

بررسی تأثیر عوامل فرآیندی بر رفتار خزشی بلندمدت ژئوتکستایل های پلی استر بافته شده و بی بافت سوزن زنی شده

Investigation of process parameters on the long-term creep behavior of woven and needle-punched nonwoven polyester geotextiles

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

یزد، دانشگاه یزد، گروه مهندسی نساجی، صندوق پستی ۷۴۱ - ۸۹۱۹۵

چکیده

بررسی خواص مکانیکی ژئوتکستایل ها بطور اعم و رفتار بلند مدت آن ها در مقابل بارگذاری های ثابت (خزش) بطور اخص، به دلیل نحوه کاربرد آن ها، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. در این تحقیق، ضمن طراحی دستگاه اندازه گیری خزش بلند مدت منسوجات، تأثیر پارامترهای تراکم و ساختار نخ پود از یک طرف و اثر عوامل وزن واحد سطح، تراکم سوزن زنی و عمق نفوذ سوزن از طرف دیگر، به ترتیب بر رفتار خزشی ژئوتکستایل های بافته شده و بی بافت سوزن زنی شده مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج بدست آمده برای ژئوتکستایل های بافته شده نشان می دهد که در مجموع با افزایش تراکم پودی، میزان خزش ژئوتکستایل افزایش می یابد، همچنین برای کلیه ساختارهای بررسی شده نخ پود، رفتار خزشی ثانویه، بطور یکسان برآورد می شود. علاوه بر این، نتایج مربوط به ژئوتکستایل های بی بافت، نشان دهنده کاهش مقدار خزش با افزایش مقادیر عمق نفوذ سوزن، وزن واحد سطح و تراکم سوزن زنی است. به علاوه، میزان خزش ژئوتکستایل های بی بافت، در شرایط مشابه، به مراتب بالاتر از نمونه های بافته شده است. همچنین کرنش خزشی برای ساختارهای بی بافت، بر خلاف بافته شده، طی مدت زمان کوتاهی به حداکثر میزان خود می رسد و پس از آن روند نسبتاً یکنواختی را طی می نماید. در واقع، صرف نظر از مقدار کرنش خزشی اولیه، نمونه های بی بافت برای خزش های بلند مدت، رفتاری پایدارتر را از خود نشان می دهند.

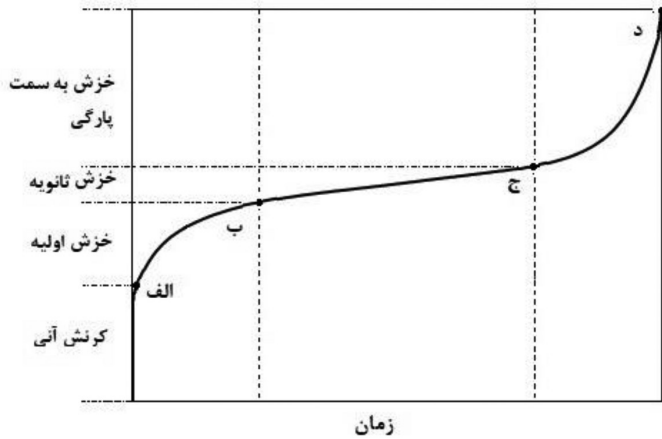
مقدمه

طبقه بندی می شوند (شکل ۱).
مسلم است که ژئوتکستایل ها 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 ژئوتکستایل ها می بایست متناسب با کاربردهایشان باشد. به عبارت دیگر نوع و میزان نیرو یا تغییر شکلی که می توانند تحمل کنند، در انتخاب نوع ژئوتکستایل مصرفی مؤثر است. بنابراین هر گونه کوتاهی در تأمین خواص مکانیکی مورد نیاز، می تواند کارایی مناسب ژئوتکستایل ها را با تردید مواجه کند.
از جمله خواص مکانیکی مهم مواد، رفتار آن ها در مقابل اعمال بار خزشی می باشد. خزش، تغییر شکلی وابسته به زمان است که نتیجه اعمال یک بار ثابت به ماده، به مقدار

امروزه در مهندسی عمران، انواع ژئوسینتتیک ها به طور اعم و منسوجات گوناگون به طور اخص، به صورت گسترده در قالب محصولات از قبیل ژئوتکستایل ها، برخی از ژئوگرید ها و غیره مورد استفاده قرار می گیرند. به طور مثال، ژئوتکستایل ها عموماً پارچه های نفوذ پذیری هستند که هنگامی که در مجاورت خاک به کار می روند، توانایی جدا کردن، فیلتر کردن، تقویت، حفاظت یا زهکشی را دارا می باشند و بالطبع بر حسب ویژگی های از پیش تعیین شده برای آن ها، می توانند در پروژه های مختلف مهندسی عمران مانند سنگ فرش ها، سدها، خاکریزها، کنترل رسوب، زهکشی و غیره به کار گرفته شوند. بر مبنای نوع فرآیند تولید، ژئوتکستایل ها به دو نوع بافته شده و بی بافت

کلمات کلیدی

خزش،
ژئوتکستایل،
بی بافت سوزن زنی شده،
بافته شده،
برهم کنش دما - زمان.



شکل ۲- مراحل مختلف یک رفتار کامل خزشی مواد پلیمری

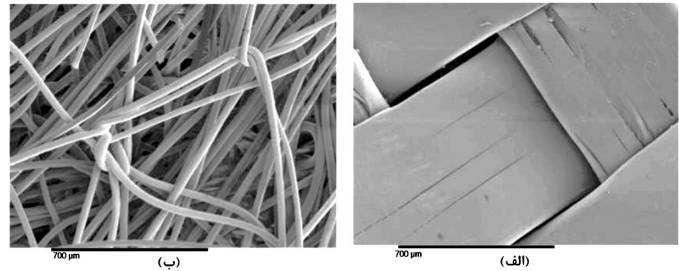
الی (د) را نیز مشخص نمود. در صورتی که کرنش آبی به عنوان یک خزش کوتاه مدت اولیه که عکس العمل‌های رفتاری ژئوتکستایل از آن نقطه به بعد قابل توجه خواهد بود، در نظر گرفته شود (رسیدن به نقطه الف)؛ همچنین ناحیه خزش نهایی (گذر از نقطه ج) که منجر به پارگی می‌شود، به عنوان یک محدوده کاملاً بحرانی در کاربرد انواع ژئوتکستایل که نمی‌بایست به آن وارد شد، تلقی گردد، آنگاه می‌توان دو نقطه «الف» و «ج» را به عنوان حساس‌ترین نقاط یک رفتار خزشی در نظر گرفت. در ادامه به جهت سهولت، از این دو نقطه که در واقع شروع ناحیه خزش اولیه و انتهای ناحیه خزش ثانویه می‌باشند، به ترتیب تحت عنوان «خزش اولیه» و «خزش ثانویه» یاد می‌گردد.

