2
D2	جوشی	۲۲	سرژه Z2/2
D3	جوشی	۲۸	سرژه Z2/2
D4	جوشی	۲۵	بافت ساده
D5	کاملاً کشیده شده (FDY)	۲۵	بافت ساده
D6	استرچ	۲۵	بافت ساده

روش آزمون

برای تعیین ابعاد نمونه‌ها از استاندارد ASTM D4595 [۱۹] کمک گرفته شده است. اگر چه استاندارد مذکور انجام آزمون کششی عریض را به جهت نوع کاربرد ژئوتکستایل‌ها توصیه می‌نماید، اما با توجه به محدوده مشخص شده در استاندارد و آنچه عموماً برای استحکام کششی بی‌بافت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، ابعاد این گروه از نمونه‌های ژئوتکستایل معادل ۷/۵×۲/۵ سانتی متر تعیین گردید. به همین رویه، ابعاد عریض نمونه‌های بافته شده ژئوتکستایل نیز معادل ۱۶×۸ سانتی متر تعیین شد. نمونه‌ها پس از آماده شدن به ابعاد مورد نظر و صرفاً در راستای طولی ژئوتکستایل که عموماً تحت بار خارجی قرار می‌گیرد، به مدت ۲۴ ساعت در شرایط محیطی استاندارد (متوسط ۲۲ درجه سانتی گراد و ۶۵٪ رطوبت نسبی) استراحت داده شدند. سپس هر یک از نمونه‌ها در فاصله بین دو فک نگهدارنده نمونه در دستگاه اندازه‌گیری خزش محکم گردیدند. پس از انجام تنظیم‌های مربوط به دما و قبل از اعمال بار، به مدت ۱۰ ثانیه سیستم برداشت داده روشن شده تا مقدار ثبت شده مذکور، به عنوان نقطه شروع (صفر فرضی)، ذخیره‌سازی شود. پس از انجام زمان تیر، نرم‌افزار برداشت داده شروع به کار نموده و توسط وزنه، به صورت تدریجی و در یک زمان مشخص، نیروی مورد نظر به نمونه اعمال می‌گردد. آزمون از دمای اولیه شروع شده و تا دمای نهایی به صورت پله‌ای با مقدار مشخص شده از قبل افزایش می‌یابد (جدول ۵).

شایان ذکر است که میزان بار اعمال شده بر روی نمونه‌ها حدود ۲۰٪ متوسط مقاومت کششی پارگی ژئوتکستایل‌های بی‌بافت و بافته شده مورد آزمون به ترتیب معادل ۱۰ و ۱۲ کیلوگرم تعیین گردیده است. همچنین به دلیل اینکه با وجود فضاهای متخلخل، ژئوتکستایل‌های بی‌بافت با افزایش ناگهانی دما دچار جمع شدگی می‌گردند و در نهایت ممکن است که منجر به اختلال در ثبت دقیق داده‌های خزشی شوند، افزایش دما

برای نمونه‌های بی‌بافت با فواصل حرارتی کوچکتر (نسبت به نمونه‌های بافته شده) اعمال گردید. مطالعه اثرات برهم‌کنش زمان-دما نشان می‌دهد که با استفاده از اطلاعات حاصل از رفتار کرنشی کوتاه مدت مواد در درجه حرارت‌های بالاتر، می‌توان رفتار بلندمدت آنها در درجه حرارت پایین‌تر (محیط) را پیش‌بینی نمود. به عبارت دیگر، نظریه اساسی در اثر مذکور این است که فرآیند کششی ویسکوالاستیک، در دماهای بالا شتابدار شده و با استفاده از معادله‌های ارائه شده می‌توان رفتار خزشی بلندمدت نمونه را تبیین نمود. بدین منظور، در این تحقیق، از روش افزایش پله‌ای دما استفاده گردیده است. روش یاد شده نیز در راستای مفاهیم اثر برهم‌کنش زمان-دما جهت توصیف خواص ویسکوالاستیک مواد پلیمری است. در واقع، روش استفاده شده موسوم به «سیم»، شامل بارگذاری نمونه واحدی است که به صورت پله‌ای در معرض دوره‌های افزایشی هم‌دما قرار گرفته است. بدیهی است که استفاده از نمونه واحد نگرانی مربوط به تغییرپذیری نمونه‌ها را برطرف می‌کند [۲۰]. از آنجا که ویژگی اثر برهم‌کنش زمان-دما در ارتباط با دمای شیشه‌ای مواد پلیمری ویسکوالاستیک قرار دارد، مدول کششی این مواد به هنگام اعمال بار، تابعی از زمان و همچنین دما است. نکته حائز اهمیت این است که اگر چه در مجموع، میزان مدول الاستیک با افزایش دما کاهش می‌یابد، اما منحنی مدول لحظه‌ای برای هر دمای مشخص، خود تابعی از زمان است و با تغییر دما تغییر شکل نمی‌دهد و تنها به سمت راست و یا چپ (در راستای محور زمان) انتقال می‌یابد. این بدان معنی است که همانگونه که ذکر شد، علی‌الاصول می‌توان با استفاده از منحنی‌های کوتاه مدت خزشی در دماهای مختلف، منحنی بلندمدت آن را در یک دمای مرجع (معمولاً دمای محیط) پیش‌بینی نمود [۱۸]. بدین منظور برای هر یک از نمونه‌های مورد آزمون، مراحل ذیل صورت پذیرفت:

