

ارزیابی عملکرد دو نمونه پوشش مصنوعی زهکشی PP450 تولید داخل در مقایسه با نوع خارجی آن در شرایط مختلف آزمایشگاهی

شهره پدرام، علیرضا حسن اقلی*، محمود مشعل و عبدالمجید لیاقت**

*نگارنده مسئول، نشانی: کرج، بلوار شهید فهمیده، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ص. پ. ۸۴۵-۳۱۵۸۵، تلفن: ۲۷۰۵۳۲۰
پیام‌نگار: arho49@yahoo.com

** به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران؛ استادیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ استادیار پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران؛ استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.

تاریخ دریافت: ۸۹/۵/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۲

چکیده

مشکلات موجود بر سر راه تهیه و استفاده از پوشش‌های زهکشی شن و ماسه‌ای در کشور، منجر به بررسی به‌منظور یافتن جایگزین مناسب برای آنها شده که از جمله رایج‌ترین موارد می‌توان به پوشش‌های مصنوعی اشاره کرد. با توجه به رشد روزافزون صنایع پتروشیمی در ایران و تولید مواد اولیه مورد نیاز جهت تهیه پوشش‌های زهکشی مصنوعی و نیز وجود کارخانجات متعدد نساجی در کشور، امکان تولید داخلی این محصولات، فراهم شده است. از این نظر در تحقیق حاضر به بررسی عملکرد دو نمونه پوشش مصنوعی پیش‌تینده سست و حجیم (PLM) تولید داخل از نوع PP450 در مقایسه با یک نمونه مشابه خارجی، در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از مدل فیزیکی نفوذسنج طراحی شده بر اساس استاندارد ASTM D-5101 پرداخته شد. از موارد متمایز این تحقیق، استفاده از زه‌آب شور و سدیمی $EC=22/2$ دسی‌زیمنس بر متر و $SAR=26/27$ ، علاوه بر آب غیرشور $EC=0/78$ دسی‌زیمنس بر متر) و در حضور خاک شور و سدیمی $EC=169/3$ دسی‌زیمنس بر متر و $SAR=45/18$ می‌باشد که از محل اجرای پروژه زهکشی در منطقه شمال خرمشهر تهیه گردید تا شرایط را به واقعیت موجود در مناطق زهدار کشور نزدیک کند. به‌منظور ارزیابی، از عاملی به نام نسبت گرادیان (GR) استفاده شد. این نسبت از تقسیم گرادیان هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی بر گرادیان هیدرولیکی خاک به‌دست می‌آید و چنانچه مقدار آن از یک تجاوز کند، پوشش مصنوعی مستعد گرفتگی معدنی تشخیص داده می‌شود. همچنین تغییرات هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی در کنار نسبت گرادیان، در پنج گرادیان هیدرولیکی (۱، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰) به‌منظور بررسی پتانسیل انسداد معدنی پوشش مصنوعی در شرایط کاربرد زه‌آب شور و خاک شور و سدیمی، در قالب طرح آماری فاکتوریل به‌صورت کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که متوسط هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش نمونه‌های تولید داخل (معرفی شده با شماره‌های ۱ و ۲) در شرایط کاربرد آب غیرشور در مقایسه با پوشش مصنوعی تولید خارج، به‌ترتیب، ۱۹ درصد و ۲۸ درصد کمتر، و در شرایط کاربرد زه‌آب شور، کاهش هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش‌های تولید داخل به‌ترتیب ۲۸ درصد و ۳۳ درصد پوشش مصنوعی تولید خارج بود. نسبت گرادیان پوشش مصنوعی تولید خارج در تمامی گرادیان‌های هیدرولیکی، کمتر از یک بود که دلالت بر کارایی و عدم انسداد معدنی نمونه خارجی داشت، در صورتی‌که در هر دو نمونه پوشش مصنوعی تولید داخل در شرایط کاربرد زه‌آب شور، مقادیر نسبت گرادیان (GR) در گرادیان‌های هیدرولیکی یک و ۲/۵ به مقدار واحد نزدیک شد. این مقادیر در پوشش‌های مصنوعی داخلی شماره‌های ۱ و ۲ در شرایط کاربرد زه‌آب شور به ترتیب در گرادیان هیدرولیکی یک به ۱/۰۴ و ۱/۱۵ و در گرادیان هیدرولیکی ۲/۵ به ۱/۰۲ و ۱/۰۵ رسید.

واژه‌های کلیدی

پوشش مصنوعی PP450، خرمشهر، زه‌آب، زهکشی، نسبت گرادیان، نفوذسنج، هدایت هیدرولیکی

مقدمه

مناطق جنوبی ایران، آشکار است و با استقبال عمده از سامانه‌های زهکشی زیرزمینی، تأمین مصالح مورد نیاز در اجرای آنها از جمله اولویت‌های اساسی به‌شمار می‌رود.

امروزه به‌دلیل وسعت اراضی زهدار و شور در گستره کشور، نیاز به زهکشی در سطوحی وسیع و به‌ویژه در

کرد. با توجه به رشد روزافزون صنایع پتروشیمی در ایران و وفور مواد اولیه مورد نیاز در تولید پوشش‌های مصنوعی (پلی پروپیلن، پلی استر و غیره)، هم‌اینک امکان تولید داخلی این تولیدات فراهم شده است (Hassanoghli & Darbandi, 2002; Hassanoghli & Liaghat, 2004). در چنین شرایطی و در صورت اطمینان از عملکرد مناسب این فراورده‌ها، از هزینه‌های لازم جهت تهیه پوشش زهکشی مصنوعی نیز به مقدار چشمگیری کاسته می‌شود. در راستای ارزیابی عملکرد پوشش‌های مصنوعی، چند ضابطه عمومی ارائه شده که برآورد اولیه از نوع فراورده مناسب را به دست می‌دهد (Vlotman *et al.*, 2000). ممکن است این معیارها بر اساس استانداردهای گوناگون و شرایط منطقه تا حدودی متفاوت باشند، که در عمل، به تنهایی کافی نیستند و همواره آزمون‌هایی تکمیلی جهت تأیید محصولات انتخاب شده و گزینش نهایی بهترین آنها مورد نیاز است. آزمون‌ها ممکن است در دو قالب آزمایشگاهی و بهره‌گیری از مزارع آزمایشی انجام پذیرند. در مورد احداث مزارع آزمایشی، اگرچه نتایج حاصل از این آزمون‌ها، کاربردی و مطابق با واقعیات محلی پروژه است، ولی به علت زمان طولانی آزمایش‌ها (به‌طور متوسط دو سال)، هزینه‌های زیاد، عدم اعمال شرایط هیدرولیکی دلخواه و همچنین شرایط محیطی غیر قابل کنترل، در عمل کمتر مورد توجه قرار می‌گیرند. در مقابل، آزمون‌های آزمایشگاهی به سرعت قابل اجرا می‌باشند و می‌توان بعضی از رفتارها و فرایندهای به وقوع پیوسته در ارتباط بین خاک، آب و پوشش مصنوعی را بازسازی کرد و به نتایج قابل قبولی دست یافت (Hassanoghli, 2009).

در تحقیقات حسن‌اقلی (Hassanoghli, 1996)، از یک نوع ژئوتکستایل بافته استفاده شد. ژئوتکستایل مورد نظر به عنوان لوله زهکش و پوشش اطراف آن، از بافته‌ای حصیر مانند با تارهای پلی‌استر و پودهایی از جنس نی‌های

(Hassanoghli, 2009). یکی از موارد تعیین‌کننده در طراحی زهکشی زیرزمینی، تأمین پوشش دور لوله‌های زهکش است، به طوری که عدم توجه کافی در انتخاب پوشش مناسب در اطراف لوله‌های زهکش، عملکرد سامانه را با مشکل مواجه می‌سازد. این مواد نه تنها از نظر هیدرولیکی باعث تسهیل جریان آب به داخل لوله می‌شوند، بلکه از ورود خاک اطراف لوله و ذرات معلق موجود به درون آن جلوگیری به عمل می‌آورند. کارآمد بودن پوشش در شرایطی که امکان وارد شدن ذرات خاک به داخل لوله زیاد باشد بسیار حائز اهمیت است، زیرا عبور ذرات خاک از پوشش و رسوب کردن آن در لوله، یکی از عوامل اصلی مسدود شدن زهکش‌های زیرزمینی است (Vatanzadeh, 1993; Vlotman *et al.*, 2000).

به عنوان رایج‌ترین نوع پوشش زهکشی مورد استفاده در کشور، می‌توان به پوشش حجیم معدنی (شن و ماسه‌ای) اشاره کرد. امروزه دوری منابع قرضه و برداشت بی‌رویه از معادن شن و ماسه، وضعیت بسیار بغرنجی را چه از لحاظ اقتصادی و چه از نظر زیست محیطی ایجاد کرده است. در حال حاضر، در جنوب خوزستان حدود ۵۰ درصد هزینه پروژه‌های زهکشی، صرف تأمین لوله زهکش و پوشش شن و ماسه‌ای اطراف آن می‌گردد (Hassanoghli, 2009). از طرفی بعد مسافت و تخلیه و بارگیری‌های متعدد، موجب به هم خوردگی و عدم یکنواختی دانه‌بندی پوشش می‌شود که در اثر جدا شدن ذرات ریز و درشت پوشش از یکدیگر، احتمال ورود رسوبات به داخل لوله زهکش و گرفتگی آن را به شدت افزایش می‌دهد. این مهم، ضرورت جایگزینی دیگر تولیدات را که از توان اجرای وظایف یک پوشش مناسب زهکشی برخوردار بوده و در عین حال به سهولت قابل تأمین باشند بیش از پیش نمایان می‌سازد. از جمله تولیداتی که در سطح جهان به آنها توجه خاص شده است می‌توان به پوشش‌های مصنوعی یا ژئوتکستایل‌ها^۱ اشاره

و فیزیکی ژئوتکستایل‌ها اندازه گرفتند و پی بردند که هرچه فشار اعمال شده در نتیجه افزایش عمق کارگذاری لوله زهکش بر روی پوشش مصنوعی بیشتر شود، ضخامت، اندازه روزنه‌ها و نفوذپذیری پوشش مصنوعی کاهش می‌یابد و در عملکرد پوشش و زهکشی مشکل ایجاد می‌شود. آیدیلیک و همکاران (Aydilik *et al.*, 2005) قابلیت صاف کردن و زهکشی ژئوتکستایل‌ها را با توجه به میزان تنگ‌شدگی روزنه‌ها و کاهش ضخامت ژئوتکستایل بررسی کردند. این تحقیق، بر روی ۱۵ نمونه ژئوتکستایل انجام شد. آنها در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که هرچه منافذ موجود در پوشش، کوچک‌تر شوند و ضخامت پوشش کاهش یابد، از قابلیت صاف کردن و زهکشی آن به شدت کاسته می‌شود.