میزان خزش وابسته به برخی عوامل داخلی و خارجی است. عوامل داخلی از جمله ساختار (بی‌بافت، بافته شده، نوع بافت و عوامل فرآیندی آن‌ها) و مواد تشکیل دهنده (نوع پلیمر و متغیرهای مرتبط) می‌باشند که در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برخی از این مطالعات نشان می‌دهد که کلیه ژئوسنتتیک‌های تقویت کننده تهیه شده از پلی‌استر، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن مستعد مقداری خزش هستند [۵-۸]. همچنین ژئوسنتتیک‌های پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن با چگالی بالا نسبت به ژئوسنتتیک‌های پلی‌استر، در مقابل خزش حساس تر می‌باشند [۹].

نتایج آلن و همکارانش نشان داد که در ژئوتکستایل‌های بی‌بافت سوزن زنی شده، کرنش خزشی محصولات از جنس پلی‌پروپیلن نسبت به پلی‌استر بالاتر می‌باشد. از طرف دیگر، از مجموعه مواد مورد بررسی، ژئوتکستایل بی‌بافت سوزن زنی شده بزرگترین کرنش خزشی را در مقابل اعمال بار، نسبت به ژئوتکستایل بافته شده و محصولات با اتصال رزینی و حرارتی دارا می‌باشد [۱۰].

کالیاکین و همکارش به نقل قول از شرستا و همکارش گزارش نمودند که از بین انواع ژئوتکستایل‌های مطالعه شده، خزش محصولات بافته نشده تهیه شده از الیاف پلی‌پروپیلن دارای خزش بیشتر نسبت به آن‌هایی است که از الیاف پلی‌استر ساخته شده‌اند. همچنین دریافتند که نمونه‌های ژئوتکستایل بافته شده از الیاف پلی‌پروپیلن دارای رفتار خزشی متوسط نسبت به دو نمونه یاد شده هستند. از طرف دیگر، بیشترین حساسیت خزش نسبت به بارهای مختلف را ژئوتکستایل‌های بی‌بافت از جنس پلی‌پروپیلن دارا می‌باشند [۱۱].

جدی و آسایش، رفتار خزشی پارچه بافته شده با بافت ساده از جنس



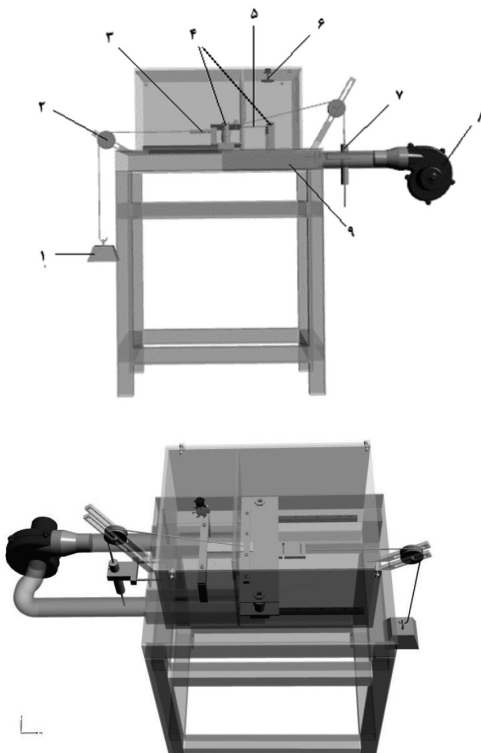
شکل ۱- ژئوتکستایل (الف) بافته شده تار و پودی (ب) بی‌بافت سوزن زنی شده [۱]

کمتر از حداکثر بار قابل تحمل توسط ماده، در دمای ثابت است. با گذشت زمان، تغییر شکل خزش (کرنش خزشی) ممکن است از حد مجاز تحمل ساختار تشکیل دهنده مواد فراتر برود. بنابراین در این راستا، پارگی مربوط به خزش، مدت‌ها پس از اعمال بار رخ می‌دهد (بلند مدت) [۲].

بدیهی است که ژئوتکستایل‌ها در برخی از کاربردهای خود مانند جدا سازی و غیره، تحت تأثیر اعمال بارهای ثابت دائمی قرار می‌گیرند. بنابراین کرنش بلند مدت 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، واضح است که منسوجات و در راستای 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. از این رو 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 بلند مدت 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 آبی، خزش اولیه، خزش ثانویه و خزش به سمت پارگی. زمانی که بار اعمال می‌شود، کرنش آبی، 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 بالئسبه پایین باشد (که غالباً این گونه 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].

در این جهت در بررسی رفتار خزشی، می‌توان چهار نقطه بحرانی (الف



شکل ۳- نماهای شماتیک جانبی (بالا) و فوقانی (پائین) از دستگاه طراحی شده اندازه‌گیری خزش
 ۱- وزنه، ۲- قرقره، ۳- نیرو سنج، ۴- گیره‌های نگهدارنده نمونه، ۵- نمونه مورد آزمون،
 ۶- حسگر دما، ۷- مبدل تفاضلی خطی (LVDT)، ۸- فن دمنده هوا، ۹- المنت حرارتی تعبیه شده در محفظه ورود هوا به اتاقک نمونه

که البته می‌توانند کاربردهای مشابهی از جمله تقویت‌کنندگی خاک و جداسازی داشته باشند [۱۷، ۱۰]. تأثیر عوامل فرآیندی آن‌ها بر رفتار خزشی بلند مدت، به کمک یک طراحی آزمایش آماری مورد مطالعه قرار گرفته است. به عبارت دیگر، هدف گذاری مطالعه صورت گرفته، ارزیابی تأثیر ساختار منسوج در تفاوت رفتار خزشی (تغییر شکل‌های بلند مدت) ژئوتکستایل‌های بافته شده و بی‌بافت سوزن زنی شده است.

