بررسی عملکرد پوشش‌های گراولی و مصنوعی در زهکش‌های زیرزمینی

مسعود نوشادی*، مهسا جمالدینی و علی‌رضا سپاس‌خواه[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۷)

چکیده

در این تحقیق، عملکرد دو نوع پوشش مصنوعی $PP_{۴۵۰}$، تولیدی در داخل کشور و پوشش گراولی دانه‌بندی شده با استاندارد U.S.B.R در خاک سیلتی‌لوم در سه‌بارفشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ (غرقاب) سانتی‌متر از محور زهکش با استفاده از دو مدل فیزیکی مخزن خاک بررسی شده است. دبی خروجی از زهکش‌ها در پوشش گراولی و در بارهای آبی ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر و در حالت همگام به‌ترتیب ۱۸۸/۹، ۱۷۲/۰ و۸۹۷/۰ درصد بیشتر از پوشش مصنوعی به‌دست آمد. هدایت هیدرولیکی پوشش گراولی در بارهای آبی ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر به‌ترتیب ۱۴/۱۷،۰/۳ و۲۴/۶ برابر پوشش مصنوعی بوده و نسبت گرادیان در این بارهای آبی در پوشش گراولی به‌ترتیب ۱۴/۴، ۲/۸ و ۱۴/۲٪ کمتر از پوشش مصنوعی بود. همچنین در هدایت هیدرولیکی، مقاومت ورودی لوله و پوشش در بارفشاری ۱۰۵ سانتی‌متر که حالت غرقاب است نسبت به دوبارفشاری ۵۵ و ۷۵ سانتی‌متر در هر دو پوشش رفتار متفاوتی مشاهده شد. به‌طورکلی براساس پارامترهای اندازه‌گیری شده پوشش گراولی عملکرد بهتری داشت.

کلمات کلیدی: بارفشاری، نسبت گرادیان، مقاومت ورودی، مخزن خاک، زهکشی

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزیدانشگاه شیراز

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: noshadi@shirazu.ac.ir

مقدمه

زهکشی عملی‌است که طی آن آب و املاح اضافی از زمین خارج می‌شود تا شرایط مناسب به‌منظور رشد گیاه تأمین گردد. پوشش‌های زهکشی برای محافظت در برابر رسوب‌گذاری و بهبود عملکرد هیدرولیکی در اطراف لوله‌های زهکشی قرار داده می‌شود. برای اجرای مناسب یک سیستم زهکشی باید در طراحی پوشش به‌کار رفته دقت لازم صورت گیرد تا این سیستم‌ها بتوانند نقش خود را در دراز مدت با موفقیت اجرا کنند. پوشش‌های گراولی هزینه بالایی را در پروژه‌های زهکشی به خود اختصاص می‌دهند و کاملاً مورد اطمینان هستند زیرا حجیم بوده و می‌توانند مقدار نسبتاً زیادی از مواد خاکی را در خود نگه دارند (۴). پوشش‌های مصنوعی زمین بافت (Geotextile) باعث افزایش سرعت عمل در اجرا و کاهش هزینه‌های زهکشی می‌شوند (۵).