رایسینگ‌هانی و ویس‌وانادهام (Raisinghani & Viswanadham, 2010) به بررسی خواص نفوذپذیری ژئوتکستایل‌ها در شرایط حضور خاک با هدایت هیدرولیکی پایین پرداختند. در این تحقیق از یک دستگاه نفوذسنج استفاده شد. آنها به این نتیجه رسیدند که افزایش بار آبی منجر به کاهش خواص نفوذپذیری ژئوتکستایل می‌گردد.

چاتوپادهایای و چاکراواری (Chattopadhyay & Chakravarty, 2009) به بررسی کارایی ژئوتکستایل ساخته شده از الیاف کنف پرداختند. مطالعات آنها آشکار کرد که این ژئوتکستایل‌ها قابلیت رقابت با انواع دیگر را دارند و نیز از لحاظ اقتصادی به صرفه می‌باشند و مشکلی را برای محیط زیست ایجاد نمی‌کنند. سوبایدا و همکاران (Subaida *et al.*, 2008) که مطالعات آزمایشگاهی خود را بر روی پوشش‌های مصنوعی (ژئوتکستایل) بافته و نبافته انجام دادند، با استفاده از یک محفظه فشاری به بررسی تنش‌های وارده بر ژئوتکستایل‌ها پرداختند. آنها در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که تنش کششی و برشی و فشار وارده بر پوشش‌های زهکشی که بر مقادیر شدت جریان خروجی و هدایت هیدرولیکی پوشش‌ها مؤثر

توخالی پلی‌پروپیلن ساخته شده بود. در حقیقت لوله به کار رفته در این آزمایش نسبتاً انعطاف‌پذیر بود و آب از راه روزنه‌های کوچک پراکنده در سراسر لوله وارد آن می‌شد. برای انجام آزمایش‌ها از دو نوع خاک با بافت سنگین (با طبقه بندی CL-ML در سیستم یونیفاید) و بافت متوسط (SM-SC) استفاده گردید. جهت بررسی توان زهکشی لوله ژئوتکستایل در مقایسه با لوله زهکش رایج به همراه پوشش سنی، از دو مخزن آب و خاک به ابعاد واقعی که بخشی از ترانشه زهکشی را شبیه‌سازی می‌نمودند استفاده شد. همچنین برای اولین بار در کشور با طراحی و ساخت یک دستگاه نفوذسنج از جنس پلکسی‌گلاس، پتانسیل گرفتگی معدنی سامانه خاک-ژئوتکستایل نیز مورد بررسی قرار گرفت. مجموعه نتایج حاصل نشان دادند که دبی لوله زهکش رایج به همراه پوشش معدنی در خاک CL-ML بین ۴/۹ تا ۵/۵ برابر لوله زهکش ژئوتکستایل و در خاک SM-SC بین ۲/۱ تا ۲/۷ برابر آن بود که مقاومت ورودی زیاد ژئوتکستایل و عدم تناسب آن با خاک مورد استفاده را نشان می‌داد.

کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2008)، به بررسی آزمایشگاهی عملکرد سه نوع پوشش مصنوعی زهکشی خارجی (PP450, PP700, PP900) در مقایسه با پوشش معدنی با استفاده از خاک پروژه زهکشی شمال خرمشهر و آب غیرشور و توسط مدل فیزیکی نفوذسنج پرداختند. در این آزمایش‌ها، تغییرات شدت جریان خروجی از مجموعه خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی، نسبت گرادیان و نسبت هدایت هیدرولیکی در هر چهار پوشش بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که شدت جریان خروجی از پوشش معدنی تقریباً دو برابر شدت جریان خروجی از پوشش مصنوعی است و پوشش PP450 نسبت به دیگر پوشش‌های مصنوعی دارای عملکرد مناسب‌تری است.

پالمیرا و گاردونی (Palmeira & Gardoni, 2002)، اثر مقادیر مختلف فشار را بر روی خصوصیات هیدرولیکی

مواد و روش‌ها

در هنگام کاربرد پوشش مصنوعی در اطراف لوله زهکش زیرزمینی، خطر انسداد روزنه‌های پوشش توسط خاک از مواردی است که عملکرد مناسب سامانه زهکشی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. در راستای بررسی چنین پدیده‌ای می‌توان از روش‌هایی استفاده کرد که بهره‌گیری از آزمون نفوذسنجی، یکی از کاربردی‌ترین و عملی‌ترین روش‌هاست (Hassanoghli, 2009). نفوذسنج^۱ دستگاهی است که جهت تعیین نفوذپذیری مجموعه خاک- پوشش مصنوعی و نیز پتانسیل انسداد معدنی پوشش تحت شرایط جریان یک بعدی، به کار برده می‌شود. منظور از پتانسیل انسداد، استعداد پوشش مصنوعی معین به کاهش نفوذپذیری در نتیجه مسدود شدن روزنه‌های آن توسط ذرات خاک و یا تشکیل یک لایه محدود کننده جریان، بر سطح آن می‌باشد. در این خصوص، استانداردهای متعددی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به استاندارد ASTM D-5101 اشاره کرد (Anon., 2006). در این تحقیق، از دستگاه نفوذسنج طراحی شده بر اساس این استاندارد به منظور ارزیابی عملکرد دو نمونه پوشش مصنوعی PP450 تولید داخلی، در مقایسه با پوشش مصنوعی مشابه خارجی آن، استفاده به عمل آمد.

خاک و آب مورد استفاده در تحقیق

با توجه به اینکه در آزمون نفوذسنجی و استاندارد کردن آن، از اثرات احتمالی کیفیت آب ورودی و خاک بر نتایج آزمون ذکری به میان نیامده و در بسیاری از پروژه‌های زهکشی ایران، خاک و آب شور زیرزمینی وجود دارد و تا مدت‌ها ممکن است سامانه زهکشی تحت تأثیر این کیفیت نامناسب قرار گیرد، بنابراین، انجام آزمایش‌هایی به منظور واسنجی نتایج آزمون نفوذسنجی با

می‌باشند، بستگی به مقدار الیاف به کار رفته در پوشش‌ها دارند. همچنین مقاومت این پوشش‌ها به نوع و اندازه ذرات خاک در اطراف این پوشش‌ها بستگی دارد.

با توجه به اینکه امروزه امکان تولید و ساخت پوشش‌های مصنوعی در داخل کشور وجود دارد، در این تحقیق آزمایشگاهی سعی بر آن شد که در ابتدا خصوصیات هیدرولیکی دو نوع پوشش مصنوعی نفاخته تولید داخل از نوع PP450 در مقایسه با پوشش مصنوعی مشابه تولید خارج مورد ارزیابی قرار گیرد. جهت تعیین نفوذپذیری مجموعه خاک- پوشش مصنوعی و نیز پتانسیل انسداد معدنی پوشش‌ها، از آزمون نفوذسنجی استفاده شد. نکته مهم اینکه در آزمون استاندارد نفوذسنجی، اشاره‌ای به کیفیت آب مورد استفاده جهت اجرای آزمایش نشده است. لیکن در تحقیق حاضر علاوه بر استفاده از آب معمولی و غیرشور، با توجه به شرایط اراضی زهدار کشور و وجود آب شور و خاک شور- سدیمی در بسیاری از پروژه‌های زهکشی، از زه‌آب و خاک تهیه شده از محل یکی از پروژه‌های زهکشی در منطقه خرمشهر استفاده گردید تا شرایط آزمون نفوذسنجی را به واقعیت موجود در بسیاری از اراضی زهدار در جنوب کشور نزدیک سازد. این نکته از آنجا اهمیت می‌یابد که انتظار می‌رود کاربرد آب غیر شور در آزمون نفوذسنجی به خودی خود و حتی در مرحله اشباع سامانه و قبل از راه‌اندازی آن، به آبشویی خاک از نمک‌های محلول منجر شود و بر نتایج، اثر گذارد. این در صورتی است که در آغاز بهره‌برداری از سامانه‌های زهکشی زیرزمینی در کشور، مدت طولانی جهت آبشویی نمک‌ها مورد نیاز است و در طول این مدت، آب و خاک با کیفیت بسیار پایین با سطح پوشش زهکشی در تماس می‌باشد که این نکته در آزمون نفوذسنجی مورد توجه قرار نمی‌گیرد.

1- Permeameter

سعی شد تا کیفیت زه‌آب مورد استفاده در اجرای طرح، در محدوده شوری متوسط زه‌آب منطقه انتخاب شود. با بررسی‌های به‌عمل آمده مشخص شد که بیشترین فراوانی مقادیر شوری اندازه‌گیری شده در خروجی زهکش‌ها نزدیک به ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر است، از این نظر کاربرد نمونه زه‌آب تهیه شده با شوری ۲۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر مد نظر قرار گرفت. خاک مورد نیاز از نقطه‌ای از اراضی پروژه تهیه گردید که در ظاهر نیز مشکل تجمع شوری و سدیم در آن مشهود بود. مشخصات نمونه‌های آب غیرشور، زه‌آب و خاک مورد استفاده در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

یک‌چنین شرایطی ضروری به‌نظر می‌رسد. از این نظر این تحقیق آزمایشگاهی با استفاده از خاک و زه‌آب یک پروژه زهکشی اجرا شده در منطقه خوزستان (پروژه زهکشی شمال خرمشهر) انجام شد. طرح زهکشی مذکور با هدف توسعه کشاورزی، بهبود اراضی بایر، استفاده بهینه از منابع آب و خاک، اشتغال‌زایی در منطقه و جذب فارغ‌التحصیلان کشاورزی در وسعتی بالغ بر ۱۹۵۰ هکتار، اجرا گردیده است. شوری نمونه‌های زه‌آب تهیه شده از منطقه در محدوده ۲۰ تا بالاتر از ۱۲۰ دسی‌زیمنس بر متر در نوسان بود. از آنجایی که درچنین تحقیقاتی، نزدیکی به شرایط غالب منطقه از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد، از این نظر

جدول ۱- مشخصات شیمیایی نمونه‌های آب و خاک

نسبت جذب سدیم (SAR)*	جمع کاتیون‌ها	کاتیون‌ها (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)				جمع آنیون‌ها	آنیون‌ها (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)				pH	EC دسی‌زیمنس بر متر	مشخصات نمونه
		K^+	Na^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}		SO_4^{-2}	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{-2}			
۴۵/۱۸	۱۶۹۷/۴۰	ناچیز	۹۰۱/۴۰	۱۴۱/۰۰	۶۵۵/۰۰	۱۶۹۷/۰۰	۳۴۰/۸۰	۱۳۵۴/۰۰	۲/۲۰	-	۷/۳۳	۱۶۹/۳۰	خاک خرمشهر
۲۶/۲۷	۲۲۵/۴۲	"	۱۵۵/۴۳	۱۶/۰۰	۵۴/۰۰	۲۲۵/۳۷	۴۲/۴۷	۱۷۹/۵۰	۳/۴۰	-	۷/۹۰	۲۲/۲۰	نمونه زه‌آب
۱/۲۳	۱۰/۴۵	"	۲/۴۵	۴/۰۰	۴/۰۰	۱۰/۰۹	۵/۶۹	۲/۰۰	۲/۴۰	-	۷/۲۳	۰/۷۸	آب غیرشور