تجربیات

طراحی دستگاه اندازه‌گیری خزش بلند مدت

از پدیده خزش مواد، به‌عنوان 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 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.

پلی‌استر و تراکم پودی متفاوت را مدل‌سازی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که مدل ایرینگ برای پیش‌بینی رفتار خزشی بهتر از مدل کلومین است. همچنین افزایش تراکم پودی منجر به کاهش خزش پارچه می‌شود [۱۲]. به علاوه، محققان دیگری گزارش نمودند که ژئوتکستایل‌های بی‌بافت، در نواحی بین کرنش نقطه تسلیم تا کرنش نقطه پارگی، تغییر شکل بزرگتری را از خود نشان می‌دهند و بدین جهت مکانیسم پارگی آن‌ها، پس از نقطه تسلیم، به طور قابل ملاحظه وابسته به تغییر شکل پلاستیک غیر قابل 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، نشان دهنده 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 تحت عنوان اصل برهم‌کنش دما - زمان نشان دادند. از آنجایی که انجام آزمایشات 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 کوتاه مدت خزشی در درجه حرارت‌های مختلف، می‌توان رفتار خزشی مواد (کرنش - زمان) را برای مدت زمان طولانی در یک دمای ثابت پیش‌بینی نمود [۱۸].

بررسی‌های انجام شده تاکنون، نشان می‌دهند که حجم گسترده‌ای از مطالعات صورت گرفته در حوزه مطالعه رفتار خزشی ژئوتکستایل‌ها، به روش فرآیند (بافته شده، بی‌بافت و ...) و مواد اولیه (پلی‌استر، پلی پروپیلن و ...) اختصاص یافته است. از طرف دیگر بدیهی است که کارایی بیشتر ژئوتکستایل‌ها در مقابل تغییر شکل‌های ناشی از بار مکانیکی، از جمله رفتار خزشی، همواره به صورت بلند مدت مورد نظر 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 امکان پذیر نمی‌باشد. بدین جهت 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 نرم افزار آماده شده، بتوان رفتار خزشی بلند مدت ژئوتکستایل‌های مورد مطالعه را در یک دمای ثابت (به طور نمونه، در یک دمای مرجع معادل ۲۵ درجه سانتی‌گراد) پیش‌بینی نمود. سپس با مشخص نمودن میزان کرنش خزشی بلند مدت در نقاط بحرانی «الف» و «ج» برای هر یک از ژئوتکستایل‌های بافته شده و بی‌بافت سوزن زنی شده مورد مطالعه

آزمایشگاه است، به نحو مطلوب جدا شود. همچنین از یک فن دمنده نیز برای دمیدن و عبور هوا از بین المنت‌ها 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، میکروکنترلر، صفحه نمایش، رله‌ها و تجهیزات اغتشاش‌گیر الکتریکی انجام شده است.

طراحی نرم افزار اندازه‌گیری خزش

بدیهی است که بررسی و تحلیل داده‌های 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 مَتلَب طراحی گردید. نرم افزار خزش، قادر به برداشت دیجیتالی انواع داده از هر نوع حسگر الکترونیکی، ذخیره سازی آن‌ها و در برگیرنده بخشهای ورود و پردازش اطلاعات است. همچنین امکان ترسیم نمودارهای مختلف از تغییرات عوامل مورد مطالعه و نتایج حاصله را دارا است.

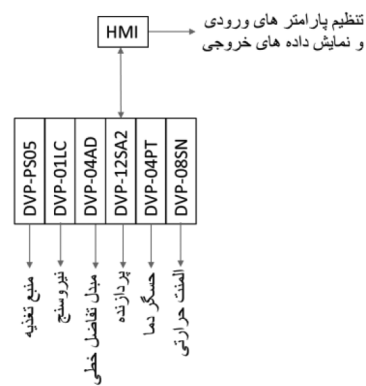
مقدار دقیق ازدیاد طول ژئوتکستایل در طی آزمون خزش، توسط نرم افزار مربوطه و به کمک تبدیل ولتاژ خروجی مبدل تفاضلی خطی به موقعیت گیره متحرک نگهدارنده نمونه، اندازه گیری می‌شود. جهت اطمینان از عدم تأثیر اغتشاشات الکترونیکی بر مقدار ولتاژ خروجی، علیرغم پیش‌بینی‌های سخت افزاری متداول در مجموعه ابزار اندازه‌گیری نیرو و جابه‌جایی (از جمله استفاده از سیم‌های انتقال جریان با پوشش ضد اغتشاش که تحت عنوان سیم‌های شیلددار شناخته می‌شوند)، نرم افزار خزش با فیلتر نمودن بسیار جزئی، داده‌های اندازه‌گیری شده توسط مبدل تفاضلی خطی را به موج‌های پیوسته تبدیل می‌نماید.

مواد مورد استفاده

تحقیق مورد نظر بر روی تعداد ۲۷ نمونه بی‌بافت سوزن زنی شده از جنس لیاف 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 نمونه‌های بی‌بافت 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 AY۳

جدول ۲. مقادیر عوامل فرآیندی ژئوتکستایل‌های بی‌بافت سوزن زنی شده

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



شکل ۴- ارتباط اجزای مختلف دستگاه اندازه‌گیری رفتار خزشی

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 شده اند تا با اطمینان کامل، امکان ارتباط مجزای داده‌های خروجی هر یک از حسگرها، به صورت دیجیتالی، با بخش جمع‌آوری اطلاعات میسر باشد. شکل ۴ نحوه ارتباط اجزای مختلف دستگاه اندازه‌گیری رفتار خزشی را نشان می‌دهد. برای ثابت نگه‌داشتن نمونه‌های ژئوتکستایل، اقدام به طراحی گیره‌های نگهدارنده‌ای به شکل تخت و شیاردار گردید تا نمونه مورد آزمون در عرض، به‌طور یکنواخت گرفته شود. گیره سمت فن، ثابت است و گیره جلوی آن بر روی یک واگن نصب شده است که می‌تواند با کمترین اصطکاک، بر روی ریل تعبیه شده در زیر آن، جابه‌جا شود. دلیل وجود حداقل اصطکاک، ساختار مناسب انتخاب شده برای ریل و واگن می‌باشد.

