



بررسی قابلیت عملکرد تراوایی در سیستم‌های زهکش متشکل از ژئوتکستایل و خاک تحت اثر فشار

رضا ناطقی، عبدالحسین حداد*

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۶ آبان ۱۳۹۴
بازنگری: ۱۱ مرداد ۱۳۹۵
پذیرش: ۶ آذر ۱۳۹۵
ارائه آنلاین: ۱۵ آذر ۱۳۹۵

کلمات کلیدی:

ژئوتکستایل
سیستم زهکش
فیلتراسیون
فشار سربار
گرفتگی

چکیده: یکی از این مهمترین کاربردهای ژئوتکستایلها در پروژه‌های عمرانی استفاده از آنها به عنوان سیستم زهکش و یا فیلتراسیون در مجاورت خاک می‌باشد. مزایای متعدد استفاده از این نوع مصالح و همچنین بررسی عوامل موثر بر عملکرد آنها همچون خواص تراوایی و یا فیلتراسیون مدت‌هاست که مورد توجه محققان بوده و تاکنون روشهای مختلفی چه بصورت آزمایشگاهی و یا نظری جهت ارزیابی آنها ابداع و یا پیشنهاد شده است. یکی از مواردی که تاکنون کمتر مورد بررسی قرار گرفته، اثر تغییرات فشار بر عملکرد تراوایی سیستم ژئوتکستایل-خاک می‌باشد. در این مقاله نتایج تحقیقات آزمایشگاهی در رابطه با تأثیر فشار سربار بر مقدار تراوایی دو نمونه ژئوتکستایل بافته نشده در یک سیستم ژئوتکستایل-خاک ارائه شده است. بدین منظور یک سلول اندازه‌گیری ویژه جهت آزمون‌های سنجش قابلیت تراوایی در سیستم خاک و ژئوتکستایل، طراحی و ساخته که به کمک آن اثر تغییر فشار سربار بر خواص هیدرولیکی سیستم اندازه‌گیری شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد با افزایش فشار سربار میزان نفوذپذیری سیستم زهکش به صورت غیر خطی تغییر پیدا خواهد کرد. همچنین مقایسه بین تراوایی دو نوع ژئوتکستایل در سیستم ژئوتکستایل خاک نشان داد که ضخامت ژئوتکستایل اثر قابل توجهی بر روی تراوایی خواهد داشت.

۱- مقدمه

در سازه‌های ژئوتکنیکی، به‌ویژه سازه‌های خاکی که در ارتباط با جریان آب می‌باشند، ممکن است خسارت‌های زیادی در اثر حمل ذرات خاک توسط آب به وجود آید [۴]. پدیده‌هایی نظیر تراوش و فرسایش خاک می‌تواند سازه به مرور زمان دچار آسیب کرده و در برخی مواقع آثار جبران‌ناپذیری بر جای گذارد. پدیده‌ی گرفتگی در ژئوتکستایل‌ها نیز می‌تواند سبب ایجاد اضافه فشار آب شود. عدم کنترل اضافه فشار آب ایجاد شده در سازه‌هایی از قبیل کانال‌ها، سدها، زهکش‌های ساخته شده در زیر اساس راه‌ها و سازه‌های ساحلی مانند اسکله‌ها و موج‌شکن‌ها می‌تواند باعث کاهش پایداری و ایجاد خسارت شود [۷-۴].

ژئوتکستایل‌ها به عنوان فیلتر به منظور صافی کردن و جلوگیری از فرسایش خاک برای اولین بار در سال ۱۹۵۰ در فلوریدای آمریکا مورد استفاده واقع شدند با پیشرفت تولید مواد پلیمری و افزایش ساخت ژئوسنتتیک‌ها، استفاده از این مصالح به منظور جلوگیری از فرسایش و حفاظت شیب‌ها گسترش یافته و معیارهای فنی طراحی و استفاده از آن‌ها در سال ۱۹۷۷ توسط انجمن مهندسان ارتش آمریکا ارائه گردید [۸]. ژئوسنتتیک‌ها را می‌توان به عنوان جایگزین مناسب مصالح دانه‌ای به منظور اجرای زهکشی‌ها و فیلتراسیون دانست. از مزایای این مصالح نسبت به مصالح دانه‌ای می‌توان به صرفه اقتصادی، سرعت بالا در اجرا، مقاومت کششی مناسب، حمل و نقل آسان، مقاومت دراز مدت در برابر فرسایش فیزیکی و شیمیایی و در نهایت عملکرد بهتر در مقابل شستگی و حرکت ریزدانه‌های موجود در انبوه خاک اشاره نمود

با توجه به گسترش روز افزون کاربرد مصالح ساختمانی در مهندسی عمران، کاربرد این مصالح در سدهای خاکی، ایجاد زهکشی و فیلتراسیون اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. مصالح ژئوتکستایل به عنوان صفحاتی نفوذپذیر، از الیاف با جنس پلی‌پروپیلن و یا پلی‌استر به دو صورت بافته شده و بافته نشده ساخته می‌شوند. به طور کلی، از ژئوتکستایل‌های بافته شده اغلب به منظور تسلیح در سازه‌های ژئوتکنیکی مورد استفاده قرار داده می‌شوند [۱]. محصولات ژئوسنتتیک بافته نشده از کنار هم قرار گرفتن الیاف به صورت شیمیایی، سوزن کاری و یا حرارتی ساخته می‌شوند و صفحه‌های یکپارچه‌ای را به منظور استفاده در پروژه‌های مختلف عمرانی به‌ویژه به منظور زهکشی و صافی کردن، پدید می‌آورند [۲ و ۳]. در شکل ۱ نمونه‌ای از ژئوسنتتیک‌های بافته نشده قابل مشاهده است.



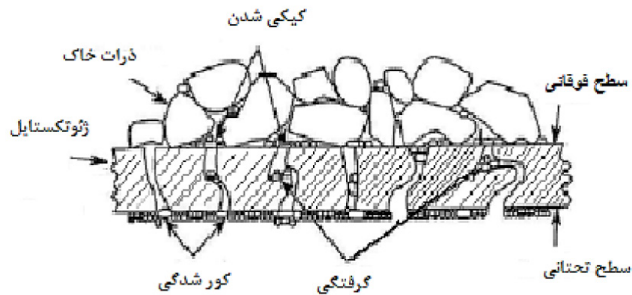
شکل ۱: نمونه‌ای از ژئوتکستایل بافته نشده

Fig. 1. A sample of nonwoven geotextile

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ahadad@semnan.ac.ir

[۳، ۵، ۷ و ۹].