* بر حسب جدر میلی‌اکی‌والان بر لیتر یا (meq/lit)^{0.5}

جدول ۲- سایر مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

مشخصات نمونه	کربن آلی (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	ماسه (درصد)	آهک (درصد TNV)	نوع بافت	گچ (درصد)
خاک خرمشهر	۲/۹۲۸	۲۹/۳۷	۵۲/۳۰	۱۸/۳۳	۳۵/۰۰	سیلتی رسی لومی	۲/۲۹

و دو نمونه داخلی از همین خانواده بود که به‌وسیله دو کارخانه مختلف تولید می‌گردد. هر سه نمونه پوشش از نوع حجیم و سست پیش‌تنیده شده در اطراف لوله^۱ و از

مشخصات پوشش‌های مصنوعی

پوشش‌های مصنوعی مورد استفاده در تحقیق مشتمل بر یک نمونه خارجی پوشش PP450 (تولید کشور آلمان)

آزمون‌ها استفاده گردید. برای سهولت شناسایی، پوشش مصنوعی داخلی تولید کارخانه الف با نام پوشش داخلی ۱ و پوشش مصنوعی داخلی تولید کارخانه ب با عنوان پوشش داخلی ۲ نامیده شد. مشخصات پوشش‌های مصنوعی در جدول ۳ ارائه شده است.

الیاف پلی‌پروپیلن می‌باشند که O_{90} یا اندازه ظاهری روزنه‌ها در آنها ۴۵۰ میکرون است. با توجه به بافت و دانه‌بندی خاک و همچنین نتایج تحقیقات کریمی و همکاران (Karimi et al., 2008)، چون پوشش PP450 به‌عنوان گزینه مناسب برای خاک منطقه تشخیص داده شده بود، به‌همین جهت از این نوع پوشش در

جدول ۳- مشخصات فیزیکی سه پوشش مصنوعی زهکشی (PLM) مورد استفاده در آزمون

قطر انواع الیاف مورد استفاده (میلی‌متر)		ضخامت (میلی‌متر)	جرم واحد سطح (گرم بر سانتی‌متر مربع)	O_{90} (میکرون)	هدایت هیدرولیکی (Ke) (متر در روز)	پوشش‌های مصنوعی (PP450)*			
۱/۶۴	۱/۵۴	۱/۳۴	۰/۱۸۵	۰/۱۷۸	۵/۳	۰/۰۷۷۵	۴۵۰	۰/۴۶۷۶	نمونه داخلی ۱
۱/۸۵	۱/۶۷	۱/۱	۰/۹۳	۰/۷۶	۵/۹	۰/۰۷۸۶	۴۵۰	۰/۴۱۸۰	نمونه داخلی ۲
-	۱/۱۲	۰/۷۶	۰/۵۳	۰/۴۶	۵/۲	۰/۰۶۰۷	۴۵۰	۰/۶۷۸۸	نمونه خارجی

*پوشش مصنوعی داخلی ۱ تولید کارخانه الف، پوشش داخلی ۲ تولید کارخانه ب و پوشش خارجی، تولید کشور آلمان می‌باشد.

علاوه بر معیارهای فیزیکی مطرح شده، دو معیار هیدرولیکی نیز مطرح می‌باشند (Stuyt et al., 2000):

- معیار نگهداری ذرات: معیار نگهداری ذرات در پوشش‌های مصنوعی PLM به‌صورت زیر است:

- برای پوشش‌های مصنوعی با ضخامت کمتر از یک میلی‌متر (رابطه ۱):

$$1 \leq \frac{O_{90}}{d_{90}} \leq 2.5 \quad (1)$$

- برای پوشش‌های مصنوعی با ضخامت بین ۱ و ۳ میلی‌متر (رابطه ۲):

$$1 \leq \frac{O_{90}}{d_{90}} \leq 3 \quad (2)$$

- برای پوشش‌های مصنوعی با ضخامت بین ۳ تا ۵ میلی‌متر (رابطه ۳):

$$1 \leq \frac{O_{90}}{d_{90}} \leq 4 \quad (3)$$

در راستای انتخاب بهینه پوشش‌های مصنوعی زهکشی (PLM) چندین معیار موجود است که باید مورد توجه قرار گیرند:

- ضخامت پوشش مصنوعی: حداقل ضخامت توصیه شده برای پوشش‌های مصنوعی PLM ساخته شده از الیاف مصنوعی طبق استاندارد (CEN/TC155/WG18/1994) EN ۳ میلی‌متر است (Stuyt et al., 2000). به این ترتیب، پوشش‌های مصنوعی با ضخامت کمتر از مقدار توصیه شده از کارایی چندانی برخوردار نمی‌باشند.

- جرم واحد سطح: با اندازه‌گیری جرم واحد سطح بخش‌های متفاوت پوشش‌های مصنوعی از نوع PLM می‌توان به یکنواختی و یا عدم یکنواختی پوشش مصنوعی از لحاظ تراکم الیاف پی‌برد. بر اساس استاندارد EN، درصد تغییرات جرم واحد سطح در نقاط متفاوت بایستی کمتر از ۲۵ درصد باشد.

دستگاه نفوذسنج و ضمام آن

بخش اصلی دستگاه نفوذسنج، استوانه‌ای شفاف از جنس پلکسی‌گلاس است که در ترازهای مختلف آن پیزومترهایی جهت بررسی تغییرات شیب هیدرولیکی در طول ستون خاک و اطراف پوشش مصنوعی قرار دارد (شکل ۱). در حدفاصل پایه و بخش اصلی دستگاه، صفحه‌ای نصب شده است که بر روی آن روزنه‌هایی به اندازه روزنه‌های لوله زهکش تعبیه گردیده که به‌عنوان نگهدارنده پوشش و خاک روی آن عمل می‌کند. اجزای بدنه اصلی نفوذسنج عبارتند از پیزومترهایی که به‌صورت زوج در مقابل هم قرار دارند، به‌علاوه یک پیزومتر دیگر که خارج از سطح خاک و در بالای آن قرار می‌گیرد. همچنین در زیر محل اتصال بدنه و پایه و در واقع در زیر نمونه پوشش مصنوعی، پیزومتر دیگری نصب شده است. ورودی جریان در قسمت بالای دستگاه (بالتر از سطح خاک) واقع شده و در بالاترین بخش نیز شیر تخلیه هوا قرار دارد که درحین عملیات اشباع و راه‌اندازی دستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Anon, 2006). جزئیات بیشتر دستگاه در شکل ۱، و نمونه دستگاه تکمیل شده و در دست آزمایش، در شکل ۲ قابل مشاهده است.

مرحله آماده سازی شامل نصب پوشش مصنوعی در محل خود، پرکردن دستگاه نفوذسنج با خاک دست خورده و آماده شده، اشباع کردن مجموعه خاک-پوشش، و در نهایت، شروع آزمایش طبق استاندارد موجود می‌باشد. سپس با ایجاد گرادیان‌های هیدرولیکی ۱، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰، میزان نفوذپذیری، مقدار جریان خروجی و هدایت

- برای پوشش‌های با ضخامت بیشتر از ۵ میلی‌متر (رابطه ۴):

$$1 \leq \frac{O_{90}}{d_{90}} \leq 5 \quad (4)$$

در رابطه‌های ارائه شده، منظور از O_{90} ، قطر متوسط روزنه‌ای از پوشش مصنوعی است که ۹۰ درصد قطرهای روزنه‌ها از آن کمتر می‌باشند. d_{90} نیز قطری از ذرات خاک است که ۹۰ درصد ذرات، قطری کوچک‌تر از آن دارند (Stuyt et al., 2000).

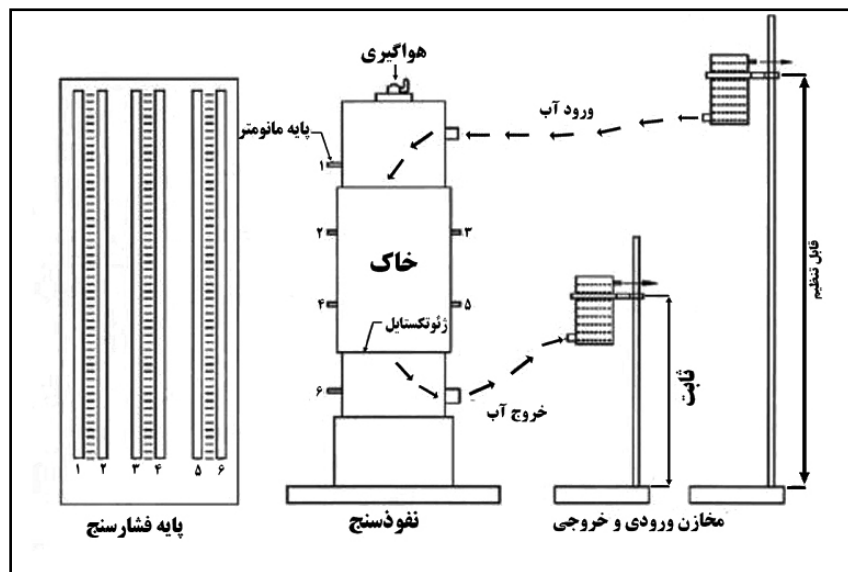
- هدایت هیدرولیکی پوشش مصنوعی: به‌طور کلی هدایت هیدرولیکی پوشش مصنوعی به‌کار برده شده به دور لوله‌های زهکشی بایستی بیشتر از هدایت هیدرولیکی خاک اطراف لوله زهکش باشد تا بدین ترتیب، از میزان مقاومت ورودی جریان به‌داخل زهکش کاسته شود. نتایج تحقیقات انجام پذیرفته توسط نیون‌هوویس و وسلینگ (Nieuwenhuis & Wesseling, 1979) و دیریکس (Dierickx, 1990) مشخص کرد که برای کاهش مقاومت ورودی جریان در شرایط کاربرد پوشش مصنوعی (PLM) بایستی نسبت هدایت هیدرولیکی پوشش به هدایت هیدرولیکی خاک بیشتر از ۱۰ شود (رابطه ۵):

$$\frac{K_e}{K_s} \geq 10 \quad (5)$$

که در آن،

K_s = هدایت هیدرولیکی خاک؛ و K_e = هدایت هیدرولیکی پوشش مصنوعی است.

هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش و نسبت گرادیان به دست می آید (Anon, 2006). به منظور راه اندازی این سامانه، ابتدا اقدام به اشباع کردن آن می شد که با برقراری جریان از سمت پایین به بالا و طی مراحل خاص اجرا می گردد (جهت جلوگیری از ورود حباب های هوا). پس از آن و برای شروع آزمون، جهت جریان برعکس می شود و با ورود جریان از بالای ستون خاک، آزمایش شروع خواهد شد. نحوه انجام آزمایش بدین صورت است که بایستی از گرادیان های پایین به بالا انجام گیرد.



شکل ۱- طرح اجمالی دستگاه نفوذسنج و ضمایم آن (Hassanoghli, 1996)



شکل ۲- نفوذسنج های مورد استفاده در اجرای تحقیق

خاک-پوشش مصنوعی در دمایی که آزمایش در آن انجام شده محاسبه می‌شود و سپس برای دمای استاندارد ۲۰ درجه سانتیگراد و به صورت رابطه‌های ۷ و ۸ تصحیح می‌گردد (Anon., 2006):

$$K_T = \frac{V}{i \times t \times A \times 100} \quad (7)$$

$$K_{20} = \frac{K_T \times \mu_T}{\mu_{20}} \quad (8)$$

که در آن،

K_T = هدایت هیدرولیکی سامانه در دمای آزمایش (متر بر ثانیه)؛ K_{20} = هدایت هیدرولیکی سامانه در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد (متر بر ثانیه)؛ V = حجم جریان خروجی اندازه‌گیری شده در مدت مشخص (سانتی‌متر مکعب)؛ i = شیب هیدرولیکی سامانه (بدون بعد)؛ A = سطح مقطع نمونه پوشش مصنوعی (سانتی‌متر مربع)؛ t = مدت اندازه‌گیری جریان خروجی (ثانیه)؛ μ_T = گرانشی (ویسکوزیته) آب در دمای آزمایش (کیلوگرم نیرو بر متر مربع در ثانیه)؛ و μ_{20} = گرانشی آب در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد (کیلوگرم نیرو بر متر مربع در ثانیه) است.

نسبت گرادیان که از تقسیم گرادیان هیدرولیکی خاک-پوشش به گرادیان هیدرولیکی خاک حاصل می‌شود از رابطه‌های ۹ تا ۱۱ به دست می‌آید. با توجه به استانداردهای موجود، در این حالت، اگر نسبت گرادیان، بزرگتر از یک باشد، پوشش مستعد انسداد معدنی تشخیص داده می‌شود (Anon., 2006):

$$GR = \frac{\Delta h_{SF} / L_{SF}}{\Delta h_S / L_S} = \frac{L_S \times \Delta h_{SF}}{L_{SF} \times \Delta h_S} \quad (9)$$

$$\Delta h_S = \frac{(M_2 - M_4) + (M_3 - M_5)}{2} \quad (10)$$

علاوه بر اجزای نامبرده و با توجه به محدودیت حجم زه‌آب تهیه شده و انتقال یافته از خوزستان به محل اجرای تحقیق، در قسمت مخزن ورودی برای آزمایش‌هایی که در آن از آب شور استفاده شده بود، از یک منبع ۳۰ لیتری ذخیره آب که در بلندترین ارتفاع ممکن قرار گرفت استفاده گردید که به منبع دیگری که حدود ۲۰ لیتر گنجایش داشته و در آن یک شناور نصب شده بود متصل شد تا سطح آب توسط مخزن حد واسط همواره ثابت بماند و بار آبی ثابت ایجاد شود. در قسمت خروجی نیز علاوه بر مخزن دارای سرریز، اقدام به جمع‌آوری آب خروجی شور از سامانه در یک مخزن مجزا و دارای درپوش شد تا بار دیگر از آن استفاده گردد. این آزمایش‌ها برای هر نمونه پوشش و هر نمونه آب در ۳ تکرار اجرا شد. به منظور ایجاد شرایط محیطی یکسان، از دو نفوذسنج به‌طور همزمان استفاده به عمل آمد که در یکی زه‌آب شور و در دیگری آب غیرشور جریان می‌یافت.

همچنین میزان EC_w آب ورودی در مخزن بزرگ و در شرایط کاربرد آب شور به صورت پیوسته اندازه‌گیری و کنترل می‌شد تا به میزان ثابت حفظ شود.

نحوه انجام محاسبات

شیب یا گرادیان هیدرولیکی (i)، با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود (Anon., 2006):

$$i = \frac{\Delta h}{l} \quad (6)$$

که در آن،

Δh = تفاضل قرائت فشارسنج‌های ۱ و ۶ بر حسب سانتی‌متر؛ l = طول نمونه خاک بر حسب سانتی‌متر است. نفوذپذیری یا هدایت هیدرولیکی مجموعه

$$\Delta h_{SF} = \frac{(M_4 - M_6) + (M_5 - M_6)}{2} \quad (11)$$

که در آن،

GR = نسبت گرادیان (بدون بعد)؛ Mn = قرائت درجه فشارسنج شماره n (سانتی‌متر)؛ L_S = فاصله مابین فشارسنج‌های ۲ و ۴ یا ۳ و ۵ (سانتی‌متر)؛ L_{SF} = فاصله بین فشارسنج ۴ یا ۵ با نمونه پوشش مصنوعی (سانتی‌متر)؛ Δh_S = گرادیان هیدرولیکی خاک (بدون بعد)؛ و Δh_{SF} = گرادیان هیدرولیکی خاک - پوشش (بدون بعد) است.

نتایج و بحث

ویژگی‌های پوشش‌های مصنوعی

در ابتدا به بررسی مشخصات فیزیکی پوشش‌های مصنوعی و تطابق آنها با استانداردهای موجود پرداخته شد. با اندازه‌گیری‌های به‌عمل آمده مشخص گردید که هر سه پوشش مصنوعی به‌کار برده شده در تحقیق، حداقل ضخامت توصیه شده در استاندارد (CEN/TC155/WG18/1994) EN (Stuyt et al., 2000) را دارا بوده و هر سه، ضخامتشان بیشتر از ۳ میلی‌متر است (جدول ۳) و از لحاظ استحکام مکانیکی، برای حمل و نقل و نصب با مشکلی مواجه نخواهند شد.

با اندازه‌گیری جرم در واحد سطح نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های متفاوت پوشش‌های مصنوعی مورد نظر مشخص گردید که تفاوت کمترین میزان جرم اندازه‌گیری شده در واحد سطح پوشش مصنوعی PP450 تولید خارج و بیشترین مقدار آن، ۱۲ درصد بود که دلالت بر یکنواختی پوشش دارد. این مقدار برای پوشش‌های مصنوعی تولید داخل ۱ و ۲ به ترتیب ۳۲ و ۴۳ درصد بود که بر اساس استاندارد EN و به‌جهت بیشتر بودن از ۲۵ درصد، نشانه عدم یکنواختی در ضخامت پوشش‌هاست. از طرفی با توجه به مقادیر O_{90} که برای هر سه نمونه

پوشش تولید خارج و تولید داخل ۱ و ۲ مساوی ۴۵۰ میکرون بوده و مقدار d_{90} به‌دست آمده از روی منحنی دانه‌بندی خاک که ۱۴۰ میکرون است، با عنایت به رابطه ۴ مقدار محاسبه شده O_{90}/d_{90} برای سه پوشش مصنوعی ۳/۲۲ به‌دست آمد که این مقدار در بازه ۱ تا ۵ قرار می‌گیرد. لذا هر سه پوشش مصنوعی مورد نظر این معیار را دارا بوده و قادر به جلوگیری از ورود ذرات خاک به داخل لوله زهکش می‌باشند.

در نهایت با توجه به اینکه مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده سه پوشش مصنوعی PP450 تولید خارج و تولید داخل ۱ و ۲ به ترتیب برابر ۰/۶۷۸۸، ۰/۴۶۷۶ و ۰/۴۱۸۰ متر بر روز و هدایت هیدرولیکی خاک مورد استفاده در این آزمون‌ها برابر ۰/۰۷۴۵ متر بر روز بود، به این ترتیب، هیچ یک از پوشش‌ها از معیار مطرح شده در رابطه ۵ پیروی نمی‌کند، هرچند که هدایت هیدرولیکی پوشش مصنوعی PP450 تولید خارج از هدایت هیدرولیکی دو پوشش مصنوعی دیگر مورد استفاده در آزمون‌ها بیشتر بوده است.

هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک - پوشش

مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده مجموعه خاک - پوشش در شرایط کاربرد آب ورودی غیرشور و شور به سامانه، به ترتیب در جدول‌های ۴ و ۵ آمده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، مقادیر هدایت هیدرولیکی هر دو نمونه پوشش مصنوعی تولید داخل و در کلیه گرادیان‌های هیدرولیکی، تا حدودی از هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک - پوشش مصنوعی تولید خارج کمتر است. همچنین شدت کاهش هدایت هیدرولیکی در شرایط کاربرد پوشش‌های تولید داخل نسبت به هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک - پوشش مصنوعی تولید خارج در گرادیان‌های هیدرولیکی ۱ و ۲/۵ در مقایسه با سایر گرادیان‌ها بیشتر است. درصد کاهش متوسط هدایت

دلیل این امر را شاید بتوان به تراکم نسبی بالاتر الیاف در پوشش‌های تولید داخل و کاربرد الیاف در شکل‌ها و قطرهای متنوع‌تر در تولیدات داخلی نسبت داد.

هیدرولیکی در پوشش مصنوعی تولید داخل ۱ در شرایط کاربرد آب غیرشور در مقایسه با پوشش مصنوعی تولید خارج، ۱۹ درصد بود. این مقدار برای پوشش مصنوعی تولید داخل ۲ به ۲۸ درصد رسید.