- بدست آوردن منحنی‌های رفتار خزشی کوتاه مدت ژئوتکستایل در دماهای مختلف،

جدول ۳. مشخصه نخ تار ژئوتکستایل‌های بافته شده

نوع نخ تار	نمره نخ تار	تراکم تار	نمره شانه در سانتی متر / تعداد نخ نخکشی شده از هر دندانه شانه
فیلامنتی تابیده	۷۵ دنیر / ۳۶ فیلامنت	۳۰/cm	۳۰ / یک نخ



شکل ۷. ساختار نخ‌های پود مورد استفاده: (الف) جوشی، (ب) استرچ، (ج) کاملاً کشیده شده (FDY)

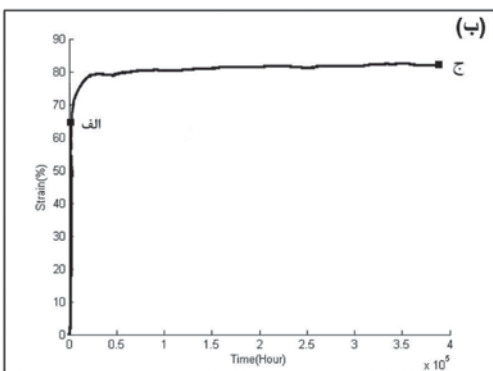
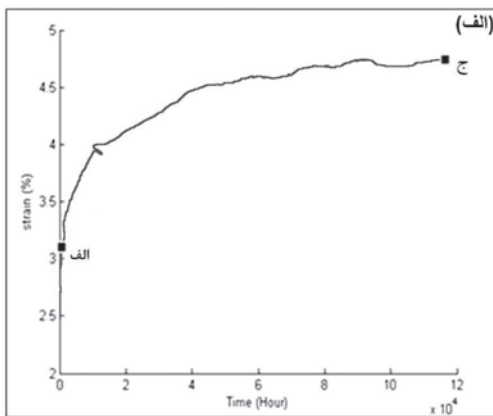


محیط معادل ۲۵ درجه سانتی گراد) و مقادیر ثابت C_1 و C_2 به ترتیب برابر $۱۷/۴$ و $۵۱/۶$ در نظر گرفته شدند [۱۸]. در حقیقت، ضریب جابجایی شاخصی است که نشان می‌دهد بر اساس درجه حرارت‌های آزمون و مرجع و برای تبدیل رفتار کوتاه‌مدت به بلندمدت، منحنی رفتاری هر نمونه را در محور زمان به چه میزان می‌توان احیاناً به سمت راست یا چپ (در این تحقیق به سمت راست در راستای افزایش زمان) جابجا نمود.

$$\text{Log } a_T = \frac{-C_1(T - T_{\text{ref}})}{C_2 + T - T_{\text{ref}}} \quad (1)$$

پیش‌بینی منحنی‌های رفتار خزشی بلندمدت ژئوتکستایل. شکل ۹، به عنوان یک الگو، درصد کرنش خزشی دو نمونه از ژئوتکستایل‌های بافته شده و بی‌بافت سوزن زنی شده مورد آزمون را بر حسب زمان (بلندمدت) نشان می‌دهد.

نقاط بحرانی «الف» و «ج» مطابق آنچه در شکل ۲ تعریف شده است، در شکل ۹ مشخص گردیده‌اند. بدیهی است که تشخیص نقاط بحرانی مذکور برای کلیه ژئوتکستایل‌های بی‌بافت سوزن زنی شده و بافته شده مورد آزمون، کمک می‌کند تا بتوان توسط یک تجزیه و تحلیل آماری مناسب، تأثیر عوامل فرآیندی در نظر گرفته شده را بر رفتار خزشی ژئوتکستایل‌های مورد مطالعه بررسی نمود. بدین منظور، نقاط شروع شیب منحنی خزش و خزش نهایی پیش‌بینی شده در بلندمدت، به ترتیب تحت عنوان نقاط بحرانی خزش اولیه «الف» و خزش ثانویه «ج» در نظر گرفته شده‌اند. جدول ۶ نتایج حاصل از تعیین نقاط بحرانی مذکور را نشان می‌دهد.