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 لحظه‌ای نیروی ثابت اعمال شده به نمونه و ازدیاد طول حادث شده در آن است. بدین منظور، اتاقکی به ابعاد ۳۷×۵۵×۲۳ سانتی‌متر و با ضخامت ۸ میلی‌متر از جنس پلی متیل متا اکریلات با ظرفیت تحمل حرارتی ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد 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 نیرو سنج است و دارای شرایط محیطی

جدول (۱): روش‌های کاربردی پردازش تصویر در صنعت فرش

| میانگین ظرافت (دنیر) (CV%) | طول میانگین (میلی‌متر) (CV%) | میانگین تعداد فرموج در سانتی‌متر (CV%) |
|----------------------------|------------------------------|--|
| ۱۰/۲ | ۹۲ | ۲/۸ |
| (۹/۳٪) | (۱۸٪) | (۱۴/۶٪) |

جدول ۳. مشخصه نخ تار ژئوتکستایل‌های بافته شده

| عامل فرآیندی | سطوح مقادیر عوامل فرآیندی | کد نمونه | کد نمونه |
|-----------------|---------------------------|----------|----------------------|
| فیلامنتی تابیده | ۷۵ دنیر/۳۶ فیلامنت | ۳۰/cm | کد نمونه ۳۰/یک نخ |

شایان ذکر است که میزان بار اعمال شده بر روی نمونه‌ها حدود ۲۰٪ متوسط مقاومت کششی پارگی [۲۰] 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 بلند مدت آن‌ها در درجه حرارت پایین‌تر (محیط) را پیش‌بینی نمود. به عبارت دیگر، نظریه‌های اساسی در اثر مذکور این است که فرآیند کششی ویسکوالاستیک، در دماهای بالاتر تابدار شده و با استفاده از معادله‌های ارائه شده می‌توان رفتار خزشی بلند مدت 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 [۲۱، ۲۲].

از آنجاکه 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 بلند مدت 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، بر اساس ترتیب حرارتی مشخص شده در جدول ۵. به عنوان یک الگو، شکل ۶ رفتار خزشی (از دید طول) کوتاه مدت دو نمونه از ژئوتکستایل‌های بافته شده و بی‌بافت سوزن‌زنی شده مورد آزمون را بر

نمونه‌ای با وزن واحد سطح ۴۴۶ گرم بر مترمربع، عمق نفوذ سوزن ۱۲ میلی‌متر و تراکم سوزن‌زنی ۲۰۰ نفوذ بر سانتی‌متر مربع می‌باشد. نمونه‌های ژئوتکستایل بافته شده، دارای نخ تار یکسان و نخ‌های پود متفاوت هستند که مشخصه‌های نخ تار در جدول ۳ آورده شده است. همچنین دیگر مشخصه‌های فیزیکی پارچه‌های فیلامنتی استفاده شده، در جدول ۴ ارائه گردیده است. ضمناً نمره نخ پود در تمامی نمونه‌ها ثابت و مقدار آن ۱۵۰ دنیر، همچنین طرح بافت تار و پودی کلیه نمونه‌ها بافت تافته می‌باشد. تفاوت نمونه‌های پارچه بافته شده، تغییر در نوع ساختار نخ فیلامنتی پود و تراکم نخ پود است. شایان ذکر است، ساختار متفاوت نخ‌های پود مورد استفاده در شکل ۵ نشان داده شده است.

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 سانتی‌متر تعیین گردید. به همین رویه، ابعاد عریض نمونه‌های بافته شده ژئوتکستایل نیز معادل ۱۶×۸ سانتی‌متر 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 سانتی‌گراد 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)، ذخیره سازی 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).

جدول ۴. مقادیر عوامل فرآیندی ژئوتکستایل‌های بافته شده

| کد نمونه | ساختار نخ پود | تراکم نخ پود در سانتی‌متر | طرح بافت |
|----------|------------------------|---------------------------|-----------|
| D1 | جوشی | ۲۵ | سرزه Z2/2 |
| D2 | جوشی | ۲۲ | سرزه Z2/2 |
| D3 | جوشی | ۲۸ | سرزه Z2/2 |
| D4 | جوشی | ۲۵ | بافت ساده |
| D5 | کاملاً کشیده شده (FDY) | ۲۵ | بافت ساده |
| D6 | استرچ | ۲۵ | بافت ساده |



شکل ۵- ساختار نخ‌های پود مورد استفاده: (الف) جوشی، (ب) استرچ، (ج) کاملاً کشیده شده (FDY)