جدول ۴- متوسط مقادیر هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک - پوشش مصنوعی در گرادیان‌های هیدرولیکی مختلف در شرایط کاربرد آب معمولی (غیرشور) به متر بر روز

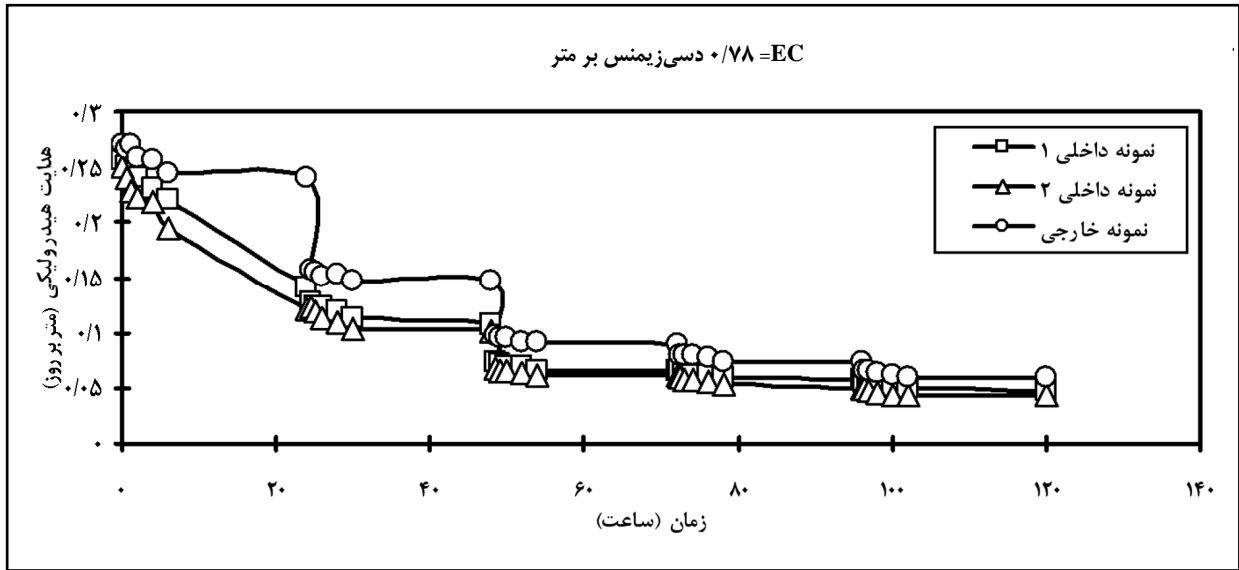
نوع پوشش	گرادیان هیدرولیکی				
	۱	۲/۵	۵	۷/۵	۱۰
نمونه داخلی ۱	۰/۲۳۵۸	۰/۱۰۸۶	۰/۰۶۹۲	۰/۰۶۱۵	۰/۰۵۲۶
نمونه داخلی ۲	۰/۲۲۰۴	۰/۱۱۱۳	۰/۰۶۴۴	۰/۰۵۵۴	۰/۰۴۵۸
نمونه خارجی	۰/۲۵۷۹	۰/۱۵۱۸	۰/۰۹۳۲	۰/۰۷۷۰	۰/۰۶۲۵

جدول ۵- متوسط مقادیر هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک - پوشش مصنوعی در گرادیان‌های هیدرولیکی مختلف در شرایط کاربرد زه‌آب شور به متر بر روز

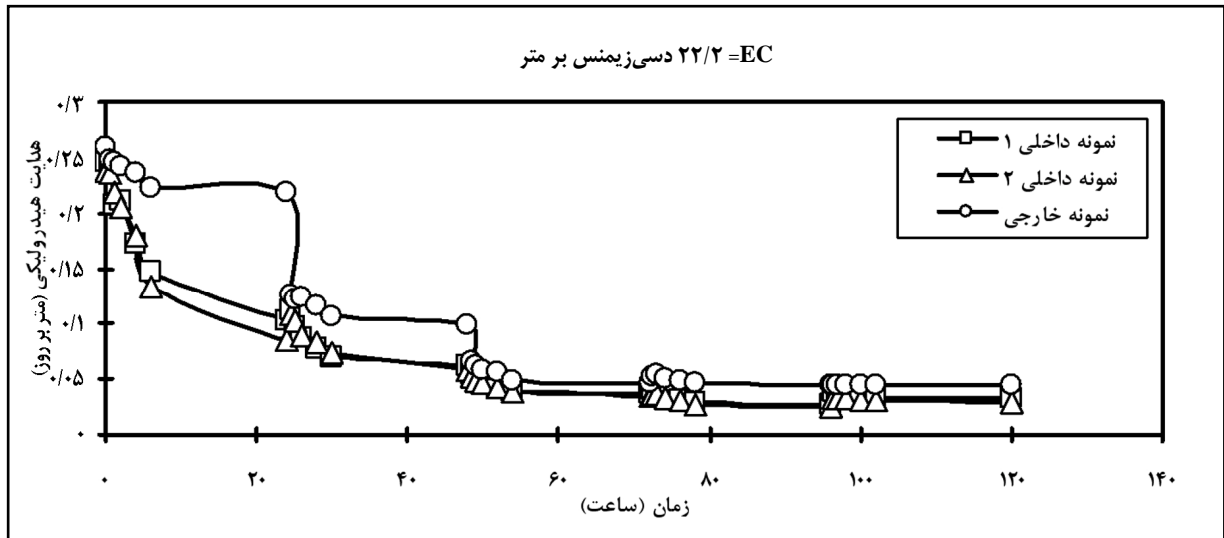
نوع پوشش	گرادیان هیدرولیکی				
	۱	۲/۵	۵	۷/۵	۱۰
نمونه داخلی ۱	۰/۱۹۳۷	۰/۰۸۴۲	۰/۰۴۵۲	۰/۰۳۹۴	۰/۰۳۵۲
نمونه داخلی ۲	۰/۱۹۰۴	۰/۰۸۵۴	۰/۰۴۴۰	۰/۰۳۱۶	۰/۰۳۱۷
نمونه خارجی	۰/۲۳۸۸	۰/۱۱۵۸	۰/۰۵۶۱	۰/۰۴۹۰	۰/۰۴۴۵

با مقادیر آن در پوشش خارجی نشان داد. روند تغییرات هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی در شرایط کاربرد آب غیرشور و زه‌آب شور، در شکل‌های ۳ و ۴ قابل مشاهده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، از بررسی روند تغییرات می‌توان به این نتیجه رسید که هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش در هر سه نمونه به تدریج کاهش یافته است. به علاوه، هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش در شرایط کاربرد پوشش‌های تولید داخل، در دو گرادیان هیدرولیکی ۱ و ۲/۵ روندی کاهشی را در مقایسه با هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک-پوشش مصنوعی تولید خارج نشان داد.

در شرایط کاربرد زه‌آب شور نیز در هر دو پوشش مصنوعی تولید داخل و در تمامی گرادیان‌های هیدرولیکی، هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش از هدایت هیدرولیکی در شرایط استفاده از پوشش مصنوعی تولید خارج کمتر بود. همچنین متوسط هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش در شرایط کاربرد زه‌آب شور نسبت به شرایط کاربرد آب غیرشور در تمامی نمونه‌های پوشش، از کاهش برخوردار بود که نشان از تأثیر افزایش شوری و سدیمی بودن در کاهش هدایت هیدرولیکی دارد. در شرایط استفاده از پوشش داخلی ۱ با کاربرد زه‌آب شور، هدایت هیدرولیکی متوسط به‌میزان ۲۸ درصد و برای پوشش داخلی ۲ به میزان ۳۳ درصد کاهش را در مقایسه



شکل ۳- روند تغییرات هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک - پوشش در شرایط کاربرد آب غیرشور در آزمون نفوذسنجی

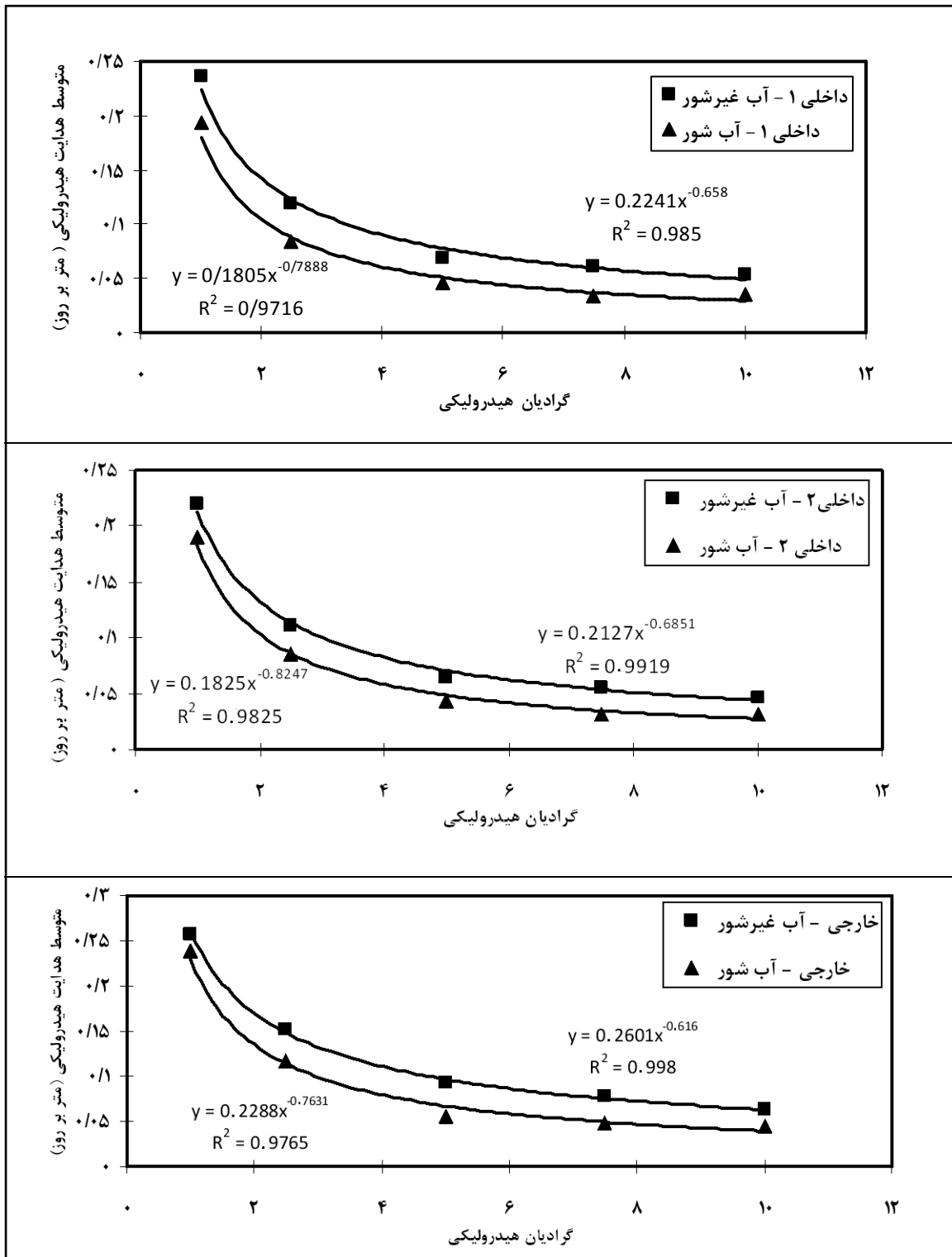


شکل ۴- روند تغییرات هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک - پوشش در شرایط کاربرد زه‌آب شور در آزمون نفوذسنجی

در شکل ۵ نمودار و معادله رگرسیون مربوط به تغییرات هدایت هیدرولیکی در مقابل گرادیان هیدرولیکی، به تفکیک هر نمونه پوشش مصنوعی با کاربرد زه‌آب شور و آب غیرشور، ارائه شده است. مقادیر بالاتر هدایت

هیدرولیکی مجموعه خاک-پوشش در شرایط کاربرد آب غیرشور در هر گرادیان و در مقایسه با میزان هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک-پوشش در شرایط کاربرد زه‌آب شور به وضوح در مورد هر سه پوشش مشخص است.