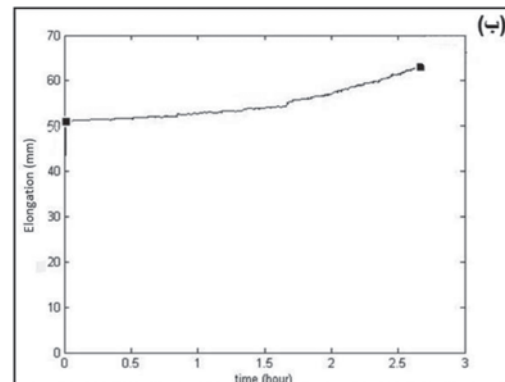
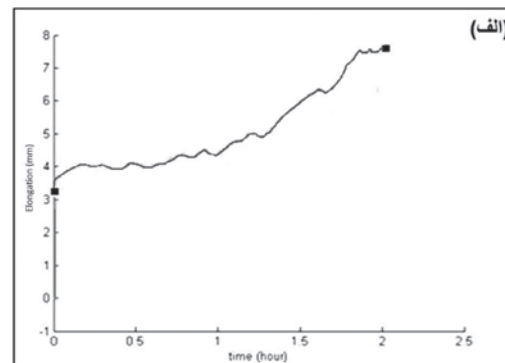
شکل ۹. پیش‌بینی درصد کرنش خزشی بلند مدت دو نمونه از ژئوتکستایل‌های بافته شده و بی‌بافت سوزن زنی شده در دمای محیط (الف) D2 بافته شده، (ب) AX1 بی‌بافت سوزن زنی شده

جدول ۵. تنظیمات آزمون خزش

مشخصه‌های آزمون خزش	بافته شده	بی‌بافت سوزن زنی شده
ابعاد نمونه (عرض×طول)	۱۶×۸ سانتی متر	۷/۵×۲/۵ سانتی متر
بار اعمال شده	۱۲ کیلوگرم	۱۰ کیلوگرم
دمای اولیه	۳۰ درجه	۳۰ درجه
دمای نهایی	۱۰۵	۱۰۵
مقدار افزایش دما در هر مرحله	۱۵	۵
زمان آزمون در هر مرحله	۱۰ دقیقه	۱۰ دقیقه
زمان اعمال نیروی اولیه	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه

بر اساس ترتیب حرارتی مشخص شده در جدول ۵، به عنوان یک الگو، شکل ۸ رفتار خزشی (از دیاد طول) کوتاه مدت دو نمونه از ژئوتکستایل‌های بافته شده و بی‌بافت سوزن زنی شده مورد آزمون را بر حسب زمان در طول مدت زمان اعمال درجه حرارت‌های پلکانی، نشان می‌دهد.

محاسبه مقدار ضریب جابجایی بر حسب دمای مرجع. در این مرحله، با استفاده از رابطه معرفی شده توسط ویلیامز-لندل و فری موسوم به معادله ولف (رابطه ۱)، ضریب جابجایی زمان (a_T) برای هر مرحله از افزایش پلکانی درجه حرارت تعیین گردید؛ در حالیکه-دمای آزمون در هر مرحله، T_{ref} دمای مرجع (در این تحقیق، درجه حرارت



شکل ۸. رفتار خزشی (از دیاد طول - زمان) کوتاه مدت دو نمونه از ژئوتکستایل‌های مورد آزمون در دمای ۳۰ الی ۱۰۵ درجه سانتی گراد (الف) D2 بافته شده، (ب) AX1 بی‌بافت سوزن زنی شده