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 |

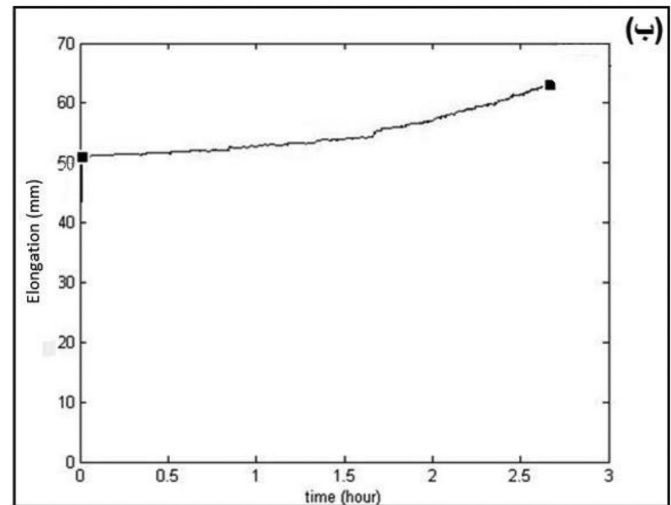
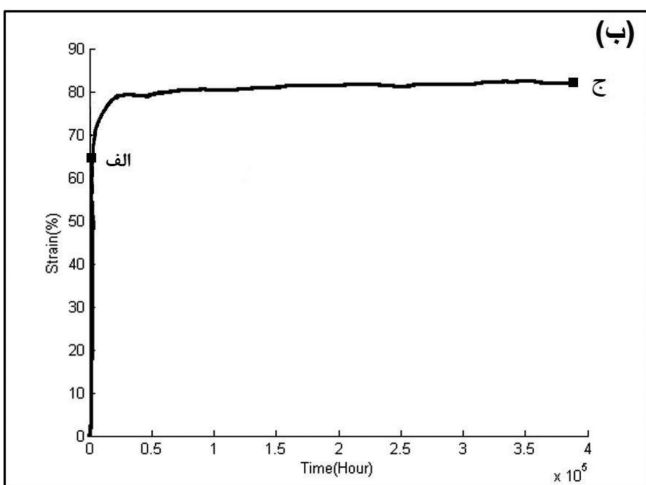
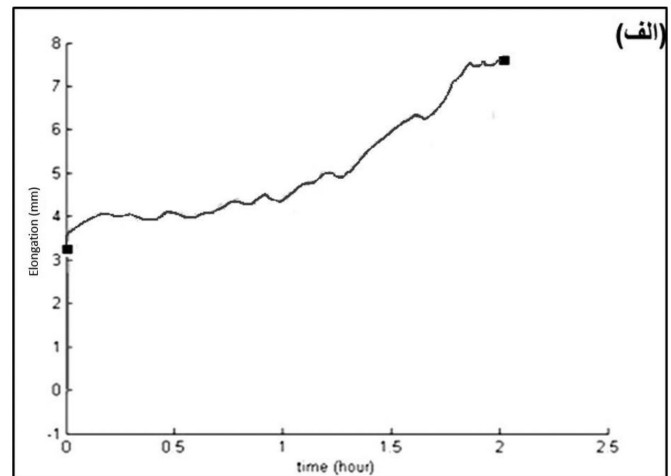
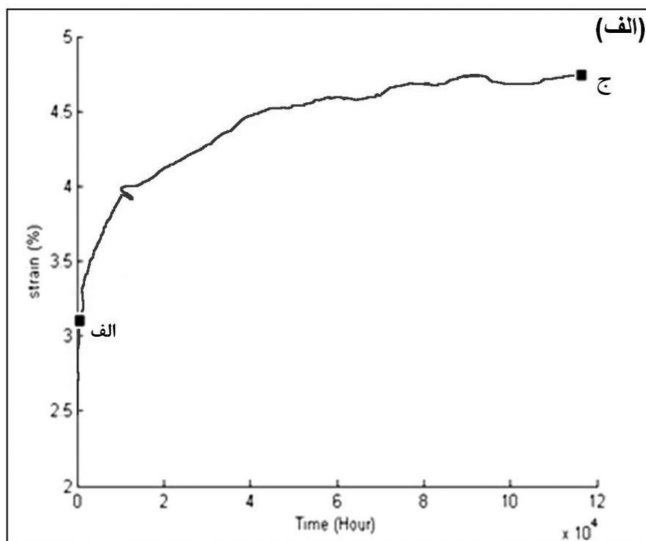
معادله ولف (رابطه (۱))، ضریب جابجایی زمان (a_T) برای هر مرحله از افزایش پلکانی درجه حرارت تعیین گردید؛ در حالیکه T دمای آزمون در هر مرحله، T_{ref} دمای مرجع (در این تحقیق، درجه حرارت محیط معادل ۲۵ درجه سانتی گراد) و مقادیر ثابت C_1 و C_2 به ترتیب برابر ۱۷/۴ و ۵۱/۶ در نظر گرفته شدند [۱۸]. در حقیقت، ضریب جابجایی شاخصی است که نشان می‌دهد بر اساس درجه حرارت‌های آزمون و مرجع و برای تبدیل رفتار کوتاه مدت به بلند مدت، 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.

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

پیش بینی منحنی‌های رفتار خزشی بلندمدت ژئوتکستایل. شکل ۷، به عنوان یک الگو، درصد کرنش خزشی دو نمونه از ژئوتکستایل‌های بافته شده و بی‌بافت سوزن‌زنی شده مورد آزمون را بر حسب زمان (بلند مدت) نشان می‌دهد.

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



شکل ۷- پیش‌بینی درصد کرنش خزشی بلند مدت دو نمونه از ژئوتکستایل‌های بافته شده و بی‌بافت سوزن‌زنی شده در دمای محیط، الف) D_2 بافته شده، ب) AX_1 بی‌بافت سوزن‌زنی شده

شکل ۶. رفتار خزشی (از دیاد طول - زمان) کوتاه مدت دو نمونه از ژئوتکستایل‌های مورد آزمون در دمای ۳۰ الی ۱۰۵ درجه سانتی گراد، الف) D_2 بافته شده، ب) AX_1 بی‌بافت سوزن‌زنی شده

جدول ۶- نتایج آزمون خزش برای ژئوتکستایل‌های بی‌بافت سوزن زنی 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 | ۴۳/۰۴ | 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 | ۵۳/۳۸ | 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 | ۲۷/۵ | ۳۳/۶ | - | - | - |

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.

همان گونه که جدول ۷ نشان می‌دهد، برای هر دو متغیر پاسخ، مقدار Pr گزارش شده جهت متغیر مستقل تراکم نخ پود کمتر از ۰/۰۱ است. این امر نشان دهنده تأثیر معنی دار تراکم پودی ژئوتکستایل بافته شده در سطح ۰/۰۱ بر میزان خزش اولیه و ثانویه آن‌ها می‌باشد. علاوه بر این، به جز در اثرگذاری متغیر ساختار نخ پود بر روی خزش ثانویه، در مابقی حالت‌ها، همبستگی قابل توجه نیز مشاهده می‌گردد. شکل ۸ چگونگی تأثیر تراکم پودی را در یک ساختار ثابت نخ پود (جوشی)، بر رفتار کلی خزشی ژئوتکستایل‌های بافته شده نشان می‌دهد. همچنین به منظور 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 قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، در حالی که نتایج رفتار خزشی برای تراکم‌های پودی ۲۵ و ۲۸ به یکدیگر نزدیک تر هستند، تفاوت معنی داری با تراکم پودی ۲۲ دارند. این امر ناشی از تأثیر دو گانه ای است که افزایش تراکم نخ پود در ساختار پارچه اعمال می‌کند. بدین معنی که از یک طرف، افزایش تراکم نخ پود باعث افزایش فروموج نخ‌های تار (در راستای طولی پارچه) می‌شود و از طرف دیگر خود عامل افزایش اصطکاک مابین نخ‌های تار و پود و کاهش آزادی عمل آن‌ها می‌گردد. بنابراین، هنگامی که نیرو در جهت طولی پارچه

نقاط بحرانی «الف» و «ج» مطابق آنچه در شکل ۲ تعریف شده است، در شکل ۷ مشخص گردیده اند. 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 بلند مدت، 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.