در یک تحقیق مصالح شنی و سنگریزه‌ای به‌عنوان پوشش زهکش زیرزمینی با سه‌روش طراحی شامل معیار دفتر عمران اراضی آمریکا (USBR)، معیار سازمان حفاظت خاک آمریکا (USSCS) و ضوابط آزمایشگاه تحقیقات راه بریتانیا (BRRL) در شبکه زهکشی زیرزمینی سیستان مورد بررسی قرار گرفت (۳). همچنین عملکرد هیدرولیکی و مکانیکی یک‌نوع ماده‌مصنوعی از جنس پلی‌پروپیلن به‌عنوان پوشش در مخزن خاک بررسی گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد هیدرولیکی و مکانیکی پوشش مصنوعی پلی‌پروپیلن به‌عنوان پوشش زهکش زیرزمینی در شرایط آزمایشگاهی مناسب است. ولی از نظر قابلیت تخلیه زه‌آب، عدم تجمع رسوب در فیلتر و دانه‌بندی، پوشش گراولی (معیار سازمان حفاظت خاک آمریکا) مناسب‌تر بود (۶). در تحقیق دیگری عملکرد یک پوشش مصنوعی و پوشش معدنی طراحی‌شده براساس استاندارد USBR رایج در پروژه‌های زهکشی به‌وسیله نفوذسنج جریان موازی (رو به بالا) بررسی شد. نتایج نشان داد که هر دو پوشش عملکرد قابل قبولی داشته و نیاز زهکشی را تأمین می‌کنند. با استفاده از مدل تانک خاک مقایسه‌ای برای بررسی اثر سه فیلتر مختلف (شامل نی و الیاف‌کتان با ضخامت یک سانتی‌متر، شن در ترکیب با قیر و همچنین محلول PAM به‌عنوان پوشش با ۴ سانتی‌متر ضخامت) در اطراف لوله زهکشی انجام گرفت که همه این سه‌پوشش مانع از ورود سیلت به لوله زهکشی شدند. بعد از ۲۴ ساعت زمانی که شن ترکیب شده با قیر به‌عنوان پوشش استفاده شد میزان دبی خروجی ۱ تا ۳ برابر بزرگ‌تر از لوله بدون پوشش ولی ۱ تا ۱۶ بار کمتر از دبی خروجی از لوله با پوشش کتان بود (۸). در تحقیق دیگری نشان داده شد که درصورت استفاده از فیلتر در یک سیستم زهکش، فاصله لوله‌های زهکش تا ۱۲۰ درصد می‌تواند اضافه شود (۹). بررسی مقاومت ورودی و شعاع موثر در لوله PVC کنگره‌دار بدون‌پوشش زهکشی و با شش پوشش مختلف مصنوعی بافته نشده در مخزن خاک نشان داد که در لوله زهکشی بدون کاربرد پوشش، مقاومت ورودی به‌میزان ۰/۰۱۳۶ روز بر متر بوده که در مقایسه با کاربرد پوشش بیشتر است. مقاومت ورودی به زهکش با به‌کار بردن پوشش‌های نازک بین ۰/۰۰۶۷-۰/۰۰۳۶ روز بر متر و درصورت به‌کار بردن پوشش‌های ضخیم بین ۰/۰۰۲۴ -۰/۰۰۲۵ روز بر متر بوده که بستگی به‌نوع پوشش به‌کار برده شده دارد (۱۴). نتیجه بررسی اثر فشارهای مختلف روی خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی پوشش‌های زمین‌بافت (ژئوتکستایل) نشان داد که برای لوله‌های زهکشی که در عمق زیادتری کارگذاری می‌شوند، به‌دلیل افزایش فشار ستون خاک روی لوله و پوشش زهکشی، مقدار هدایت هیدرولیکی فیلتر کاهش می‌یابد و همچنین کاهش کارایی لوله زهکشی و فیلتر را به‌همراه دارد. از طرف دیگر هرچه فشار اعمالی در نتیجه افزایش عمق کارگذاری لوله زهکش برروی پوشش مصنوعی بیشتر شود، ضخامت، اندازه روزنه‌ها و نفوذپذیری کاهش می‌یابد (۱۱). بررسی خواص ۱۵ پوشش زمین‌بافت بافته نشده ساخته‌شده از الیاف پلی‌استر در مقایسه با همین تعداد پوشش زمین‌بافت تولیدشده از الیاف کتان نشان‌داد که تنوع و گوناگونی در طول الیاف‌کتان منجربه کاهش مقاومت کششی و تنوع در اندازه منافذ پوشش ساخته شده از این الیاف می‌گردد. البته