جدول ۶- نتایج آزمون خزش برای ژئوتکستایل‌های بی‌بافت سوزن‌زنی شده و بافته شده

نمونه بی‌بافت	خزش اولیه (%)	خزش ثانویه (%)	نمونه بی‌بافت	خزش اولیه (%)	خزش ثانویه (%)	نمونه بی‌بافت	خزش اولیه (%)	خزش ثانویه (%)	نمونه بی‌بافت	خزش اولیه (%)	خزش ثانویه (%)
AX1	۶۷/۵۴	۸۱/۸۸	BX1	۵۹/۱۹	۷۰/۹۹	CX1	۴۷/۲۶	۵۶/۲۸	D1	۴/۲۶	۶/۰۷
AX2	۴۹/۵۶	۶۰/۲۵	BX2	۵۲/۱۱	۶۲/۱۷	CX2	۴۲/۰۴	۵۱/۰۳	D2	۳/۱	۴/۷۴
AX3	۵۷/۳۸	۶۸/۴۷	BX3	۴۵/۸۶	۵۰/۴۰	CX3	۳۹/۴۷	۴۷/۲۲	D3	۴/۲۵	۶/۴۴
AY1	۵۴/۷	۶۴/۴	BY1	۶۲/۶۵	۷۶/۶۸	CY1	۴۸/۱۲	۵۷/۰۹	D4	۵/۷۴	۷/۷۲
AY2	۵۰/۱۶	۶۱/۶۹	BY2	۳۹/۸۹	۴۸/۶۰	CY2	۴۷/۸۵	۵۸/۶۰	D5	۵/۲۴	۷/۰۱
AY3	۵۲/۳۸	۶۶/۵۷	BY3	۴۵/۶۱	۵۵/۰۸	CY3	۴۰/۹۴	۴۹/۷۶	D6	۴/۴۲	۶/۸۳
AZ1	۵۱/۷۳	۶۰/۱۶	BZ1	۳۴/۹۵	۴۳/۴۳	CZ1	۳۸/۷۱	۴۵/۶۲	-	-	-
AZ2	۳۷/۷۹	۴۶/۸۰	BZ2	۲۹/۰۴	۳۶/۵۳	CZ2	۲۵/۵۰	۳۲/۳۹	-	-	-
AZ3	۳۴/۹۷	۴۴/۷۹	BZ3	۳۲/۸۹	۴۰/۲۱	CZ3	۳۷/۵	۳۳/۶	-	-	-

نتایج و بحث

قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، در حالی که نتایج رفتار خزشی برای تراکم‌های پودی ۲۵ و ۲۸ به یکدیگر نزدیک‌تر هستند، تفاوت معنی‌داری با تراکم پودی ۲۲ دارند. این امر ناشی از تأثیر دوگانه‌ای است که افزایش تراکم نخ بود در ساختار پارچه اعمال می‌کند. بدین معنی که از یک طرف، افزایش تراکم نخ بود باعث افزایش فرموج‌نخ‌های تار (در راستای طولی پارچه) می‌شود و از طرف دیگر خود عامل افزایش اصطکاک مابین نخ‌های تار و بود و کاهش آزادی عمل آنها می‌گردد. بنابراین، هنگامی که نیرو در جهت طولی پارچه به نخ‌های تار وارد می‌گردد، فرموج‌نخ‌های تار باز شده و خزش پارچه بیش‌تر می‌شود. اما با زیاد شدن مجدد تراکم نخ بود از ۲۵ به ۲۸ نخ در سانتی‌متر، علاوه بر افزایش خزش‌های اولیه و ثانویه نسبت به تراکم پودی ۲۲ که بخش عمده‌ای از آن ناشی از باز شدن فرموج‌نخ‌های تار می‌باشد، به نظر می‌رسد اثر افزایش اصطکاک نخ‌های تار به دلیل زیاد شدن تراکم نخ بود از ۲۵ به ۲۸ نخ در سانتی‌متر، اثری غالب است و لذا نتایج خزشی نزدیک به یکدیگر در تراکم‌های پودی ۲۵ و ۲۸ نخ در سانتی‌متر حاصل می‌گردد. مواردی که جملگی در شکل ۱۰ قابل مشاهده می‌باشد.

همچنین با توجه به جدول ۷، متغیر ساختار نخ بود در سطح ۱٪، تأثیر معنی‌داری بر روی خزش اولیه دارد. لیکن برای خزش ثانویه در این سطح، معنی‌دار نیست. همچنین آزمون دانکن نتایج نشان می‌دهد که اگر چه نخ بود استرچ برای خزش اولیه در گروهی مجزا از دیگر نخ‌های بود قرار می‌گیرد، اما رفتار خزشی ثانویه برای کلیه ساختارهای نخ بود بطور یکسان برآورد می‌گردد. چرا که اختلاف مقدار ازدیاد طول پارچه (خزش) در راستای طولی، در حالی که تراکم نخ‌های بود ثابت است، می‌تواند بیشتر ناشی از میزان اصطکاک مابین نخ‌های تار و بود تلقی شود. این در حالی است که با باز شدن فرموج‌نخ‌های تار در اثر اعمال بار، ساختار پارچه به نحوی تغییر می‌کند که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نحوه

تجزیه و تحلیل نتایج مندرج در جدول ۶، به کمک نرم‌افزار SAS 9.1 صورت گرفته است. شایان ذکر است عوامل فرآیندی انتخاب شده به عنوان متغیرهای مستقل ورودی طرح آماری، شامل مهم‌ترین آنها از جمله تراکم پودی و ساختار نخ بود جهت ژئوتکستایل‌های بافته شده و وزن واحد سطح، تراکم سوزن‌زنی و عمق نفوذ سوزن برای ژئوتکستایل‌های بی‌بافت سوزن‌زنی شده می‌باشند. ضمناً متغیرهای پاسخ خروجی مدل آماری، مقادیر نقاط بحرانی درصد خزش اولیه و درصد خزش ثانویه می‌باشند.