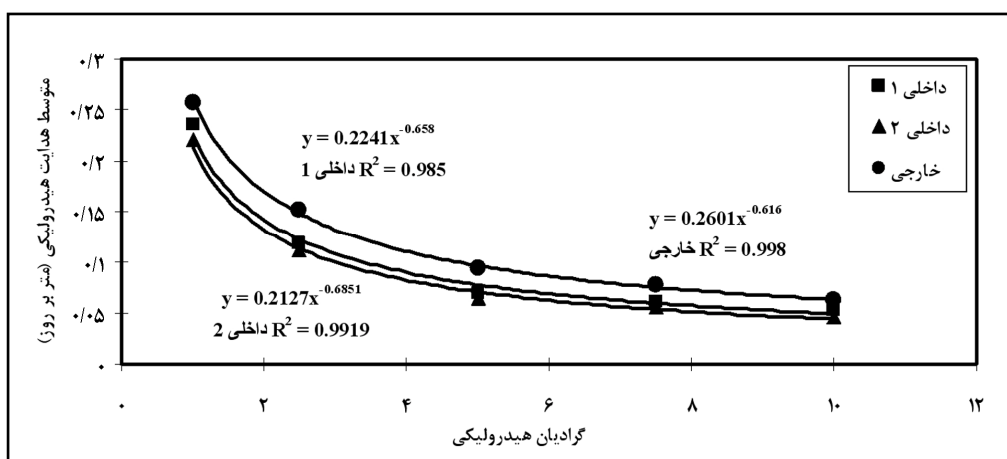
در شکل ۵ نمودار و معادله رگرسیون مربوط به تغییرات هدایت هیدرولیکی در مقابل گرادیان هیدرولیکی، به تفکیک هر نمونه پوشش مصنوعی با کاربرد زه‌آب شور و آب غیرشور، ارائه شده است. مقادیر بالاتر هدایت



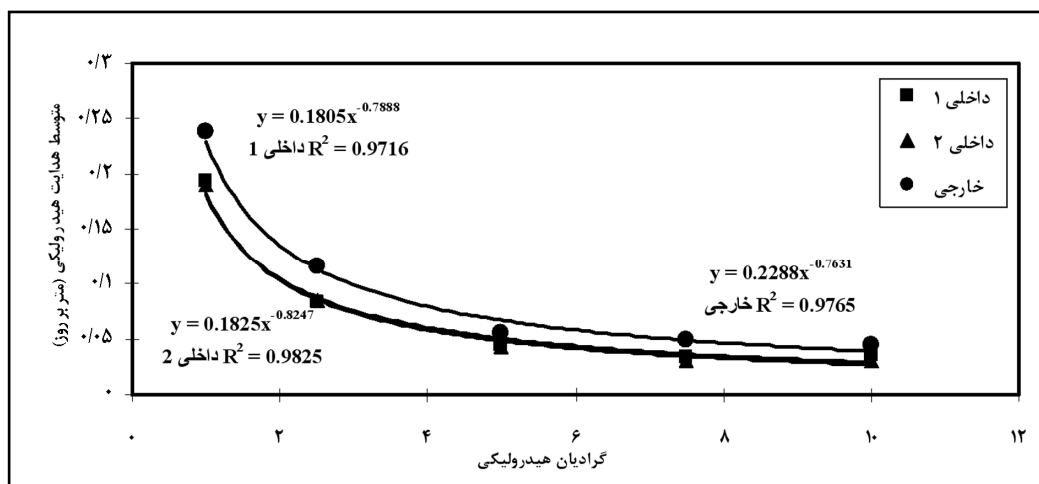
شکل ۵- رابطه بین متوسط هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی با گرادیان هیدرولیکی در شرایط کاربرد آب غیرشور و زه آب شور به ترتیب در سه پوشش مصنوعی

در این شکل‌ها مشهود است، علیرغم مقادیر بسیار بالای R^2 در نتیجه کاربرد آبهای شور و غیرشور در آزمون و نوسان آن بین ۰/۹۹ - ۰/۹۷، می‌توان دید که همبستگی برقرار شده بین عوامل در نتیجه کاربرد آب غیرشور بهتر بوده، بدین معنی که مقادیر R^2 بالاتر همواره مربوط به نمودارهای ترسیم شده با استفاده از داده‌های کاربرد آب با کیفیت بهتر می‌باشد.

در شکل‌های ۶ و ۷ معادله بهترین برازش برای هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش بر حسب گرادیان هیدرولیکی، به ترتیب در شرایط کاربرد آب غیرشور و زه‌آب شور مشاهده می‌گردد. با توجه به هر دو شکل ملاحظه می‌شود که هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش، چه در شرایط کاربرد زه‌آب شور و چه در شرایط کاربرد آب غیرشور، در نمونه خارجی از دو نمونه داخلی بیشتر می‌باشد. از طرفی، همان‌گونه که



شکل ۶- رابطه مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی با گرادیان هیدرولیکی در شرایط کاربرد آب غیرشور



شکل ۷- رابطه مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی با گرادیان هیدرولیکی در شرایط کاربرد زه‌آب شور

خاک- پوشش مصنوعی (که از تفاضل مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی در ابتدا و انتهای آزمون نفوذسنجی در هر گرادیان هیدرولیکی و تقسیم کردن آن بر مقدار متوسط هدایت هیدرولیکی مجموعه در ابتدای همان گرادیان هیدرولیکی به دست می آید) در حضور پوشش های مصنوعی تولید داخل، چه در شرایط کاربرد زه آب شور و چه در صورت استفاده از آب غیرشور، از درصد تغییرات هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی تولید خارج بیشتر بود.

مقادیر درصد تغییرات هدایت هیدرولیکی در هر گرادیان هیدرولیکی در شرایط کاربرد آب غیرشور و زه آب شور به ترتیب در جدول های ۶ و ۷ ارائه شده اند. از مقایسه درصد تغییرات هدایت هیدرولیکی می توان به این نتیجه رسید که هدایت هیدرولیکی تمامی پوشش های مورد استفاده، در شرایط کاربرد زه آب شور دارای درصد تغییرات بیشتری بوده که نشان دهنده تأثیرپذیری نتایج آزمون نفوذسنجی از شوری آب و در نتیجه، افزایش احتمال انسداد معدنی پوشش های به کار برده شده می باشد. همچنین درصد تغییرات هدایت هیدرولیکی مجموعه

جدول ۶- درصد تغییرات هدایت هیدرولیکی سه نمونه پوشش مصنوعی در شرایط کاربرد آب غیرشور

گرادیان هیدرولیکی (درصد)					نوع پوشش
۱۰	۷/۵	۵	۲/۵	۱	
۱۵	۱۲	۹/۹	۱۵	۱۴	نمونه داخلی ۱
۱۲	۱۷	۹/۷	۱۷	۲۸	نمونه داخلی ۲
۱۰	۸/۶	۸/۱	۶/۴	۱۱	نمونه خارجی

جدول ۷- درصد تغییرات هدایت هیدرولیکی سه نمونه پوشش مصنوعی در شرایط کاربرد زه آب شور

گرادیان هیدرولیکی (درصد)					نوع پوشش
۱۰	۷/۵	۵	۲/۵	۱	
۱۶	۴۱	۳۰	۴۵	۴۷	نمونه داخلی ۱
۱۰	۳۱	۳۴	۳۴	۴۹	نمونه داخلی ۲
۶/۲	۱۵	۲۹	۲۲	۱۵/۹	نمونه خارجی

به عبارت دیگر، هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی داخلی ۱ در شرایط کاربرد آب غیرشور، ۵/۹ درصد بیشتر از هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی داخلی ۲ به دست آمد. به همین ترتیب، مقدار متوسط هدایت هیدرولیکی مجموعه با کاربرد پوشش مصنوعی داخلی ۱ و ۲ در شرایط کاربرد زه آب شور به ترتیب ۰/۰۷۹۶ و ۰/۰۷۶۶ متر بر روز بود و به عبارتی، هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی

در مقایسه دو پوشش داخلی مورد استفاده با یکدیگر می توان گفت متوسط هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش در شرایط کاربرد زه آب شور در هر دو پوشش مصنوعی تولید داخل، کمتر از متوسط هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش در شرایط کاربرد آب غیرشور بود. از طرف دیگر، مقدار متوسط هدایت هیدرولیکی مجموعه با کاربرد پوشش مصنوعی داخلی ۱ و ۲ در شرایط کاربرد آب غیرشور به ترتیب ۰/۱۰۵۵ و ۰/۰۹۹۶ متر بر روز بود.

پوشش مصنوعی تولید داخل، در شرایط کاربرد زه‌آب شور مقادیر نسبت گرادیان در دو گرادیان هیدرولیکی ۱ و ۲/۵ به مقدار واحد نزدیک شد. بنابر نتایج به‌دست آمده، در نمونه‌های پوشش مصنوعی تولید داخل ۱ و ۲ و در شرایط کاربرد زه‌آب شور، نسبت گرادیان در گرادیان هیدرولیکی یک به ۱/۰۴ و ۱/۱۵ و در گرادیان هیدرولیکی ۲/۵، به ۱/۰۲ و ۱/۰۵ رسید که در محدوده خطر از نظر انسداد معدنی قرار دارد. هرچند با افزایش گرادیان هیدرولیکی تا حدودی از این مقدار کاسته شد، لیکن نکته قابل توجه این است که چون در شرایط واقعی یک سامانه زهکشی، معمولاً گرادیان هیدرولیکی یک و کمتر از آن به‌وقوع پیوسته و مقادیر بیش از آن به‌ندرت مشاهده می‌شود، از این نظر می‌توان با اعمال دقت بر روی نحوه تولید پوشش مصنوعی، این شرایط را با اندکی تغییر در الیاف و تراکم آنها و بدون ایجاد مشکلی در عملکرد مناسب فرآورده تولیدی برطرف نمود.

داخلی ۱ در شرایط کاربرد زه‌آب شور به‌میزان ۳/۸ درصد بیشتر از هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی داخلی ۲ اندازه‌گیری شد.