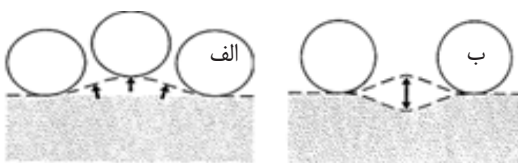
سطح پایینی ژئوتکستایل به وسیله ذرات را کورشدگی معرفی کردند [۱۳]. پژوهشگران دیگری مانند متکالف در سال (۱۹۹۳)، جمع شدگی ذرات ریزدانه در سطح بالایی و روی سطح ژئوتکستایل را پدیده کیکی شدن معرفی کردند که سبب افزایش احتمال گیر افتادن ذرات در داخل حفرات و خلل و فرج ژئوتکستایل می‌گردد [۱۶]. لذا پدیده گرفتگی در میان لایه‌ی ژئوتکستایل بر اثر مسدود شدن انتها و یا ابتدای لوله‌های فرضی تراوا به وجود می‌آید [۱۷]. پدیده‌ی کیکی شدن، کورشدگی و گرفتگی در شکل ۲ نمایی شماتیک از کورشدگی، کیکی شدن و گرفتگی به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۲: نمایی شماتیک از کورشدگی، کیکی شدن و گرفتگی [۱۶ و ۱۷]

Fig. 2. Schematic illustration of blinding, caking and clogging

به علت افزایش فشار آب حفره‌ای در محل لایه ژئوتکستایل، پدیده بلندشدگی امکان رخ دادن دارد [۱۸]. همچنین پدیده‌ی ول شدگی (آویخته شدن) سبب ایجاد جداشدگی بین ژئوتکستایل و خاک مورد نظر می‌شود. این پدیده به‌ویژه هنگامی که چند لایه ژئوتکستایل بر روی هم قرار گرفته‌اند، احتمال وقوع بیشتری دارد که بر اثر تغییر متناوب شیب هیدرولیکی در مجموعه خاک-ژئوتکستایل پدید می‌آید [۱۹]. در شکل ۳ پدیده‌های ول شدگی و بلندشدگی به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۳: نمایی شماتیک از پدیده‌ی (الف) بلندشدگی و (ب) ول شدگی

Fig. 3. Schematic illustration of (a) Lifting, (b) Flapping.

در این تحقیق بررسی مقدار افزایش یا کاهش گرفتگی و تغییرات نفوذپذیری سیستم خاک ژئوتکستایل تحت اثر سربار مورد بررسی قرار داده شده است. در سیستم مورد مطالعه در این پژوهش، ژئوتکستایل به عنوان یک لایه صافی، مانعی برای عبور ذرات خاک ایجاد می‌کند؛ این در حالی است که در جریان آب از ژئوتکستایل عبور می‌کند.

چگونگی عملکرد سیستم‌های خاک-ژئوتکستایل به عنوان زهکش و صافی، به شرایط سربار و همچنین شرایط مرزی بستگی دارد [۵ و ۶]. تراوایی سیستم‌های ترکیبی خاک-ژئوتکستایل را می‌توان به دو صورت عبوردهی (به صورت درون صفحه‌ای و در راستای صفحه‌ی قرارگیری ژئوتکستایل) و نفوذپذیری (در راستای قائم بر جهت قرارگیری لایه ژئوتکستایل) بررسی نمود [۳، ۵ و ۱۰]. آزمایش‌های مختلفی به منظور سنجش عبوردهی و نفوذپذیری طراحی و معرفی شده است که در آن‌ها اثر سربار و همچنین جنس مصالح قرار گرفته در مجاورت ژئوتکستایل‌ها مورد مطالعه واقع شده است. پژوهش‌های پیشین نشان داده است که نفوذپذیری تحت اثر اعمال فشار دست‌خوش کاهش می‌شود. همچنین در مواردی به منظور مقایسه، از مصالح شنی و گوی‌های فلزی در مجاورت ژئوتکستایل استفاده شده است. نتایج نشان داده است که مقدار کرنش سطحی ایجاد شده در ژئوتکستایل می‌تواند بر نفوذپذیری موثر باشد. حتی این پارامتر می‌تواند تا مرز ایجاد پارگی‌های موضعی نیز پیش‌رود که خود سبب افزایش نفوذپذیری سیستم می‌گردد [۷]. از پژوهش‌های دیگر می‌توان به بررسی عملکرد هیدرولیکی ژئوتکستایل‌ها اشاره نمود که تغییرات شیب هیدرولیکی به عنوان عاملی موثر معرفی شده است [۱۱-۱۴]. همچنین می‌توان به بررسی‌های انجام شده به منظور شناخت رفتار حرکت ذرات به داخل ژئوتکستایل تحت بارگذاری چرخه‌ای اشاره نمود [۱۱ و ۱۵].

یکی از اصلی‌ترین مشکلات فیلترها و پوشش‌های ژئوتکستایلی، انسداد و گرفتگی آن‌هاست، هنگامی که صافی دچار گرفتگی شود، با گذشت زمان گرفتگی ایجاد شده در لایه گسترش یافته و تعمیر و بازسازی آن در بسیاری از موارد بسیار دشوار بوده و نیاز به احداث کلی و یا موضعی مجدد می‌باشد که مستلزم صرف هزینه‌های بسیار زیاد خواهد بود [۳، ۹ و ۱۰]. انسداد در ژئوتکستایل‌ها به مفهوم کاهش نفوذپذیری در اثر حرکت ذرات خاک و رسوب مواد آلی در میان بازشدگی‌های لایه می‌باشد که به بسته شدن خلل و فرج آن می‌انجامد. علاوه بر انسداد به صورت فیزیکی، پدیده می‌تواند منشأ بیولوژیکی و شیمیایی نیز داشته باشد [۲].

با توجه به موضوعات مطرح شده برای طراحی و اجرای دقیق‌تر محصولات ژئوتکستایل به عنوان زهکش و صافی نیاز به بررسی و شبیه‌سازی شرایط منطبق بر پروژه هدف می‌باشد. چراکه در هر پروژه، شرایط مرزی و فشارهای وارد بر سیستم متفاوت از دیگری می‌باشد. هرچند رفتار کلی و شرایطی مانند اثر اندازه دانه‌ها و روزه‌های موجود در ژئوتکستایل به صورت نسبی یکسان با یکدیگر می‌باشند. لذا ارزش پژوهش‌های آزمایشگاهی در این زمینه به معرفی رفتار و تفاوت‌های موجود در ژئوتکستایل‌ها و شرایط مرزی آن‌ها می‌باشد [۱۶].

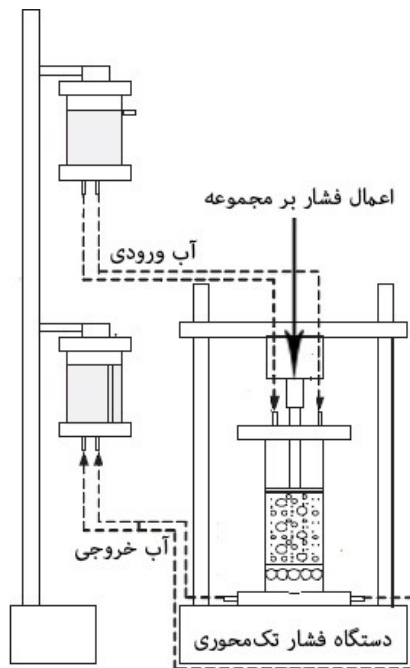
انسداد (گرفتگی) ایجاد شده در اثر عبور ذرات از ژئوتکستایل می‌تواند ساز و کارهای متفاوتی داشته باشد. بل و هیکس^۱ در سال (۱۹۸۰)، گرفتگی

1 Bell and Hicks

۲- دستگاه و مصالح مورد استفاده

در ساخت دستگاه، به دلیل تماس مداوم با جریان آب از مصالح ضد زنگ مانند پلکسیگلس و پلی‌آمید استفاده شده است تا صلبیت لازم را نیز فراهم کند. علاوه بر بحث اعمال فشار بر روی مجموعه خاک-ژئوتکستایل، مطالعه اثر شیب‌های هیدرولیکی نیز مدنظر قرار داشته است. لذا شیب‌های تعبیه شده در قسمت بالا و پایین استوانه مورد آزمایش، به دو مخزن متصل شده‌اند. بدین ترتیب می‌توان با تغییر ارتفاع نسبی مخزن‌ها از یکدیگر، علاوه بر تعیین مقدار نفوذپذیری اثر تغییرات شیب هیدرولیکی را نیز مورد بررسی قرار داد. در این آزمایش‌ها از روش ایجاد اختلاف ارتفاع ثابت آب برای اعمال شیب هیدرولیکی استفاده شده است. نحوه کار بدین صورت است که به آب اجازه داده می‌شود که تحت اثر یک فشار یکنواخت به آرامی در خاک جریان یابد.