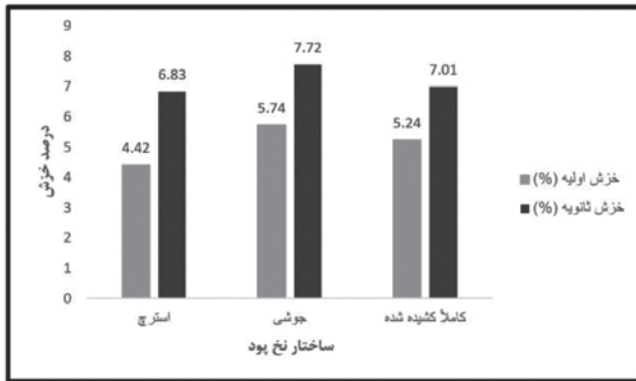
آزمون خزش ژئوتکستایل بافته شده

به منظور بررسی میزان اثرگذاری متغیرهای مستقل بر روی متغیرهای پاسخ، با توجه به تنوع نمونه‌های مورد بررسی، صرفاً آنالیز واریانس یک طرفه انجام شده است. جدول ۷ چگونگی نتایج آنالیز واریانس آماری حاصله را نشان می‌دهد.

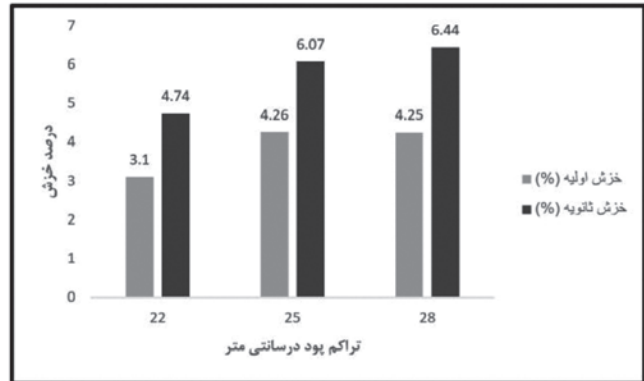
همان‌گونه که جدول ۷ نشان می‌دهد، برای هر دو متغیر پاسخ، مقدار Pr گزارش شده جهت متغیر مستقل تراکم نخ بود کمتر از ۰/۰۱ است. این امر نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تراکم پودی ژئوتکستایل بافته شده در سطح ۱٪ بر میزان خزش اولیه و ثانویه آنها می‌باشد. علاوه بر این، به جز در اثرگذاری متغیر ساختار نخ بود بر روی خزش ثانویه، در مابقی حالت‌ها، همبستگی قابل توجه نیز مشاهده می‌گردد. شکل ۱۰ چگونگی تأثیر تراکم پودی را در یک ساختار ثابت نخ بود (جوشی)، بر رفتار کلی خزشی ژئوتکستایل‌های بافته شده نشان می‌دهد. همچنین به‌منظور تشخیص گروه‌های متمایز، بر روی نتایج حاصل از آنالیز واریانس، آزمون دانکن انجام شد. نتایج نشان داد که برای هر دو متغیر پاسخ، تراکم پودی ۲۲ نسبت به دیگر تراکم‌ها در گروهی مجزا

جدول ۷- اثر متغیرهای مستقل بر روی متغیرهای پاسخ با استفاده از آنالیز واریانس یکطرفه

متغیر پاسخ	متغیر مستقل	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مجموع	F-value	P>F	R ²
خزش اولیه	تراکم پودی	۲	۶/۲۲	۳/۱۱۱	۲۱/۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۷۷
	ساختار نخ بود	۲	۸/۴۳	۴/۲۱	۲۶/۰۵	۰/۰۰۰۱	۰/۸۱
خزش ثانویه	تراکم پودی	۲	۱۱/۰۰	۵/۵۰	۳۴/۱۶	۰/۰۰۰۱	۰/۸۵
	ساختار نخ بود	۲	۲/۰۶	۱/۰۳	۳/۸۵	۰/۰۵۱	۰/۳۹