نسبت گرادیان مجموعه خاک- پوشش

نسبت گرادیان در آزمون نفوذسنجی به‌عنوان یک عامل تعیین کننده و اساسی در پیش‌بینی انسداد و یا عدم انسداد پوشش‌های مصنوعی به‌شمار می‌رود. با دقت در جدول‌های ۸ و ۹ و شکل ۸ مربوط به نسبت گرادیان محاسبه شده برای سه نمونه پوشش مصنوعی مشاهده می‌شود که در تمامی نمونه‌ها، نسبت گرادیان با کاربرد زه‌آب شور افزایش می‌یابد. نسبت گرادیان پوشش مصنوعی تولید خارج در تمامی گرادیان‌های هیدرولیکی و در شرایط کاربرد زه‌آب شور و آب غیرشور کمتر از یک بود که دلالت بر عدم انسداد این پوشش مصنوعی و عملکرد مناسب آن دارد، در صورتی‌که در شرایط کاربرد هر دو

جدول ۸- متوسط نسبت گرادیان مجموعه خاک- پوشش مصنوعی در شرایط کاربرد آب غیرشور

گرادیان هیدرولیکی					نوع پوشش
۱۰	۷/۵	۵	۲/۵	۱	
۰/۵۹	۰/۸۱	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۸۹	نمونه داخلی ۱
۰/۵۸	۰/۸۳	۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۹۳	نمونه داخلی ۲
۰/۴	۰/۶۸	۰/۶۳	۰/۷۱	۰/۷۸	نمونه خارجی

جدول ۹- متوسط نسبت گرادیان مجموعه خاک- پوشش مصنوعی در شرایط کاربرد زه‌آب شور

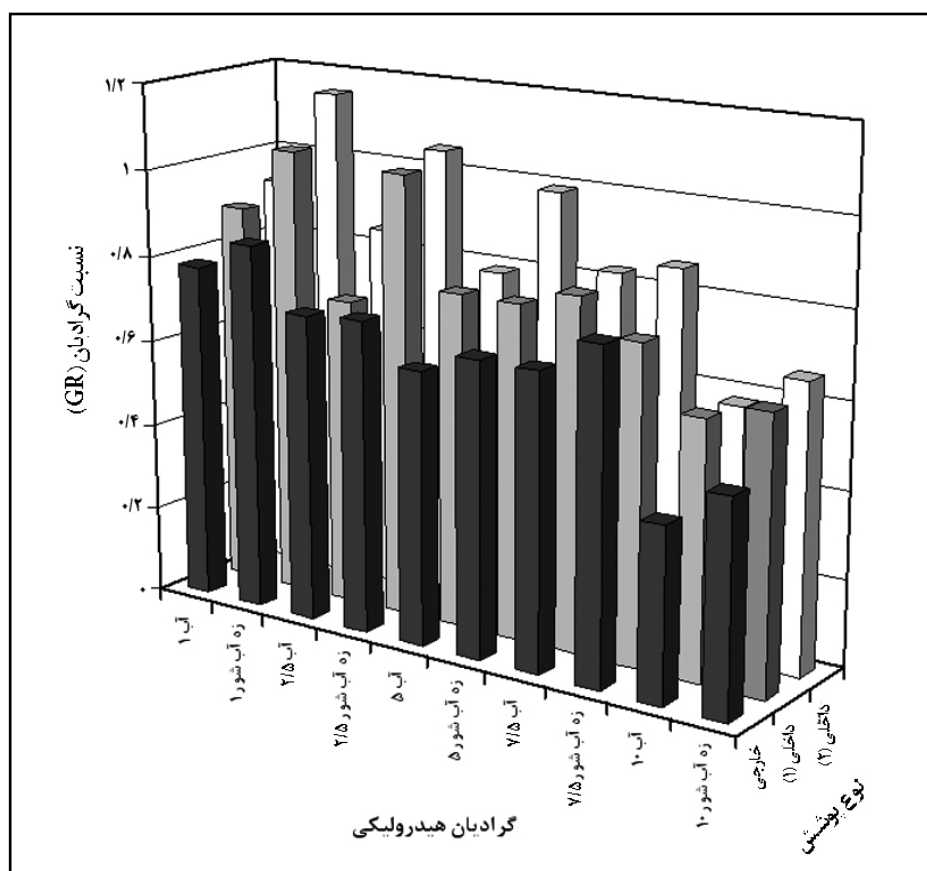
گرادیان هیدرولیکی					نوع پوشش
۱۰	۷/۵	۵	۲/۵	۱	
۰/۶۳	۰/۷۳	۰/۷۷	۱/۰۲	۱/۰۴	نمونه داخلی ۱
۰/۶۶	۰/۸۶	۰/۹۹	۱/۰۵	۱/۱۵	نمونه داخلی ۲
۰/۴۹	۰/۷۶	۰/۶۸	۰/۷۲	۰/۸۵	نمونه خارجی

تجزیه و تحلیل آماری نتایج آزمون نفوذسنجی

در تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها که توسط نرم‌افزار آماری SPSS انجام پذیرفت، به بررسی دو صفت هدایت هیدرولیکی و نسبت گرادیان با در نظر گرفتن چهار متغیر شوری آب ورودی به سامانه، نوع پوشش، کمیت گرادیان هیدرولیکی، تکرار و نیز اثرات متقابل هریک از آنها پرداخته شد. با توجه به اینکه آزمون‌های نفوذسنجی با کاربرد آب با دو میزان شوری متفاوت ۰/۷۸ و ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر انجام پذیرفت، متغیر شوری در دو مقدار فوق در نظر گرفته شد.

هیدرولیکی خاک و پوشش‌های مصنوعی ارائه شده است. نتایج حاصل از آنالیز آماری نشان داد که تأثیر میزان شوری، گرادیان هیدرولیکی، نوع پوشش و اثرات متقابل پوشش در شوری، شوری در گرادیان، پوشش در گرادیان و پوشش در گرادیان در شوری بر هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک-پوشش مصنوعی در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و به عبارتی، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مورد بررسی از این نظر وجود دارد. در حالی‌که تأثیر متغیر تکرار معنی‌دار نبوده و تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مورد بررسی از این نظر ملاحظه نمی‌شود.

در جدول ۱۰ نتایج تجزیه واریانس داده‌های هدایت



شکل ۸ - مقایسه نسبت گرادیان نمونه‌های پوشش مصنوعی بر حسب کیفیت آب مورد استفاده

جدول ۱۰- نتایج تجزیه واریانس مقادیر هدایت هیدرولیکی برای سه نوع پوشش مصنوعی در دو میزان شوری آب کاربردی

منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)
شوری	۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴**
گرادیان	۴	۰/۷۹۹	۰/۲۲۱**
پوشش	۲	۰/۰۰۶	۰**
تکرار	۲	۰	۰ns
پوشش × شوری	۲	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۳**
شوری × گرادیان	۴	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۰۰۱۷۲**
پوشش × گرادیان	۸	۰/۰۰۲	۰**
پوشش × گرادیان × شوری	۸	۰/۰۰۴	۰**

ns و **،* به ترتیب معنی دار بودن در سطح یک درصد و پنج درصد و غیر معنی دار بودن می‌باشند.

سه پوشش مصنوعی ارائه شده است. اعداد و ارقام جدول ۱۱ دلالت بر تأثیر معنی‌دار شوری آب ورودی به سامانه، نوع پوشش مورد استفاده در آزمون و گرادیان هیدرولیکی در سطح یک درصد بر مقادیر نسبت گرادیان در آزمون نفوذسنجی سه پوشش مصنوعی متفاوت دارد، لیکن در مورد متغیر تکرار، شاهد تأثیر آن در سطح ۵ درصد بر نتایج آزمون نفوذسنجی بودیم.

از نتایج آزمون دانکن یا مقایسه میانگین‌ها که در جدول ۱۲ ارائه گردیده است نتیجه می‌شود که هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی و نسبت گرادیان، از کاربرد سه پوشش PP450 متفاوت تأثیر پذیرفته و به عبارتی، تفاوت معنی‌داری بین مقادیر هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده و نسبت گرادیان در شرایط استفاده از پوشش‌های PP450 تولید داخل و خارج در سطح پنج درصد وجود دارد.

نتایج تجزیه و تحلیل آماری و مقادیر هدایت هیدرولیکی حاصله از سه پوشش مصنوعی مورد آزمایش، نمایانگر تأثیر معنی‌دار افزایش شوری آب ورودی به سامانه و حضور مقادیر بالای سدیم قابل تبادل در تشدید حرکت ذرات خاک و انسداد نسبی پوشش مصنوعی می‌باشد، زیرا در هر سه نوع پوشش مصنوعی به کار برده شده، هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش در شرایط کاربرد زه‌آب شور ورودی به سامانه کاهش پیدا کرد. نوع پوشش مصنوعی از دیگر عوامل تأثیرگذار بر هدایت هیدرولیکی سامانه بود که با دقت در نتایج مشاهده می‌شود که بیشترین میزان آن مربوط به کاربرد پوشش مصنوعی PP450 تولید خارج بوده است.

همچنین آنالیز آماری مقادیر نسبت گرادیان که از دیگر عوامل تعیین کننده در آزمون نفوذسنجی می‌باشد انجام پذیرفت. در جدول ۱۱ نتیجه تجزیه واریانس برای

جدول ۱۱- نتایج تجزیه واریانس مقادیر نسبت گرادیان سه پوشش مصنوعی با کاربرد آب با دو میزان شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)
شوری	۱	۰/۳۴۸	۰/۳۴۸**
گرادیان	۴	۱/۶۹۲	۱/۶۹۲**
پوشش	۲	۱/۹۸۴	۰/۲۲۳**
تکرار	۲	.	.*
پوشش × شوری	۴	۰/۰۳۴	۰/۰۰۳**
شوری × گرادیان	۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲**
پوشش × گرادیان	۴	۰/۰۸۸	۰/۰۰۷**
شوری × گرادیان × پوشش	۴	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۴ ^{ns}

*, **, و ns به ترتیب معنی دار بودن در سطح یک درصد و پنج درصد و غیر معنی دار بودن می‌باشند

جدول ۱۲- مقایسه میانگین‌ها برای هدایت هیدرولیکی و نسبت گرادیان بر حسب نوع پوشش

متغیر (نوع پوشش)	تعداد	میانگین هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک - پوشش، K (متر در روز)	میانگین نسبت گرادیان (GR)
نمونه خارجی	۱۸	۰/۱۱۹۰ ^a	۰/۶۶۸ ^c
نمونه داخلی ۱	۱۸	۰/۱۰۴۱ ^b	۰/۸۲۰ ^b
نمونه داخلی ۲	۱۸	۰/۱۰۰۳ ^c	۰/۸۸۳ ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

هیدرولیکی به‌عنوان منبع تغییرات در نظر گرفته شده ارائه گردیده است. با توجه به نتایج آزمون دانکن در این خصوص مشاهده می‌شود که بیشترین نسبت گرادیان و هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک - پوشش در این آزمون‌ها در گرادیان هیدرولیکی یک به‌وقوع پیوسته و کمترین نسبت گرادیان و هدایت هیدرولیکی در گرادیان هیدرولیکی ۱۰ حاصل شده است. بنابراین هرچه بر میزان شیب هیدرولیکی افزوده شود، عبور آب از پوشش نیز افزایش یافته و احتمال انسداد تا حدودی کاهش می‌یابد، لیکن وقوع چنین شرایطی (گرادیان بیش از یک) در سامانه زهکشی واقعی چندان محتمل نمی‌باشد.