پس از اطمینان از اشباع شدن کامل مجموعه، در یک بازه زمانی مشخص حجم خروجی تعیین می‌گردد. علاوه بر آن، به منظور اعمال فشارهای مختلف بر نمونه و بررسی اثر آن‌ها بر نفوذپذیری و مقدار آب خروجی، مجموعه استوانه بر روی دستگاه اعمال فشار تک‌محوری قرار داده شده است. در شکل ۵ تصویر شماتیک از نحوه اعمال فشار در دستگاه تک‌محوری و شیب هیدرولیکی نشان داده شده است.



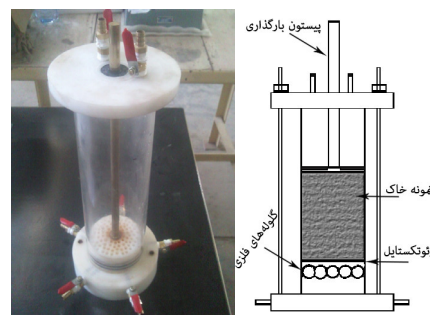
شکل ۵: نحوه اعمال فشار و شیب هیدرولیکی در اختلاف فشار آب ثابت

Fig. 5. Pressure and hydraulic gradient application in constant head condition

به منظور انتخاب ژئوتکستایل‌های استفاده در این تحقیق، از دو پارامتر O_{95} و AOS بر اساس معیار طراحی ذکر شده در مراجع استفاده شده است [۲۲]. پارامتر O_{95} معرف اندازه روزنه‌ای است که اجازه می‌دهد مصالح با قطر اسمی D_{95} (معادل قطری است که ۹۵ درصد وزنی دانه‌های خاک از آن کوچکتر می‌باشند) از آن عبور کنند. اندازه روزنه مشخصه یا AOS ، نیز

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، از ژئوتکستایل‌ها به منظور زهکشی و همچنین صافی کردن (فیلتراسیون) می‌توان استفاده نمود. لذا می‌توان از طریق آزمایش‌های جداگانه‌ای عملکرد تراوایی به صورت درون صفحه‌ای (عبوردهی) و به صورت عمود بر راستای صفحه‌ی قرارگیری ژئوتکستایل (نفوذپذیری) را مورد بررسی قرار داد. در آزمون‌های انجام شده با هدف سنجش مقدار عبوردهی در کاربرد زهکشی ژئوتکستایل‌ها، لازم است آب در راستای صفحه‌ی ژئوتکستایل از آن عبور داده شود تا مقدار تراوایی درون صفحه‌ای یا همان عبوردهی مشخص گردد. در منابع شماره‌ی [۳ و ۵] آزمایش‌های متناسب با کاربری مذکور ارائه شده است. بعلاوه، از میان روش‌های متعددی که به منظور تعیین گرفتگی و بررسی مقدار نفوذپذیری (عبور جریان در راستای عمود بر صفحه‌ی قرارگیری ژئوتکستایل) سیستم‌های خاک-ژئوتکستایل استفاده می‌شود، می‌توان به آزمایش جریان بلند مدت اشاره کرد. روش آزمایش بدین ترتیب است که پس از نمونه برداری از محل خاک مورد نظر، بر روی نمونه ژئوتکستایل در درون استوانه آزمایش قرار داده می‌شود. سپس، مجموعه تحت یک جریان بلند مدت با اختلاف فشار آب ثابت قرار گرفته و تغییرات ایجاد شده در مقدار خروج آب بر واحد زمان (دبی) مورد بررسی قرار می‌گیرد. زمان انجام آزمایش‌ها برای خاک‌های دانه‌ای به صورت تقریبی ۱۰ ساعت و برای خاک‌های ریزدانه تا ۲۰۰ ساعت نیز به طول می‌انجامد. به منظور تعیین مقدار نفوذپذیری و ایجاد جریان با فشار ثابت، دستگاهی بر اساس معیارهای ذکر شده در استاندارد ASTM D5101-12 توسط نویسندگان ساخته شده است [۲۰ و ۲۱].

تفاوت دستگاه ساخته شده و آنچه در استاندارد آمده است، در استفاده از یک پیستون می‌باشد که با هدف اعمال فشار بر روی نمونه تعبیه شده است. این پیستون، از یک صفحه صلب بر روی سطح سیستم خاک-ژئوتکستایل تشکیل شده که در محل اتصال به کلاهک استوانه، به خوبی آب‌بندی شده است. همچنین برای ایجاد شرایط یکسان در همه‌ی آزمون‌ها، از گوی‌های فولادی ضد زنگ با قطر ۱/۵ سانتی‌متر جهت شبیه سازی بستر زیرین ژئوتکستایل با شرایط واقعی مطابق معیار ASTM D5101-12، استفاده شده است. در شکل ۴ تصویر دستگاه مورد استفاده، نشان داده شده است.



شکل ۴: تصویر دستگاه تعیین نفوذپذیری ساخته شده

Fig. 4. The designed permeability characterization device

با توجه به استفاده از دو نمونه ژئوتکستایل و با هدف تعیین اثر فشار وارد شده و همچنین شیب‌های هیدرولیکی اعمال شده بر مجموعه، به ترتیب فشارهای صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال توسط دستگاه فشار تک‌محوری و شیب‌های هیدرولیکی یک و پنج در آزمایش‌ها استفاده شده است. برنامه آزمون‌ها انجام شده مطابق جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳: برنامه آزمایش‌های انجام شده

Table 3. Plan of the performed tests

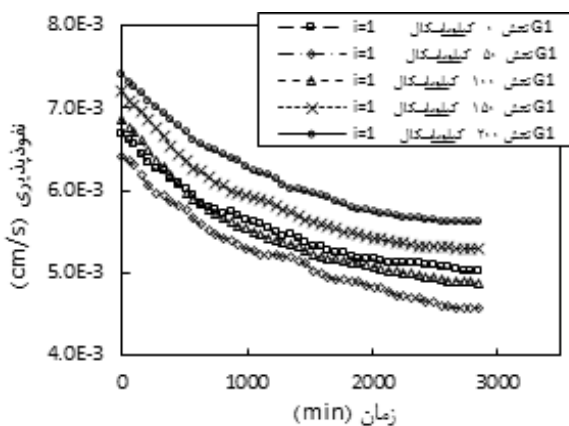
نمونه	شیب هیدرولیکی	فشارهای وارد شده بر مجموعه (kPa)				
G1	۱	۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
	۵	۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
G2	۱	۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
	۵	۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰

۳- نتایج آزمایش‌ها

نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی دو نمونه خاک-ژئوتکستایل با هدف تعیین تغییرات نفوذپذیری تحت اثر اعمال فشار و همچنین تغییرات شیب هیدرولیکی را می‌توان به تفکیک متغیر دسته‌بندی نمود.