شکل ۱۱. تأثیر ساختار نخ پود بر روی درصد خزش اولیه و ثانویه در ژئوتکستایل‌های بافته شده



شکل ۱۰. تأثیر تراکم نخ پود بر روی درصد خزش اولیه و ثانویه در ژئوتکستایل‌های بافته شده

مدل‌های انتخابی است. در ضمن ضریب تعیین برای متغیرهای پاسخ Y_1 و Y_2 به ترتیب برابر با ۷۳٪ و ۷۱٪ می‌باشد؛ که بطور مثال ۷۳ درصد از تغییرات Y_1 توسط متغیرهای مستقل قابل پیش‌بینی است. همانطور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، با توجه به تأثیرپذیری متغیرهای پاسخ از تمامی متغیرهای مستقل، نتایج حاصله به صورت مدل رگرسیون آماری، مورد آزمون قرار گرفت. برآورد ضرایب متغیرهای مستقل، جهت بررسی چگونگی تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیرهای پاسخ می‌باشد. همچنین از آنجا که عامل تورم واریانس برای متغیرهای مستقل، معادل مقدار واحد به دست آمده است، مشخص می‌گردد که عوامل انتخابی متعامدند. بنابراین سهم تأثیر هر عامل بر روی متغیرهای پاسخ محاسبه گردیده است. نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که تمام مقادیر متغیرهای مستقل در سطح کمتر از ۰/۰۰۵ معنی‌دار می‌باشند. بنابراین مدل‌های نهایی بدست آمده، در رابطه (۲) و (۳) ارائه شده‌اند. همچنین در شکل‌های ۱۲ و ۱۳، چگونگی تأثیر متغیرهای مستقل بر خزش اولیه و ثانویه نشان داده شده است.

$$Y_1 = 128/958 - 0/44X_1 - 4/125X_2 - 0/48X_3 \quad (2)$$

$$Y_2 = 152/250 - 0/55X_1 - 4/587X_2 - 0/57X_3 \quad (3)$$

روابط فوق نشان می‌دهد که با افزایش وزن واحد سطح، عمق نفوذ سوزن و تراکم

درگیری نخ‌های تار و بالطبع اصطکاک موجود بین آنها، در انواع ساختار متفاوت نخ پود، وجود ندارد. لذا همانگونه که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، در مجموع پیش‌بینی می‌شود که برای رفتارهای بلندمدت خزشی طولی، نمی‌توان تفاوت قابل توجهی بین ساختار مختلف نخ‌های پود استفاده شده در این تحقیق، قائل بود.

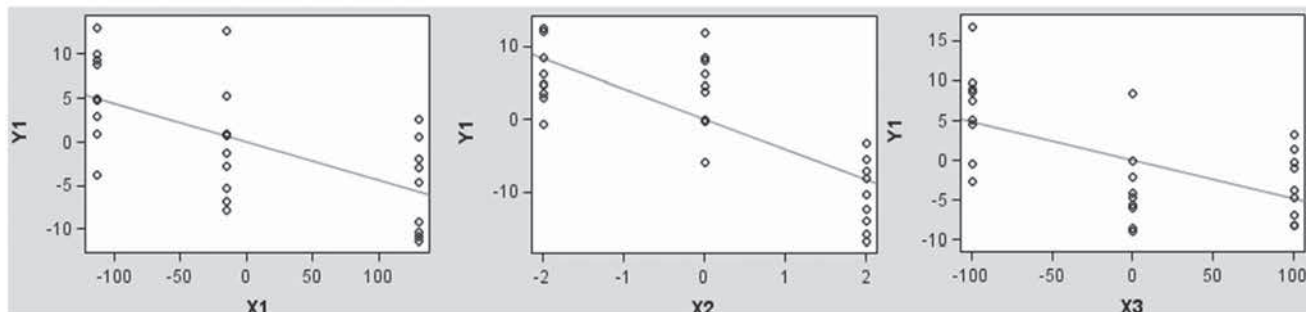
آزمون خزش ژئوتکستایل بی‌بافت سوزن‌زنی شده