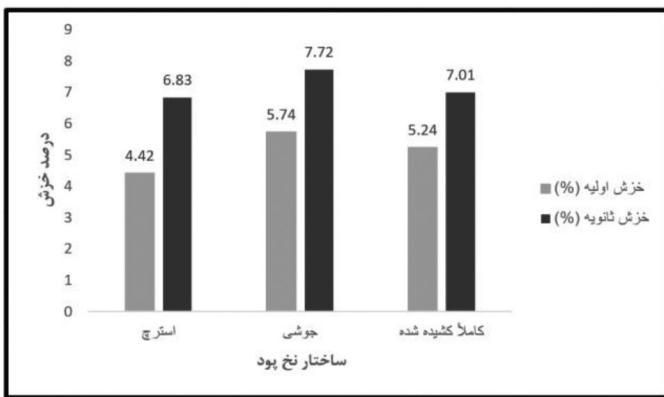
نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل نتایج مندرج در جدول ۶، به کمک نرم‌افزار SAS 9.1 صورت گرفته است.

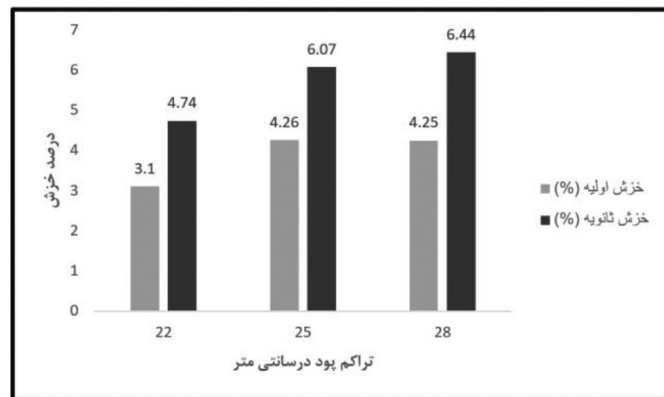
شایان ذکر است عوامل فرآیندی انتخاب شده به عنوان متغیرهای مستقل ورودی طرح آماری، شامل مهم ترین آن‌ها از جمله تراکم پودی و ساختار نخ پود جهت ژئوتکستایل‌های بافته شده و وزن واحد سطح، تراکم سوزن زنی و عمق نفوذ سوزن برای ژئوتکستایل‌های بی‌بافت سوزن زنی شده می‌باشند. ضمناً متغیرهای پاسخ خروجی مدل آماری، مقادیر نقاط بحرانی درصد خزش اولیه و درصد خزش ثانویه می‌باشند.

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

| متغیر پاسخ | متغیر مستقل | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مجموع | F-value | Pr>F | R ² |
|------------|---------------|------------|--------------|---------------|---------|--------|----------------|
| خزش اولیه | تراکم پودی | ۲ | ۶/۲۲ | ۳/۱۱۱ | ۲۱/۰۲ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۷۷ |
| | ساختار نخ پود | 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 پود | ۲ | ۲/۰۶ | ۱/۰۳ | ۳/۸۵ | ۰/۰۵۱ | ۰/۳۹ |



شکل ۹- تأثیر ساختار نخ پود بر روی درصد خزش اولیه و ثانویه در ژئوتکستایل‌های بافته شده



شکل ۸- تأثیر تراکم نخ پود بر روی درصد خزش اولیه و ثانویه در ژئوتکستایل‌های بافته شده

بطور یکسان برآورد می‌گردد. چرا که اختلاف مقدار ازدیاد طول پارچه (خزش) در راستای طولی، در حالی که تراکم نخ‌های پود ثابت است، می‌تواند بیشتر ناشی از میزان اصطکاک بین نخ‌های تار و پود تلقی شود. این در حالی است که با باز شدن فرم موج نخ‌های تار در اثر اعمال بار، ساختار پارچه به نحوی تغییر می‌کند که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نحوه درگیری نخ‌های تار و بالطبع اصطکاک موجود بین آن‌ها، در انواع ساختار متفاوت نخ پود، وجود ندارد. بنابراین همانگونه که در شکل ۹ نشان داده شده است، در مجموع پیش بینی می‌شود که برای رفتارهای بلند مدت 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 چند متغیره 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 چند عاملی به روش آشیانه‌ای با سه اثر تثبیت کننده انتخاب گردید تا

به نخ‌های تار وارد می‌گردد، فرم موج نخ‌های تار باز شده و خزش پارچه بیش‌تر می‌شود. اما با زیاد شدن مجدد تراکم نخ پود از ۲۵ به ۲۸ نخ در سانتی متر، علاوه بر افزایش خزش‌های اولیه و ثانویه نسبت به تراکم پودی ۲۲ که بخش عمده‌ای از آن ناشی از باز شدن فرم موج نخ‌های تار می‌باشد، به نظر می‌رسد اثر افزایش اصطکاک نخ‌های تار به دلیل زیاد شدن تراکم نخ پود از ۲۵ به ۲۸ نخ در سانتی متر، اثری غالب است و بدین جهت نتایج خزشی نزدیک به یکدیگر در تراکم‌های پودی ۲۵ و ۲۸ نخ در سانتی متر حاصل می‌گردد. مواردی که جملگی در شکل ۸ قابل مشاهده می‌باشد. قابل ملاحظه بودن اثر اصطکاک مابین نخ‌های تار و پود توسط دیگر محققین نیز مورد تأیید قرار گرفته است. وجود اصطکاک بیشتر بین نخ‌های تار و پود استفاده شده در این تحقیق، به دلیل ضخیم بودن نخ تار در کنار افزایش تراکم آن می‌باشد که باعث می‌شود تا جابجایی نخ‌های پود از بین نخ‌های تار سخت‌تر صورت پذیرد [۱۲].