۳-۱- بررسی اثر فشارهای اعمال شده بر نفوذپذیری

با توجه به آزمایش‌های انجام شده و نتایج بدست آمده بر روی دو نمونه ژئوتکستایل در اعمال فشارهای مختلف دو روند کلی متفاوت مشاهده می‌شود. منحنی تغییرات نفوذپذیری سیستم در شیب‌های هیدرولیکی یک و پنج، بر حسب زمان برای ژئوتکستایل‌های G1 و G2، در شکل‌های ۷ تا ۱۰ نشان داده شده‌اند.



شکل ۷: منحنی تغییرات نفوذپذیری بر حسب زمان، در ژئوتکستایل G1 تحت اثر فشارهای مختلف در شیب هیدرولیکی یک

Fig. 7. Variations of the permeability versus time for G1 geotextile in different pressures while hydraulic gradient is equal to 1

اندازه‌ای است که مصالح دانه‌ای با آن قطر مشخص، از ژئوتکستایل عبور می‌کنند. این پارامتر را می‌توان به روش‌های الک کردن و گذراندن دانه‌های با اندازه مشخص، از ژئوتکستایل به دست آورد [۲۳ و ۲۱]. در جدول ۱ مشخصات ژئوتکستایل‌های استفاده شده در این پژوهش ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات ژئوتکستایل‌های استفاده شده

Table 1. Properties of the tested geotextiles

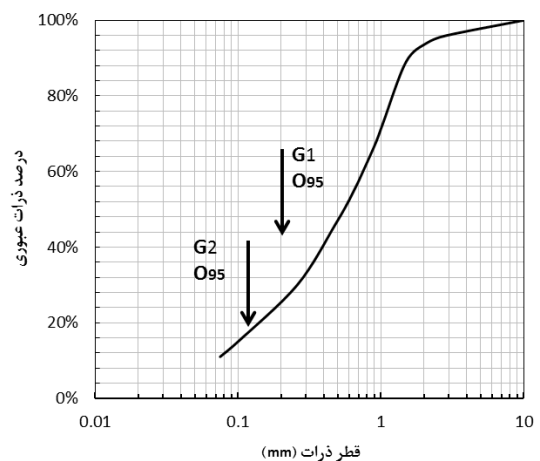
شماره نمونه	نوع پلیمر	جرم بر واحد سطح (g/m ²)	ضخامت (mm)	قطر الیاف (mm)	AOS (mm)
G1	پلی پروپیلن	۲۵۰	۱/۲	۰/۰۲۶۸	۰/۱۸
G2	پلی پروپیلن	۵۰۰	۳/۸	۰/۰۴۳	۰/۰۹

خاک مورد استفاده در آزمایش‌ها از محل پردیس دانشگاه سمنان تهیه شده و از بر اساس استاندارد طبقه‌بندی از نوع متحد (USCS)، از نوع ماسه خوب دانه‌بندی شده رسدار (SW-SC) می‌باشد. مشخصات این خاک در جدول ۲ ارائه شده است. منحنی دانه‌بندی و همچنین اندازه‌های O₉₅ ژئوتکستایل‌های مورد استفاده در شکل ۶ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲: مشخصات خاک مورد استفاده در آزمایش‌ها

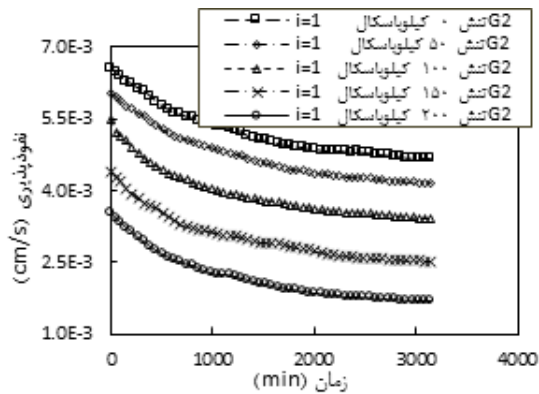
Table 2. Properties of the tested soil

نوع خاک	ضریب یکنواختی (Cu)	ضریب انحنای (Cc)	وزن مخصوص بیشینه (kN/m ³)	وزن مخصوص مخصوص (kN/m ³)	چگالی ویژه (Gs)
SW-SC	۱۱/۴۲	۱/۳	۱۸/۷۵	۱۵/۴۵	۲/۶۷



شکل ۶: منحنی دانه‌بندی خاک مورد استفاده در آزمایش‌ها

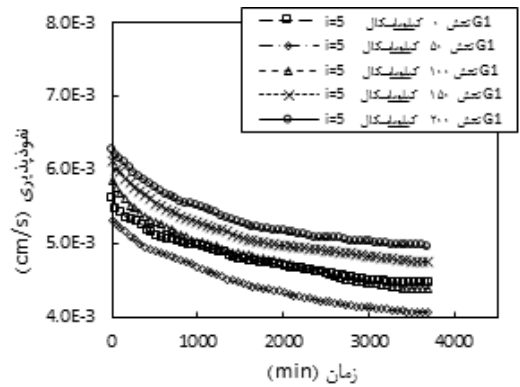
Fig. 6. Used soil particle distribution analysis for the tests



شکل ۹: منحنی تغییرات نفوذپذیری بر حسب زمان، در ژئوتکستایل G2 تحت اثر فشارهای مختلف در شیب هیدرولیکی یک

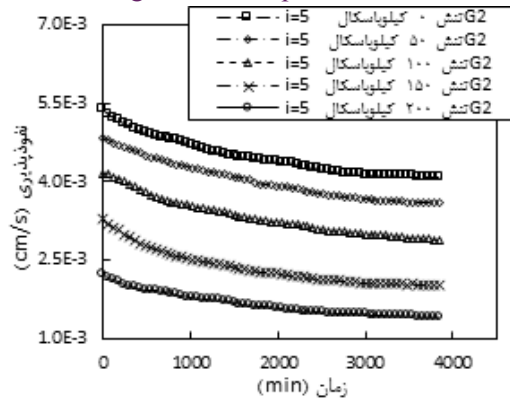
Fig. 9. Variations of the permeability versus time for G2 geotextile in different pressures while hydraulic gradient is equal to 1

همانطور که در شکل‌های فوق مشاهده می‌شود، در فشار وارده صفر بر سیستم خاک-ژئوتکستایل G1، ابتدا نرخ کاهش عبور جریان زیاد می‌باشد و با گذشت زمان و ایجاد گرفتگی در روزنه‌های ژئوتکستایل، به کندی کاهش می‌یابد. افزایش فشار نیز بر این سیستم باعث کاهش میزان نفوذپذیری اولیه و همچنین نهایی می‌شود. این در حالی است که بر روی نرخ جریان اثر چندانی نمی‌گذارد. همچنین در اثر افزایش فشار از ۵۰ کیلوپاسکال به بعد، مقدار نفوذپذیری افزایش می‌یابد. نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها در جدول ۴ نیز نشان داده شده‌اند.