در خصوص هدایت هیدرولیکی، بیشترین میزان، مربوط به آزمون نفوذسنجی با کاربرد پوشش مصنوعی PP450 تولید خارج و کمترین مقدار، مربوط به آزمون نفوذسنجی با کاربرد پوشش مصنوعی PP450 تولید داخل ۲ بود. در خصوص نسبت گرادیان، بیشترین میزان در کاربرد پوشش مصنوعی PP450 تولید داخل ۲ و کمترین آن در شرایط کاربرد پوشش مصنوعی PP450 تولید خارج حاصل شد، که دلالت بر احتمال بیشتر انسداد معدنی در پوشش‌های مصنوعی تولید داخل در مقایسه با پوشش مصنوعی تولید خارج دارد. در جدول ۱۳، نتایج آزمون دانکن مربوط به متغیر گرادیان هیدرولیکی برای سه پوشش مصنوعی مورد استفاده، در شرایطی که گرادیان

جدول ۱۳- مقایسه میانگین‌ها برای هدایت هیدرولیکی و نسبت گرادیان بر حسب گرادیان هیدرولیکی

متغیر (گرادیان هیدرولیکی)	تعداد	میانگین هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش، K (متر در روز)	میانگین نسبت گرادیان (GR)
گرادیان هیدرولیکی ۱	۱۸	۰/۲۳۱۹ ^a	۰/۹۷۱ ^a
گرادیان هیدرولیکی ۲/۵	۱۸	۰/۱۰۱۶ ^b	۰/۸۳۱ ^b
گرادیان هیدرولیکی ۵	۱۸	۰/۰۷۲۲ ^c	۰/۸۲۹ ^b
گرادیان هیدرولیکی ۷/۵	۱۸	۰/۰۵۱۳ ^d	۰/۷۵۵ ^c
گرادیان هیدرولیکی ۱۰	۱۸	۰/۰۵۰۳ ^d	۰/۵۷۳ ^d

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتیجه‌گیری

پوشش مشابه تولید داخل برخوردار است، به‌طوریکه متوسط هدایت هیدرولیکی این پوشش از دو پوشش دیگر بالاتر بوده و از طرفی، مقدار نسبت گرادیان این پوشش همواره پایین‌تر از یک بود. همچنین بین دو پوشش مصنوعی تولید داخل، نمونه ۱ گزینه بهتری است، زیرا متوسط هدایت هیدرولیکی این پوشش بیشتر از متوسط هدایت هیدرولیکی پوشش مصنوعی تولید داخل ۲ بوده و نسبت گرادیان آن نیز اندکی کمتر است. از نظر کیفیت آب ورودی به سامانه، با افزایش میزان شوری آب، تغییرات در جهت کاهش هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش و افزایش نسبت گرادیان مشاهده شد که این تغییرات، توسط آزمون‌های آماری انجام شده معنی‌دار ارزیابی گردید. از این نظر در شرایط اجرای آزمون نفوذسنجی و در راستای انتخاب پوشش‌های مصنوعی مناسب در پروژه‌های زهکشی، اثر کیفیت آب کاربردی در سامانه در نتایج حاصل معنی‌دار بوده و در صورت حضور آب زیرزمینی با کیفیت نامطلوب (شوری و سدیم زیاد)، بایستی این نکته را در انتخاب پوشش و احتمال افزایش خطر انسداد معدنی پوشش مصنوعی، به‌ویژه در مراحل اولیه بهره‌برداری از آن، مد نظر قرار داد.

با مقایسه متوسط هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی در شرایط کاربرد دو نمونه پوشش مصنوعی PP450 تولید داخل، در مقایسه با پوشش مصنوعی PP450 خارجی در قالب آزمون نفوذسنجی و بررسی نتایج آنالیزهای آماری، مشخص گردید که متوسط هدایت هیدرولیکی در کلیه گرادیان‌های هیدرولیکی، در پوشش مصنوعی PP450 تولید خارج بیشتر از متوسط هدایت هیدرولیکی با کاربرد پوشش‌های مصنوعی تولید داخل است. درصد تغییرات هدایت هیدرولیکی پوشش مصنوعی تولید داخل ۲ بیشتر از دیگر پوشش‌ها بود و به‌ترتیب پس از آن، پوشش مصنوعی تولید داخل ۱ و پوشش مصنوعی خارجی قرار گرفت. بیشترین نسبت گرادیان را پوشش مصنوعی تولید داخل ۲، در شرایط کاربرد زه‌آب شور در سامانه به خود اختصاص داد. مقادیر نسبت‌های گرادیان دو پوشش مصنوعی تولید داخل در شرایط کاربرد زه‌آب شور و در گرادیان‌های هیدرولیکی پایین که به‌طور معمول در پروژه‌های زهکشی حاصل می‌شود، اندکی بیش از مقدار واحد بود. با دقت در مقادیر به‌دست آمده مشاهده می‌شود که پوشش مصنوعی PP450 تولید خارج از کارایی نسبتاً مطلوب‌تری در مقایسه با دو

مراجع

- Anon. 2006. Standard test method for measuring the soil- geotextile system clogging potential by the gradient ratio. ASTM D-5101 Standard, American Society for Testing and Materials.
- Aydilik, A., Seyfullah, H., Ogezun, T. and Edil, B. 2005. Construction size of geotextile filter. J. Geotech. Geoenviron., ASCE. 131(1): 28-38.
- Chattopadhyay, B.C. and Chakravarty, S. 2009. Application of jute geotextiles facilitator in drainage. Geotextiles and Geomembranes. 20, 156-161.
- Diericks, W. 1990. Synthetic envelope selection and design. Proceeding of the Drain Envelope Testing, Design and Research Workshop. Aug. 23. Lahore, Pakistan. 33-40.
- Hassanoghli, A.R. 1996. Technical investigation on a geotextile drain pipe in soil depth through different laboratory physical models. M. Sc. Thesis, University of Tehran. (in Farsi)
- Hassanoghli, A.R. 2009. Selection and application of a proper geotextile as a drain envelope in subsurface drainage. Agri. Eng. Res. Inst. (AERI), Technical Pub. No.20. (in Farsi)
- Hassanoghli, A.R. and Darbandi, S. 2002. Production and evaluation of non-woven synthetic drain envelopes in laboratory models. Agri. Eng. Res. Inst. (AERI), Tech. Report No.184. (in Farsi)
- Hassanoghli, A.R. and Liaghat, A. M. 2004. Application of synthetic envelopes in drainage. Proceeding of the 3rd Technical Workshop on Drainage, Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID): 59 -73. (in Farsi)
- Karimi, B., Parsinejad, M., Hassanoghli, A.R. and Liaghat, A.M. 2008. Evaluation of synthetic drain envelopes filter performance as compared with conventional envelope (laboratory experiment). Iranian J. Irrig. and Drain. 2, 81-92. (in Farsi)
- Niewenhuis, G.J.A and Wesselig, M. 1979. Effect of perforation and filter material on entrance and effective diameter of plastic drain pipes. Agr. Water Manage. 2, 1-9.
- Palmeira, E. and Gardoni, M.G. 2002. Drainage and filtration properties of non-woven geotextile under confinement using different experimental techniques. Geotextile and Geomembranes. 20, 97-115.
- Raisinghani, B.V. and Viswanadham, S. 2010. Evaluation of permeability characteristic of agrosynthetic reinforced soil through laboratory tests. Geotextiles and Geomembranes. 20, 115-125.
- Stuyt, L.C.P.M., Dierickx, W. and Beltran, M. 2000. Material for subsurface land drainage system. FAO Irrigation and Drainage Paper, No.60, Rome.
- Subaida, E.A., Chandrakaran, S. and Sankare, N. 2008. Experimental investigation on tensile and pull out behavior of woven coir geotextiles. Geotextiles and Geomembranes. 10, 210-225.
- Vatanzadeh, M. 1993. Filter design and its comparison with design specifications in drainage. M. Sc. Thesis, University of Tehran. (in Farsi)
- Vlotman, W.F., Willardson, L.S. and Dierickx, W. 2000. Envelope design for subsurface drain. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands Pub. No 56. 358 pp.

Laboratory Comparison of Two Domestic Synthetic Drainage Envelope Samples (PP450) With an Imported Product

Sh. Pedram, A. R. Hassanoghli^{*}, M. Mashal and A. M. Liaghat

^{*} Corresponding Author: Assistant Professor of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), P.O. Box 31585-845, Karaj, Iran, Email: arho49@yahoo.com

Received:22 August 2010 , Accepted:22 January 2011

Synthetic envelopes have been found to be highly effective filters for numerous applications and are currently replacing gravel envelopes. The growth of petrochemical and textile industries in Iran offers the possibility of manufacturing these products domestically. The objective of this study was to assess the mineral clogging potential of two non-woven synthetic envelopes (pre-wrapped loose materials, PLM) manufactured in Iran in comparison with similar imported envelopes. Two physical permeameter models designed according to ASTM D-5101 were used to carry out a series of permeability tests on varying envelope types. The study was conducted on soil and water provided from the Khorramshahr area, Khouzestan province, in southern Iran. A distinctive aspect of this research is the use of highly salt-affected drainage water ($EC= 22.2$ dS/m and $SAR= 26.27$) in contrast to non-saline water ($EC= 0.78$ dS/m) and Khoramshahr saline-sodic soil ($EC= 169.3$ dS/m and $SAR= 45.18$). Permeability tests were done at five hydraulic gradients (1, 2.5, 5, 7.5 and 10). Variations in discharge, hydraulic conductivity and gradient ratio (GR) were measured and investigated statistically in fully randomized factorial experiments. The results indicated that the greater the salinity, the lower the hydraulic conductivity and flow discharge rate for all envelope samples. The average hydraulic conductivity for domestic products 1 and 2 decreased 19% and 28%, respectively, in comparison to the imported envelope for non-saline water. For saline water, these percentages reached 28% and 33%, respectively. The gradient ratio revealed that the imported sample was not sensitive to mineral clogging. However, the two domestic specimen gradient ratios were greater than that for the imported envelope for the application of saline and non-saline water.

Keywords: Drainage, Drainage water, Gradient ratio, Hydraulic conductivity, Khoramshahr, Permeameter, Synthetic envelope PP450