همچنین با توجه به جدول ۷، متغیر ساختار نخ پود در سطح ۰/۱، 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 پود استرچ برای خزش اولیه در گروهی مجزا از دیگر نخ‌های پود قرار می‌گیرد، اما رفتار خزشی ثانویه برای کلیه ساختارهای نخ پود

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

| نمونه بی‌بافت | متغیر مستقل | درجه آزادی | برآورد پارامتر | خطای استاندارد | t-Value | Pr> t | عامل تورم واریانس | Partial R ₂ | 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 | ۰/۰۰۳۵ |
| | 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 | -۵/۳۸ | <۰/۰۰۰۱ | ۱ | ۰/۳۶۵ | ۱۴/۳۸ | ۰/۰۰۰۸ |
| | X3 | ۱ | -۰/۰۵۷ | ۰/۰۱۷ | -۳/۳۵ | <۰/۰۰۲۹ | ۱ | ۰/۱۴۰ | ۱۱/۰۹ | ۰/۰۰۲۹ |

$$Y_1 = 128/958 - 0/044X_1 - 4/125X_2 - 0/048X_3 \quad (2)$$

$$Y_2 = 152/250 - 0/055X_1 - 4/587X_2 - 0/057X_3 \quad (3)$$

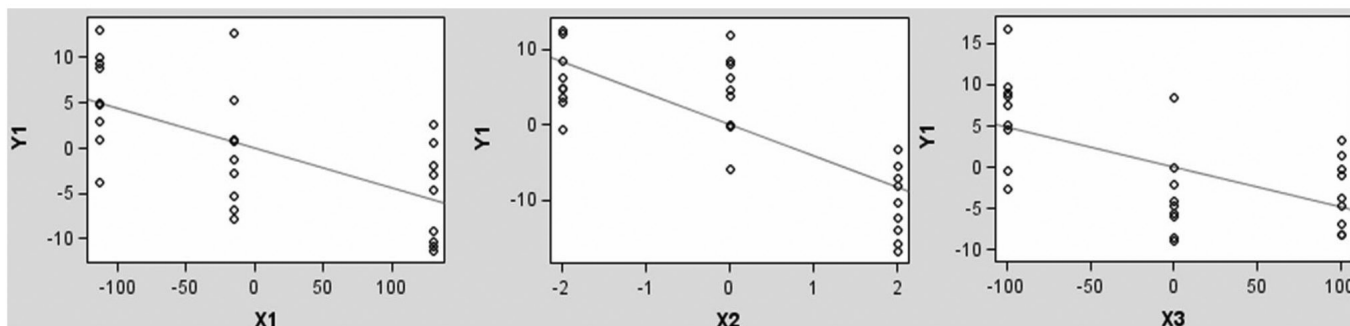
روابط فوق نشان می‌دهد که با افزایش وزن واحد سطح، عمق نفوذ سوزن و تراکم سوزن‌زنی، مقدار خزش اولیه و ثانویه کاهش می‌یابد. بدین دلیل که افزایش هر سه متغیر مورد بررسی، باعث بیشتر شدن جابجایی الیاف در پارچه و افزایش درگیری ساختار لیفی پارچه و نهایتاً استحکام بیشتر پارچه می‌شود. همچنین با توجه به جدول ۸ مشاهده 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 ۷ 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 فضاهای 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 بلندمدت، رفتاری پایدارتر را از خود نشان می‌دهند. حساسیت بیشتر منسوجات بی‌بافت، تحت تأثیر رفتارهای خزشی بلندمدت، توسط دیگر محققین نیز مورد تأکید قرار گرفته است [۱۰، ۱۷].

وجود تأثیر عوامل فرآیندی، مورد بررسی قرار گیرد. در این بررسی آماری، متغیرهای مستقل ورودی، وزن واحد سطح ژئوتکستایل (گرم بر متر مربع) 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.

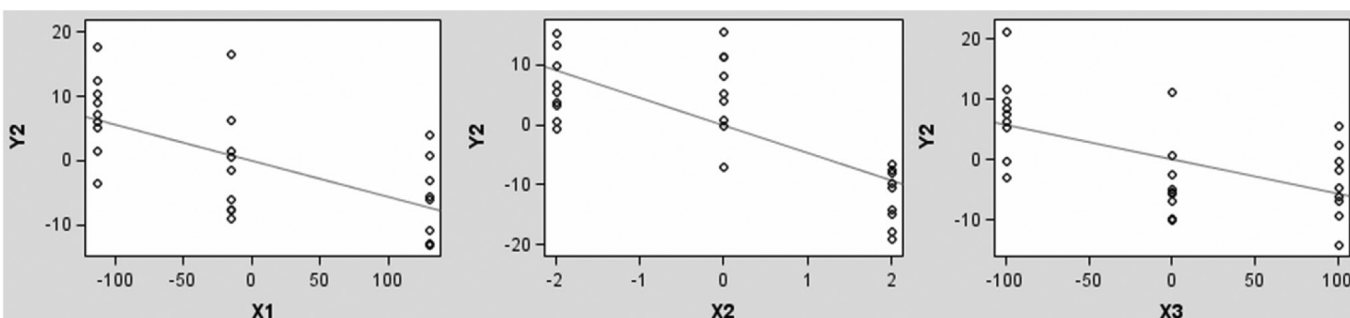
نتایج آنالیز واریانس مدل رگرسیون با سه متغیر مستقل برای هر دو متغیر پاسخ Y_1 و Y_2 نشان داد که مقدار Pr کمتر از ۰/۰۰۱ می‌باشد که نشان دهنده مناسب بودن مدل‌های انتخابی است. در ضمن ضریب تعیین برای متغیرهای پاسخ Y_1 و Y_2 به ترتیب برابر با ۷۳٪ و ۷۱٪ می‌باشد؛ که بطور مثال ۷۳ درصد از تغییرات Y_1 ، توسط متغیرهای مستقل قابل پیش‌بینی است. همانطور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، با توجه به تأثیر پذیری 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 ۰/۰۵ معنی‌دار می‌باشند. بنابراین مدل‌های نهایی بدست آمده، در رابطه (۲) و (۳) ارائه شده‌اند. همچنین در شکل‌های ۱۰ و ۱۱، چگونگی تأثیر متغیرهای مستقل بر خزش اولیه و ثانویه نشان داده شده است.



شکل ۱۰- رفتار متغیرهای مستقل در مقابل متغیر وابسته Y_1 به صورت مجزا



شکل ۱۱- رفتار متغیرهای مستقل در مقابل متغیر وابسته Y_2 به صورت مجزا

نتیجه گیری

تراکم سوزن زنی است و این بدان معناست که با افزایش تعداد الیاف در گیر در ساختمان پارچه بی بافت، همچنین جابجایی بیشتر الیاف که درگیری زیادتر آن‌ها را در ساختار ژئوتکستایل در پی دارد، مقدار خزش کاهش می‌یابد. شایان ذکر است که بیشترین تأثیرگذاری بر رفتار خزش، متعلق به میزان عمق نفوذ سوزن می‌باشد.