نظر به تنوع ۲۷ نمونه ژئوتکستایل بی‌بافت سوزن‌زنی شده مورد بررسی، تجزیه و تحلیل نتایج، با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره آماری با هدف ارائه مدلی جهت پیش‌بینی رفتار خزشی ژئوتکستایل‌های مورد مطالعه، انجام شد. بدین منظور، با توجه به متغیرهای مستقل، ابتدا مدل آنالیز واریانس چندعاملی به روش آشیانه‌ای با سه اثر تثبیت‌کننده انتخاب گردید تا وجود تأثیر عوامل فرآیندی، مورد بررسی قرار گیرد. در این بررسی آماری، متغیرهای مستقل ورودی، وزن واحد سطح ژئوتکستایل (گرم بر مترمربع) در ۳ سطح با کد X_1 ، میزان عمق نفوذ سوزن (میلی‌متر) در ۳ سطح با کد X_2 و تراکم سوزن‌زنی (تعداد نفوذ سوزن در سانتی‌متر مربع پارچه) در ۳ سطح با کد X_3 در نظر گرفته شدند. همچنین، متغیرهای پاسخ، خزش اولیه و خزش ثانویه (%) به ترتیب با کدهای Y_1 و Y_2 می‌باشند.

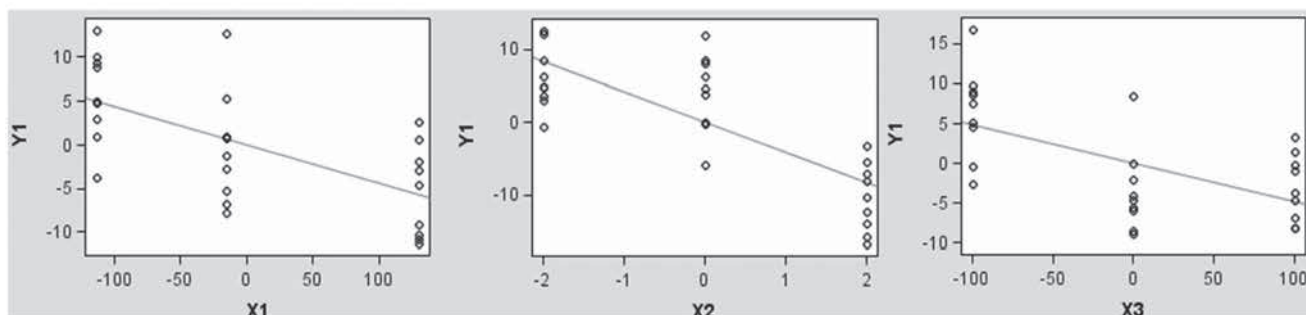
نتایج آنالیز واریانس مدل رگرسیون با سه متغیر مستقل برای هر دو متغیر پاسخ Y_1 و Y_2 نشان داد که مقدار P_r کمتر از ۰/۰۰۰۱ می‌باشد که نشان‌دهنده مناسب بودن

جدول ۸- برآورد ضرایب معادله برای متغیرهای پاسخ و سهم هر کدام از متغیرهای مستقل در مدل

متغیر پاسخ	متغیر مستقل	درجه آزادی	برآورد پارامتر	خطای استاندارد	t-Value	Pr> t	عامل تورم واریانس	Partial R2	F-value	Pr>F
Y1	عرض از مبدا	۱	۱۲۸/۹۵۸	۱۰/۸۴	۱۱/۹۰	<۰/۰۰۰۱	-	-	-	-
	X1	۱	-۰/۰۴۴	۰/۰۱۱	-۳/۹۲	۰/۰۰۰۷	۱	۰/۱۷۸۷	۱۰/۵۲	۰/۰۰۲۵
	X2	۱	-۴/۱۲۵	۰/۶۹۱	-۵/۹۷	<۰/۰۰۰۱	۱	۰/۴۱۳	۱۷/۶۳	۰/۰۰۰۳
	X3	۱	-۰/۰۴۸	۰/۰۱۳	-۳/۴۸	۰/۰۰۲۰	۱	۰/۱۴۰۶	۱۲/۱۱	۰/۰۰۲۰
Y2	عرض از مبدا	۱	۱۵۲/۲۵۰	۱۳/۳۹۰	۱۱/۴۰	<۰/۰۰۰۱	-	-	-	-
	X1	۱	-۰/۰۵۵	۰/۰۱۳	-۴/۰۳	۰/۰۰۰۵	۱	۰/۲۰۳	۱۱/۳۳	۰/۰۰۲۶
	X2	۱	-۴/۵۸۷	۰/۸۵۲	-۵/۲۸	<۰/۰۰۰۱	۱	۰/۳۶۵	۱۴/۲۸	۰/۰۰۰۸
	X3	۱	-۰/۰۵۷	۰/۰۱۷	-۳/۲۵	<۰/۰۰۲۹	۱	۰/۱۴۰	۱۱/۰۹	۰/۰۰۲۹