شکل ۸: منحنی تغییرات نفوذپذیری بر حسب زمان، در ژئوتکستایل G1 تحت اثر فشارهای مختلف در شیب هیدرولیکی پنج

Fig. 8. Variations of the permeability versus time for G1 geotextile in different pressures while hydraulic gradient is equal to 5



شکل ۱۰: منحنی تغییرات نفوذپذیری بر حسب زمان، در ژئوتکستایل G2 تحت اثر فشارهای مختلف در شیب هیدرولیکی پنج

Fig. 10. Variations of the permeability versus time for G2 geotextile in different pressures while hydraulic gradient is equal to 5.

جدول ۴: نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی سیستم خاک-ژئوتکستایل G1

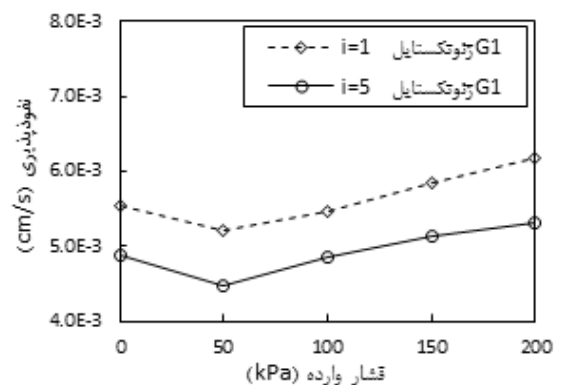
Table 4. Test results of the G1 geotextile

$I_{if}(Q_f/Q_i)$	مقدار نشست (mm)	میزان دبی خروجی (ml/s)		فشار وارده (kPa)	شیب هیدرولیکی	شماره آزمایش	نوع ژئوتکستایل
		اولیه	نهایی				
۰/۷۵۳	۰	۰/۴۲۵	۰/۳۲	۰	۱	۱	G1
۰/۷۹۴	۰	۱/۷۸۵	۱/۴۱۸	۰	۵	۲	
۰/۷۱۳	۰/۸۲	۰/۴۰۸	۰/۲۹۱	۵۰	۱	۳	
۰/۷۶۵	۰/۸۷	۱/۶۹۵	۱/۲۹۷	۵۰	۵	۴	
۰/۷۱۱	۱/۳۱	۰/۴۳۶	۰/۳۱	۱۰۰	۱	۵	
۰/۷۴۸	۱/۳۵	۱/۸۶	۱/۳۹۲	۱۰۰	۵	۶	
۰/۷۳۶	۱/۷	۰/۴۵۸	۰/۳۳۷	۱۵۰	۱	۷	
۰/۷۷۸	۱/۸۱	۱/۹۴۵	۱/۵۱۴	۱۵۰	۵	۸	
۰/۷۵۸	۲/۲۵	۰/۴۷۱	۰/۳۵۷	۲۰۰	۱	۹	
۰/۷۹	۲/۳۲	۱/۹۹۵	۱/۵۷۷	۲۰۰	۵	۱۰	

با توجه به شکل‌های ۹ و ۱۰ می‌توان گفت که در سیستم خاک-ژئوتکستایل G2 روند کاهش جریان در اثر گرفتگی در فشار صفر مشابه می‌باشد که با گذشت زمان مقدار جریان عبوری با نرخ کم، کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش فشار از صفر تا ۲۰۰ کیلوپاسکال سرعت کاهش جریان بیشتر می‌شود.

بدین ترتیب، برای ژئوتکستایل G2 در شیب هیدرولیکی یک، با افزایش فشار از صفر تا ۱۰۰ کیلوپاسکال مقدار جریان آب اولیه ۱۶ درصد و جریان نهایی آب ۳۶ درصد کاهش و با افزایش فشار تا ۲۰۰ کیلوپاسکال، مقدار جریان آب اولیه ۴۷/۲ درصد و جریان نهایی آب ۷۴ درصد کاهش یافته است. در شیب هیدرولیکی پنج، از فشار صفر تا ۱۰۰ کیلوپاسکال، جریان آب اولیه ۲۳/۲ درصد و جریان نهایی آب ۲۹/۳ درصد کاهش و با افزایش فشار تا ۲۰۰ کیلوپاسکال، مقدار جریان آب اولیه ۵۸/۸ درصد و جریان نهایی آب ۷۵/۵ درصد نسبت به حالت بدون تنش کاهش یافته است. نتایج بدست آمده از آزمایش‌های انجام شده به طور کلی در جدول ۵ ارائه شده و منحنی تغییرات نفوذپذیری بر حسب فشار اعمال شده در شیب‌های هیدرولیکی یک و پنج، در شکل ۱۲ نشان داده شده است. همچنین با توجه به اینکه سیستم خاک-ژئوتکستایل در تنش صفر با تخلخل اولیه متراکم شده است، با افزایش فشار وارد شده، تخلخل موجود در خاک سیستم کاهش می‌یابد؛ که این موضوع بر مقدار نفوذپذیری سیستم موثر می‌باشد.

به طور کلی می‌توان گفت در سیستم خاک-ژئوتکستایل G1، با افزایش فشار از صفر تا ۵۰ کیلوپاسکال، در شیب هیدرولیکی یک خروجی اولیه آب به مقدار ۴ درصد و خروجی نهایی آب ۹ درصد کاهش می‌یابد. بعلاوه، با افزایش فشار از ۵۰ تا ۲۰۰ کیلوپاسکال دبی خروجی اولیه ۱۱ درصد و دبی خروجی نهایی ۱۱/۵ درصد نسبت به حالت تنش صفر افزایش یافته است. در شیب هیدرولیکی پنج، با افزایش فشار از صفر تا ۵۰ کیلوپاسکال، خروجی اولیه آب به مقدار ۵/۱ درصد و خروجی نهایی آب ۸/۶ درصد کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش فشار از ۵۰ تا ۲۰۰ کیلوپاسکال، دبی خروجی اولیه ۱۱/۷ درصد و دبی خروجی نهایی ۱۱/۲ درصد افزایش یافته است. تغییرات نفوذپذیری بر حسب فشار وارد شده در دو شیب هیدرولیکی یک و پنج، در شکل ۱۱ نیز نشان داده است.