همچنین با توجه به ماهیت ساختارهای بی بافت و در نتیجه آن، امکان جابه جایی بیشتر در فضاهای متخلخل برای الیاف در گیر در ساختار، میزان درصد کرنش خزشی در ژئوتکستایل‌های بی بافت به مراتب بالاتر از نمونه‌های بافته شده است. از طرف دیگر درصد کرنش خزشی برای ساختارهای بی بافت بر خلاف بافته شده، طی مدت زمان کوتاهی به حداکثر میزان خود می‌رسد و پس از آن روند ثابتی را طی می‌نماید. در واقع، صرف نظر از مقدار کرنش خزشی اولیه، نمونه‌های بی بافت برای خزش‌های بلندمدت رفتاری پایدارتر را ارائه می‌دهند.

مراجع

- Sarsby, R. W., Geosynthetics in civil engineering, Woodhead Publishing, Cambridge, 2006.
- Park, B. D., Balatinecz, J. J., Short term flexural creep behavior of wood-fiber/polypropylene composites, Polymer composites, 19, 377-382, 1998.
- Mercier, J. P., Aklonis, J. J., Litt, M., Tobolsky, A. V., Viscoelastic behavior of the polycarbonate of bisphenol A, Journal of Applied Polymer Science, 9, 447-459, 1965.
- Yang, J. L., Zhang, Z., Schlarb, A. K., Friedrich, K., On the characterization of tensile creep resistance of polyamide 66 nanocomposites. Part I. Experimental results and general discussions, Polymer, 47, 2791-2801, 2006.
- McGown, A., Andrawes, K. Z., Kabir, M. H., Load-extension testing of geotextiles confined in-soil, The 2nd International Conference on Geotextiles, Industrial Fabrics Association International, 1982.
- Greenwood, J. H., Myles, B., Creep and stress relaxation of geotextiles, International Conference on Geotextiles, Vienna, 1986.
- Jewell, R. A., Greenwood, J. H., Long term strength and safety in steep soil slopes reinforced by polymer materials, Geotextiles and Geomembranes, 7, 81-118, 1988.
- Leshchinsky, D., Dechasakulsom, M., Kaliakin, V. N., Ling, H. I., Creep and stress relaxation of geogrids, Geosynthetics International, 4, 463-479, 1997.
- Jain, R. K., Creep behaviour of geosynthetics for sustainable construction, Research Journal of Chemical and Environmental Sciences, 1, 34-46, 2013.
- Allen, T. M., Properties of geotextiles in cold regions applications, Oregon State University, 1983.
- Kaliakin, V. N., Dechasakulsom, M., Time-dependent Behavior of Geosynthetic Reinforcement – A Review of Experimental Work, Citeseer, 2001.
- Asayesh, A., Jeddi, A. A. A., Modeling the creep behavior of plain woven fabrics constructed from textured polyester yarn, Textile Research Journal, 80, 642-650, 2010.
- Jeon, H. Y., An, B. W., Kim, H. J., Kim, Y. J., Cui, G. Y., Jang, Y. S., Stress relaxation behaviors of nonwoven geotextile composites, Geosynthetics in Civil and Environmental Engineering, Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- Bhuvanesh, Y. C., Gupta, V. B., Long-term prediction of creep in textile fibres, Polymer, 35, 2226-2228, 1994.
- Luo, W., Wang, C., Hu, X., Yang, T., Long-term creep assessment of viscoelastic polymer by time-temperature- stress superposition, Acta Mechanica Solida Sinica, 25, 571-578, 2012.
- Helwany, S. M. B., Shih, S., Creep and stress relaxation of geotextile-reinforced soils, Geosynthetics International, 5, 425-434, 1998.
- Franca, F. A. N., Bueno, B. S., Zornberg, J. G., New equipment to conduct confined-accelerated creep tests on geosynthetics, 14th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2011.
- Shaw, M. T., MacKnight, W. J., Introduction to polymer vis-

- coelasticity, *Materials Characterization*, 59, 316, 2005.
19. [19] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method. ASTM D4595-2005.
20. American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Evaluating the Unconfined Tension Creep and Creep Rupture Behavior of Geosynthetics. ASTM D5262-2016.
21. Zornberg, J. G., Byler, B. R., Knudsen, J. W., Creep of Geotextiles Using Time-Temperature Superposition Methods, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130, 1158-1168, 2004.
22. American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Accelerated Tensile Creep and Creep-Rupture of Geosynthetic Materials Based on Time-Temperature Superposition Using the Stepped Isothermal Method. ASTM D6992-2016.

Investigation of process parameters on the long-term creep behavior of woven and needle-punched nonwoven polyester geotextiles

Hasan Mashroteh*, Esfandiar Ekhtiyari, Saeed Fattahi, Seyed mostafa Ahmadi, Mitra Bakhshi,
Zahra Dehghan-Banadaki

Department of Textile Engineering, Yazd University, Yazd, Iran, PO Box: 98195 - 741

Abstract

Investigation of mechanical properties in general and long-term creep behavior of the geotextile fabrics in particular, is crucial in many common applications. In this research, a laboratory creep tester was designed and the effect of various important parameters on the creep behavior of woven and needle-punched nonwoven geotextile polyester fabrics was studied. The results showed that a higher weft density in woven geotextile fabrics increases the creep value. The secondary creep characteristic remained almost the same by changing the weft yarn parameters. Nonwoven geotextile fabrics with higher values of needle penetration depth, areal density weight, and punch density had lower creep. It should be noted that the creep strain of the nonwoven geotextile fabrics was much higher than that of woven geotextile fabrics. It was also concluded that the magnitude of the creep strain for both of the studied geotextile fabrics initially reached to a maximum value and then showed a normal behavior. The time for reaching that maximum was shorter for the nonwoven geotextile fabrics. In other word, the nonwoven geotextile fabrics showed a more stable creep behavior.

Keywords

Creep, Geotextile,
Needle-Punched Nonwo-
ven,
Woven,
Time-Temperature Super-
position

(*). Address Correspondence to H. mashroteh, Email: mashroteh@yazd.ac.ir