شکل ۱۲. رفتار متغیرهای مستقل در مقابل متغیر وابسته Y1 به صورت مجزا



شکل ۱۳. رفتار متغیرهای مستقل در مقابل متغیر وابسته Y2 به صورت مجزا

بود برای خزش ثانویه در یک گروه قرار گرفتند. همچنین برای هر دو متغیر خزش اولیه و ثانویه، تراکم پودی ۲۲ نسبت به دیگر تراکم‌ها در گروهی مجزا قرار گرفت. همچنین نتایج بدست آمده برای ژئوتکستایل‌های بی‌بافت پس از تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SAS، موید معنادار بودن اثرگذاری جملگی متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده، بر رفتار خزشی ژئوتکستایل‌های بی‌بافت است. نتایج، نشان‌دهنده کاهش مقدار خزش اولیه و ثانویه با افزایش هر سه مقدار عمق نفوذ سوزن، وزن واحد سطح پارچه بی‌بافت و تراکم سوزن‌زنی است و این بدان معناست که با افزایش تعداد الیاف درگیر در ساختمان پارچه بی‌بافت، همچنین جابجایی بیشتر الیاف که درگیری زیادتر آنها را در ساختار ژئوتکستایل در پی دارد، مقدار خزش کاهش می‌یابد. شایان ذکر است که بیشترین تاثیرگذاری بر رفتار خزش، متعلق به میزان عمق نفوذ سوزن می‌باشد. همچنین با توجه به ماهیت ساختارهای بی‌بافت و در نتیجه آن، امکان جابه جایی بیشتر در فضاها در برابر الیاف درگیر در ساختار، میزان درصد کرنش خزشی در ژئوتکستایل‌های بی‌بافت به مراتب بالاتر از نمونه‌های بافته شده است. از طرف دیگر درصد کرنش خزشی برای ساختارهای بی‌بافت بر خلاف بافته شده، طی مدت زمان کوتاهی به حداکثر میزان خود می‌رسد و پس از آن روند ثابتی را طی می‌نماید. در واقع، صرف‌نظر از مقدار کرنش خزشی اولیه، نمونه‌های بی‌بافت برای خزش‌های بلند مدت، رفتاری پایدار تر را از خود نشان می‌دهند.

سوزن‌زنی، مقدار خزش اولیه و ثانویه کاهش می‌یابد. بدین دلیل که افزایش هر سه متغیر مورد بررسی، باعث بیشتر شدن جابجایی الیاف در پارچه و افزایش درگیری ساختار لیفی پارچه و نهایتاً استحکام بیشتر پارچه می‌شود. همچنین با توجه به جدول ۸ مشاهده می‌گردد که عمق نفوذ سوزن بیشترین سهم تأثیر را (به میزان ۴۱٪) در درصد خزش اولیه به خود اختصاص می‌دهد و تأثیر دو پارامتر دیگر شامل وزن واحد سطح و تراکم سوزن‌زنی به ترتیب ۱۸٪ و ۱۴٪ و البته مابقی آن مربوط به خطای آزمایش می‌باشد. لازم به ذکر است که عمق نفوذ سوزن در درصد خزش ثانویه نیز بیشترین سهم را شامل می‌شود.

همانگونه که در شکل ۹ نیز مشاهده می‌شود، میزان درصد کرنش خزشی در ژئوتکستایل‌های بی‌بافت به مراتب بالاتر از نمونه‌های بافته شده است. این امر با توجه به ماهیت متخلخل ساختارهای بی‌بافت و در نتیجه آن، امکان جابه‌جایی بیشتر الیاف درگیر در ساختار منسوج، در فضاها خالی، منطقی به نظر می‌رسد. از طرف دیگر مشاهده می‌شود که درصد کرنش خزشی برای ساختارهای بی‌بافت بر خلاف بافته شده، طی مدت زمان کوتاهی به حداکثر میزان خود می‌رسد و پس از آن روند ثابتی را طی می‌نماید. در واقع، صرف‌نظر از مقدار کرنش خزشی اولیه، نمونه‌های بی‌بافت برای خزش‌های بلند مدت، رفتاری پایدار تر را از خود نشان می‌دهند.

نتیجه گیری

در این تحقیق اثر پارامترهای فرآیندی ژئوتکستایل‌های بافته شده و بی‌بافت بر رفتار خزشی بلندمدت آنها، با استفاده از اثرات برهم‌کنش دما-زمان بررسی گردید. نتایج بدست آمده برای ژئوتکستایل‌های بافته شده نشان داد که تمام ساختارهای نخ

پی‌نوشت

یزد، دانشگاه یزد، گروه مهندسی نساجی، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵ | mashroteh@yazd.ac.ir

منابع در دفتر مجله موجود است.