شکل ۱۱: تغییرات نفوذپذیری بر حسب فشار در دو شیب هیدرولیکی یک و پنج برای ژئوتکستایل G1

Fig. 11. Permeability changes of G1 geotextile versus different pressures for hydraulic gradients of 1 and 5

جدول ۵: نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی سیستم خاک-ژئوتکستایل G2

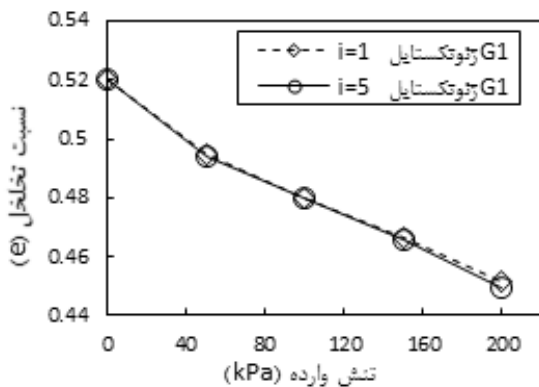
Table 5. Test results of the G2 geotextile

I_{if} (Q_f/Q_i)	مقدار نشست (mm)	میزان دبی خروجی (ml/s)		فشار وارده (kPa)	شیب هیدرولیکی	شماره آزمایش	نوع ژئوتکستایل
		نهایی	اولیه				
۰/۷۱۵	۰	۰/۲۹۷	۰/۴۱۶	۰	۱	۱۱	G2
۰/۷۶	۰	۱/۳۰۱	۱/۷۱۲	۰	۵	۱۲	
۰/۶۹۲	۰/۷۳	۰/۲۶۵	۰/۳۸۳	۵۰	۱	۱۳	
۰/۷۴۷	۰/۶۹	۱/۱۴۵	۱/۵۳۲	۵۰	۵	۱۴	
۰/۶۲۳	۱/۲۷	۰/۲۱۸	۰/۳۵	۱۰۰	۱	۱۵	
۰/۶۹۹	۱/۲۱	۰/۹۲	۱/۳۱۶	۱۰۰	۵	۱۶	
۰/۵۷۵	۱/۵۵	۰/۱۶۱	۰/۲۸	۱۵۰	۱	۱۷	
۰/۶۱۶	۱/۵۲	۰/۶۴۵	۱/۰۴۶	۱۵۰	۵	۱۸	
۰/۴۸۲	۱/۷۳	۰/۱۰۸	۰/۲۲۴	۲۰۰	۱	۱۹	
۰/۶۳۷	۱/۷۸	۰/۴۵	۰/۷۰۶	۲۰۰	۵	۲۰	

است. هرچند بر اساس نتایج به دست آمده، به نظر ضخامت و اندازه‌ی روزنه‌ی موثر ژئوتکستایل به عنوان پارامترهای اثرگذار در این آزمایش، به نحوی عمل کرده‌اند که در ژئوتکستایل G2 که دارای ضخامت بیشتر و روزنه‌ی کوچکتری است، نفوذپذیری کاهش کمتری یافته است. این موضوع با آنچه در پژوهش کویپتار^۱ در سال (۲۰۱۳) گزارش شده است مطابقت دارد [۲].

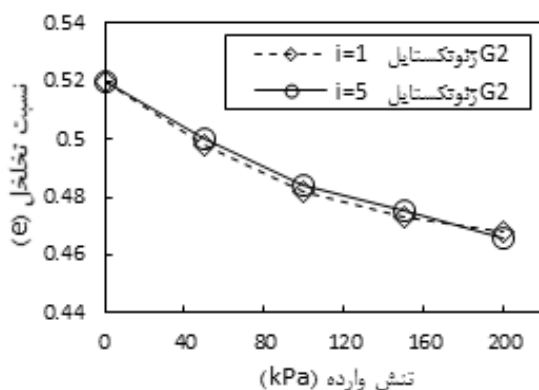
۳-۳- بررسی تغییرات نسبت تخلخل

در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ منحنی تغییرات نسبت تخلخل بر حسب تنش اعمال شده، نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها می‌توان دید، شیب هیدرولیکی اعمال شده بر تغییر نسبت تخلخل تأثیر چندانی نداشته و بیشتری تغییرات حاصل از تغییر فشار اعمال شده می‌باشد.



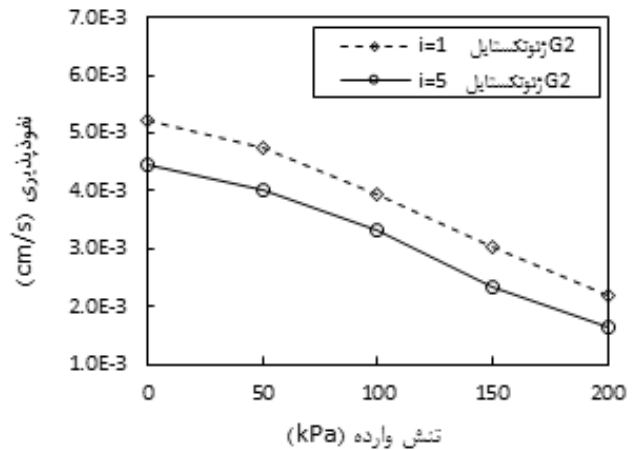
شکل ۱۳: تغییرات نسبت تخلخل بر حسب فشار اعمال شده در شیب‌های هیدرولیکی یک و پنج در ژئوتکستایل G1

Fig. 13. Void ratio variations of G1 geotextile versus different pressures for hydraulic gradients of 1 and 5



شکل ۱۴: تغییرات نسبت تخلخل بر حسب فشار اعمال شده در شیب‌های هیدرولیکی یک و پنج در ژئوتکستایل G2

Fig. 14. Void ratio variations of G2 geotextile versus different pressures for hydraulic gradients of 1 and 5



شکل ۱۲: تغییرات نفوذپذیری بر حسب فشار در دو شیب هیدرولیکی یک و پنج برای ژئوتکستایل

Fig. 12. Permeability changes of G2 geotextile versus different pressures for hydraulic gradients of 1 and 5

با توجه به شکل‌های ۱۱ و ۱۲ می‌توان گفت که ژئوتکستایل G1 که از ضخامت، قطر الیاف، اندازه روزنه‌ی مشخصه و جرم واحد سطح کمتری نسبت به G2 برخوردار است، رفتار نفوذپذیری کاملاً متفاوتی نسبت به اعمال سربار در هر دو شیب هیدرولیکی یک و پنج، نشان داده است. این رفتار به نحوی است که مجموعه تا فشار ۵۰ کیلوپاسکال، دست‌خوش کاهش نفوذپذیری شده و پس از آن تا سطح فشار ۲۰۰ کیلوپاسکال، افزایش نفوذپذیری سیستم رخ داده است. این در حالی است که در سیستم با ژئوتکستایل G2، نفوذپذیری با افزایش فشار سربار اعمال شده، کاهش یافته است. این رفتار با آنچه پژوهشگران پیشین گزارش کرده‌اند، مطابقت دارد [۳ و ۹]. با توجه به استفاده از گوی‌های فلزی به عنوان بستر قرارگیری ژئوتکستایل، و همچنین تفاوت در مقاومت کششی و فشاری G1 و G2، تفاوت در رفتار مشاهده شده تحت اثر اعمال فشارهای مختلف را می‌توان به مقدار فرورفتگی گوی‌ها بر روی سطوح ژئوتکستایل نیز مرتبط دانست. با توجه به آنچه در مرجع [۷] گزارش شده است، رخداد کرنش‌های موضعی سبب افزایش اندازه‌ی روزنه‌های ژئوتکستایل با ضخامت و وزن واحد سطح کم‌تر (G1) شده و به افزایش نفوذپذیری در فشارهای بیشتر منجر شده است.

۳-۲- بررسی اثر شیب هیدرولیکی اعمال شده بر نفوذپذیری

با توجه به شکل‌های ۷ الی ۱۰ و همچنین شکل‌های ۱۱ و ۱۲ می‌توان دریافت که اثر تغییر شیب هیدرولیکی در هر دو ژئوتکستایل یکسان بوده و افزایش این پارامتر منجر به کاهش نفوذپذیری سیستم شده است. افزایش شیب هیدرولیکی از مقدار یک به پنج سبب کاهش به ترتیب ۲۰ و ۱۵ درصدی نفوذپذیری در ژئوتکستایل G1 و G2 شده است. این اثر به مقدار سربار وابسته نبوده و در همه‌ی فشارهای اعمال شده مقداری نسبتاً ثابت

همان‌طور که در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود، با افزایش فشار از صفر تا ۱۰۰ کیلوپاسکال، در سیستم خاک-ژئوتکستایل G1 در شیب هیدرولیکی یک به مقدار ۶/۶ درصد و در شیب هیدرولیکی پنج به مقدار ۵/۸ درصد کاهش یافته است. همچنین با افزایش فشار از ۵۰ تا ۲۰۰ کیلوپاسکال، در شیب هیدرولیکی یک به میزان ۶/۲ درصد و در شیب هیدرولیکی پنج به مقدار ۵/۱ درصد افزایش یافته است. این در حالی است که در سیستم خاک-ژئوتکستایل G2، بر اثر افزایش فشار اعمال شده، مقدار شاخص تغییر جریان با افزایش فشار از صفر تا ۲۰۰ کیلوپاسکال در شیب هیدرولیکی یک به مقدار ۳۲/۶ درصد و در شیب هیدرولیکی پنج به مقدار ۱۶/۲ درصد کاهش یافته است. این امر را می‌توان به علت رخداد پدیده‌ی انسداد در ژئوتکستایل دانست. از آنجا که ضخامت و فشردگی لایه‌ی ژئوتکستایل G2 بیشتر از لایه‌ی G1 می‌باشد و اندازه روزنه‌ی موثر آن کوچکتر است، با افزایش فشار در سیستم خاک-ژئوتکستایل G2 میزان گرفتگی نسبت به مجموعه دارای ژئوتکستایل G1، افزایش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

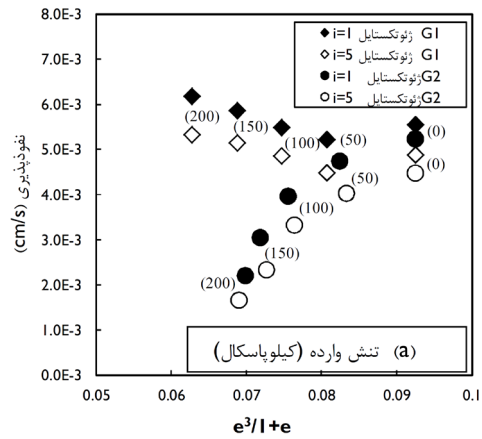
در آزمایش‌های انجام‌شده مشاهده می‌شود که تغییر در پارامترهای مانند شیب هیدرولیکی و فشار اعمال شده، بر ثبات عملکرد فیلتر و نحوه رفتار سیستم خاک-ژئوتکستایل اثر گذار می‌باشد. در حالت کلی، می‌توان نتایج این پژوهش را در موارد زیر ارائه نمود.

مقدار شاخص تغییر جریان در سیستم خاک-ژئوتکستایل G1 و G2 متفاوت است که این تفاوت را می‌توان به صورت مستقیم به رخداد پدیده انسداد در این دو لایه مرتبط ساخت. بعلاوه، اثر شیب هیدرولیکی اعمال شده بر شاخص جریان، در هر دو سیستم مورد بررسی تقریباً یکسان می‌باشد. دلیل این تفاوت در رفتار دو لایه‌ی ژئوتکستایل را می‌توان ناشی از مقاومت فشردگی و کششی ژئوتکستایل دانست. چرا که بر اثر اعمال فشار سربار، نمونه‌های ژئوتکستایل از نظر فیزیکی دچار تغییر در ضخامت شده و در نتیجه تغییر در مقدار پارامتر اندازه روزنه‌ی مشخصه (AOS) می‌شوند.

با توجه به افزایش فشار در سیستم خاک-ژئوتکستایل، افزایش تراکم ایجاد شده سبب کاهش مقدار نسبت تخلخل می‌شود. بنابراین، نسبت تخلخل در سیستم خاک-ژئوتکستایل G1 از فشار صفر تا ۲۰۰ کیلوپاسکال حدود ۹/۵ درصد و در سیستم خاک-ژئوتکستایل G2 حدود ۱۳/۵ درصد کاهش می‌یابد. این موضوع را می‌توان به بالاتر بودن مقاومت فشردگی و کششی ژئوتکستایل G2، نسبت به G1 دانست که بر اثر افزایش فشار دچار فشردگی و کشیدگی کمتری نسبت به ژئوتکستایل G1 می‌شود. همچنین در اثر افزایش فشار در ژئوتکستایل G1 تغییرات در پارامتر O95 نسبت به ژئوتکستایل G2 بیشتر می‌باشد.

تفاوت در شیب هیدرولیکی نیز اثر متفاوتی بر مقدار نفوذپذیری سیستم خاک-ژئوتکستایل می‌گذارد. با افزایش آن به شیب هیدرولیکی پنج، مقدار گرفتگی اولیه افزایش یافته و گرفتگی در اثر گذشت زمان با آهنگ کندی

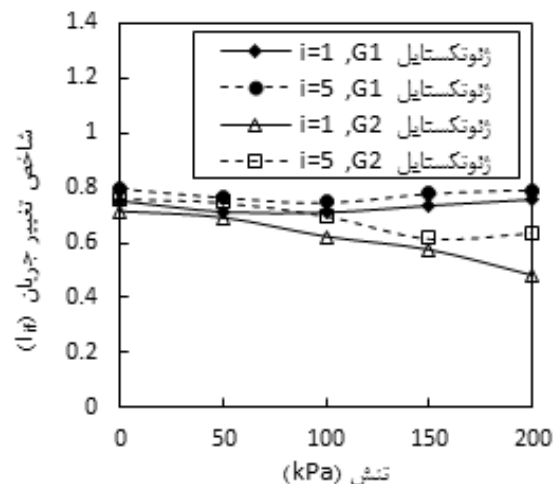
از طرف دیگر، در شکل ۱۵ تغییرات نفوذپذیری (k) بر حسب $e^3 / (1+e)$ (نسبت تخلخل مجموعه می‌باشد) نشان داده شده است. رابطه تجربی کازنی-کارمن $(k \propto e^3 / (1+e))$ برای تخمین مقدار نفوذپذیری در خاک‌های ماسه‌ای می‌باشد که با توجه به آنچه در مرجع [۱۵] آمده است، برای تخمین مجموعه ژئوتکستایل و خاک نیز مناسب می‌باشد.



شکل ۱۵: تغییرات نفوذپذیری بر حسب $e^3 / (1+e)$

Fig. 15. G1 and G2 geotextiles permeability changes versus $e^3/(1+e)$

با توجه به این که در این آزمایش‌ها امکان سنجش دبی خروجی اولیه و نهایی (تحت اثر اعمال سربارهای مختلف) وجود داشته است، لذا می‌توان پارامتر I_{if} را به عنوان نسبت دبی خروجی نهایی به دبی خروجی اولیه (Q_1/Q_0) تعریف نمود. این پارامتر شاخص مناسبی برای بررسی اثر گرفتگی روزنه‌های ژئوتکستایل توسط ریزدانه‌های موجود در خاک می‌باشد. شکل ۱۶ نمودار تغییرات شاخص تغییر جریان در اثر فشار اعمالی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶: اثر سربارهای اعمال شده بر شاخص جریان تغییر جریان

Fig. 16. Effect of applied pressures (surcharges) on the flow index

- overlying different bedding materials, *Geotextiles and Geomembranes*, 31 (2012) 1-14.
- [8] Department of The Army Corps of Engineers, Office of the Chief Engineers, *Civil Works Construction Guide Specification for Plastic Filter Fabric*, Washington, D.C., 1977.
- [9] C.S. Wu, Y.S. Hong, Y.W. Yan, B.S. Chang, Soil-nonwoven geotextile filtration behavior under contact with drainage materials, *Geotextiles and Geomembranes*, 24 (2006) 1-10.
- [10] A. Pak, Z. Zahmatkesh, Experimental study of hydraulic behavior of nonwoven geotextiles under different confined stresses and gradients, *Journal of Civil Engineering Islamic Azad University*, 1 (2009) 61-69.
- [11] J. Lafleur, A.L. Rollin, J. Mlynarek, Clogging of geotextiles under pumping loads, in: *The Fourth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Hague, 1990, pp. 189-192.
- [12] R.M. Koerner, J.A. Bove, J.P. Martin, Water and air transmissivity of geotextiles, *Geotextiles and Geomembranes*, 1 (1984) 57-73.
- [13] J.R. Bell, R.G. Hicks, Evaluation of Test Methods and Use Criteria for Geotechnical Fabrics in Highway Applications, in, 1980, pp. 202.
- [14] A.L. Bell, L.M. McCullough, M.S. Snaith, An experimental investigation of subbase protection using geotextiles, in: *Proceedings of Second International Conference on Geotextiles*, Las Vegas, 1982, pp. 435-440.
- [15] Y.S. Hong, C.S. Wu, Filtration behaviour of soil-nonwoven geotextile combinations subjected to various loads, *Geotextiles and Geomembranes*, 29 (2011) 102-115.
- [16] R.C. Metcalfe, Performance of Geotextile Separators, Master of Science Thesis, University of Western Washington, 1993.
- [17] Y.H. Faure, A. Baudoin, P. Pierson, O. Plé, A contribution for predicting geotextile clogging during filtration of suspended solids, *Geotextiles and Geomembranes*, 24 (2006) 11-20.
- [18] H.J. Kohler, The influence of hydraulic head and hydraulic gradient on the filtration process, in: *Filters in Geotechnical and hydraulic engineering*, Rotterdam, 1993.
- [19] K.A.G. Mouw, K.D.C. Nederlof, J. Stuij, R. van Zanten, Geotextiles in shore and bottom protection works, in: *Proceedings of the Third International Conference on Geotextiles*, Vienna, Austria, 1986, pp. 349-354.
- [20] ASTM D5101-12, Standard Test Method for Measuring کاهش یافته است. این در حالی است که در شیب هیدرولیکی یک، گرفتگی اولیه کمتر بوده و گرفتگی در طول مدت آزمایش رخ داده است. این عامل می تواند تحت تأثیر دو پارامتر مهم مقدار قدرت جریان آب که ذرات را جابجا می کند و همچنین نوع ذرات (از نظر جنس و نوع کانی ها که چقدر قابلیت جابجایی دارند) باشد.
- با توجه به قابلیت ژئوتکستایل ها در دو زمینه اصلی زهکشی (قابلیت عبوردهی جریان آب) و صافی (قابلیت جلوگیری از عبور ذرات ریزدانه و معلق به عنوان فیلتر) در زمان طراحی لازم است به اولویت هر یک از این قابلیت ها و شرایط پیش روی طراح توجه شود. همان طور که در این آزمایش ها مشاهده می شود، ژئوتکستایل G_1 و G_2 تحت اثر فشارهای اعمال شده رفتارهای متفاوتی نشان داده اند. این تفاوت رفتار علاوه بر اثرپذیری از جنس دانه های تحتانی (که در این مطالعه گوی های فلزی در نظر گرفته شده اند) تابع تغییرات شیب هیدرولیکی نیز می باشد. لذا لازم است قبل از استفاده از ژئوتکستایل ها به منظور فراهم آوردن قابلیت صافی کردن و یا زهکشی، با توجه به شرایط پروژه آزمایش های نفوذپذیری انجام شوند تا از عملکرد و پایداری سیستم خاک-ژئوتکستایل استفاده شده اطمینان حاصل شود.

منابع

- [1] Y. Tavangar, I. Shooshpasha, Experimental and Numerical Study of Bearing Capacity and Effect of Specimen Size on Uniform Sand with Medium Density, Reinforced with Nonwoven Geotextile, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41 (2016) 1-11.
- [2] D. Kopitar, Z. Skenderi, T. Rukavina, Influence of Pressure on Hydraulic Properties of Nonwoven Geotextiles, *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 6 (2013) 103-115.
- [3] Mohammad Mehdi Jabbari, Abolfazl Shamsaie, Ali Noorzad, J. Sadrekarimi, The performance of the geotextile filtration in the are of the drainage particle contact, *Water Resource Engineering Journal - A Scientific and Research Quarterly*, 4(11) (2011) 23-32.
- [4] A. Pak, Z. Zahmatkesh, Experimental study of geotextile's drainage and filtration propertis under different hydraulic gradients and confining pressures, *International Journal of Civil Engineering*, 9 (2011) 7-12.
- [5] E.M. Palmeira, M.G. Gardoni, Drainage and filtration properties of non-woven geotextiles under confinement using different experimental techniques, *Geotextiles and Geomembranes*, 20 (2002) 97-115.
- [6] E.M. Palmeira, M.G. Gardoni, The Influence of Partial Clogging and Pressure on the Behaviour of Geotextiles in Drainage Systems, *Geosynthetics International*, 7 (2000) 403-431.
- [7] E.M. Palmeira, J. Tatto, G.L.S. Araujo, Sagging and filtration behaviour of nonwoven geotextiles

- [22] G. Shafabakhsh, A. Haddad, M. Akbari, Introduction to Geosynthetics, Semnan University Press, Semnan, Iran, 2011.
- [23] W. Dierickx, Opening size determination of technical textiles used in agricultural applications, Geotextiles and Geomembranes, 17 (1999) 231-245.
- the Filtration Compatibility of Soil-Geotextile Systems, in: ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- [21] R. Nateghi, Geotextile's permeability performance measurements in drainage systems under pressure, Master of Science Thesis, Semnan University, Semnan, Iran, 2013.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

R. nateghi, A. Haddad, Geotextile's permeability performance measurements in drainage systems under pressure.

Amirkabir J. Civil Eng., 49(4) (2018) 635-644.

DOI: 10.22060/ceej.2016.871