پوشش زمین‌بافت تولید شده از الیاف کتان نسبت به پوشش مصنوعی پلی‌استری خواص نفوذپذیری بالاتری از خود نشان دادند. لذا براساس این تحقیقات با اندک تغییری در الیاف کتان به‌کار برده شده در پوشش زمین‌بافت می‌توان نقاط ضعف این‌نوع پوشش‌ها را در مقایسه با پوشش زمین‌بافت ساخته شده از پلی‌استر برطرف ساخت (۱۲). نتیجه بررسی احتمال گرفتگی بیولوژیکی پوشش‌های زمین‌بافت و معدنی به‌منظور فیلتر کردن پساب فاضلاب کشاورزی در یک دوره پنج ساله نشان داد که هر دو پوشش برروی کیفیت آب خروجی تأثیر می‌گذارند و پوشش‌های مصنوعی زمین‌بافت ازلحاظ کارکرد و ملاحظات اقتصادی نسبت به پوشش‌های معدنی مقرون به صرفه‌تر هستند (۱۰). نتیجه یک تحقیق جهت تعیین تنش روی زمین‌بافت‌های بافته شده و نشده نشان داد که تنش و فشار روی پوشش‌های زهکشی، اثر عمده‌ای برروی جریان خروجی از زهکش‌ها داشته و مقدار آن با افزایش این تنش و فشار جریان خروجی کاهش می‌یابد. همچنین هدایت هیدرولیکی فیلترهای زهکشی بستگی به چگالی رشته‌های به‌کار رفته درساخت آن دارد و هر چه چگالی بیشتر باشد هدایت هیدرولیکی کمتر است. همچنین مقاومت ورودی این فیلترها به توزیع اندازه ذرات خاک اطراف آنها بستگی دارد و این مقدار در خاک‌های با ذرات ریز در مقایسه با خاک با ذرات درشت بیشتر است (۱۵). نتایج تحقیق برروی خواص نفوذپذیری پوشش زمین‌بافت در یک خاک با نفوذپذیری کم با استفاده از یک نفوذسنج نشان داد که افزایش فشار منجر به کاهش خواص نفوذپذیری پوشش زمین‌بافت می‌گردد (۱۳). در یک تحقیق رفتار سامانه خاک و پوشش مصنوعی در ارتباط با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفت و مدل‌سازی شد (۷). در این تحقیق دو پوشش مصنوعی بافته شده بررسی‌شد و پس از تحلیل داده‌ها یک‌مدل غیرخطی برای پیش‌بینی پدیده‌های به‌وقوع پیوسته ارائه گردید. دریک تحقیق سیستم زهکشی زیرزمینی در نخیلات آبادان با بکارگیری چهار نمونه از پوشش‌های زهکش‌های زیرزمینی شامل فیلتر شن و ماسه موجود در منطقه، فیلتر شن و ماسه استاندارد شده، فیلتر مصنوعی پلی‌پروپیلین با شاخص منافذ ۷۰۰ و فیلتر مصنوعی پلی‌پروپیلین با شاخص منافذ ۴۵۰ میکرون بررسی و ارزیابی فنی و اقتصادی شد. دراین تحقیق چهار گزینه به‌ترتیب اولویت ذیل پیشنهاد شد: الف) اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی توسط ترنچر و لوله به‌همراه فیلتر مصنوعی پلی‌پروپیلین ۴۵۰ (تولید داخل)، ب) اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی توسط ترنچر و لوله به‌همراه فیلتر مصنوعی پلی پروپیلین ۴۵۰ (وارداتی)، ج) اجرای سیستم زهکششی زیرزمینی توسط ترنچر، لوله تولید داخل و فیلتر شن و ماسه استاندارد، د) اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی توسط بیل مکانیکی، لوله تولید داخل و فیلتر شن و ماسه استاندارد. همچنین نتایج نشان داد که گزینه‌هایی که عملکرد بالاتری در کنترل سطح ایستابی و شوری داشتند به‌ترتیب اولویت عبارت بودند از: اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی همراه با فیلتر مصنوعی پلی‌پروپیلین ۴۵۰ و اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی همراه با فیلتر شن و ماسه استاندارد (۱). نتایج بررسی اندازه ظاهری روزنه در سه نمونه پوشش زمین‌بافت تولید داخل کشور (یک نمونه بافته و دو نمونه نبافته ۳۰۰ و ۶۵۰) در پنج بافت خاک رس سیلتی، ماسه سیلتی، سیلت، ماسه رسی و ماسه سیلتی نشان داد که اندازه ظاهری روزنه در پوشش زمین‌بافت بافته شده ۰/۱۰۵ میلی‌متر و در نمونه نبافته ۶۵۰ و ۳۰۰ به‌ترتیب ۰/۱۴ و ۰/۳۴ میلی‌متر بود. همچنین نتایج نشان داد که نسبت O_{90}/d_{90} در اکثر موارد کمتر از حد مجاز (۲/۵) بود و فقط در ترکیب خاک سیلت و نمونه نبافته ۳۰۰، این نسبت بزرگتر از ۲/۵ شد و در نتیجه امکان کاربرد این نوع پوشش زمین‌بافت در خاک سیلتی منتفی می‌باشد (۲).

بنابراین در ایران در خصوص پوشش‌های مصنوعی تحقیقات محدودی در بعضی مناطق صورت گرفته است و برای جایگزینی این پوشش‌ها به جای پوشش‌های گراولی در زهکشی (که موجب کاهش هزینه‌ها می‌گردد) تحقیقات بیشتر در این خصوص ضروری است. در منطقه مورد مطالعه (استان فارس) تاکنون هیچگونه تحقیقی درخصوص استفاده از

پوشش‌های مصنوعی به‌ویژه پوشش‌های تولیدی در داخل کشور انجام نشده است. همچنین در پژوهش‌های پیشین رفتار پوشش‌ها در بارهای آبی مختلف کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش، شبیه‌سازی وضعیت زهکش‌ها در محیط آزمایشگاه با استفاده از مدل فیزیکی مخزن خاک در دو حالت پوشش مصنوعی (از نوع پلی‌پروپیلن (PP_{450})، تولیدی در داخل کشور) و پوشش گراولی (مطابق با استاندارد U.S.B.R) در یک خاک سیلتی لوم در سه بارفشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر از محور زهکش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مخزن خاک به‌منظور شبیه‌سازی ترانشه‌های زهکشی به‌صورت یک جعبه مستطیلی فلزی دو جداره روباز ساخته شد که ابعاد خارجی آن به ارتفاع ۱۵۵سانتی‌متر و طول ۸۵ سانتی‌متر برای هر دو مدل و عرض ۷۵ سانتی‌متر برای مدل پوشش مصنوعی (با ضخامت ۵ میلی‌متر) و ۹۵ سانتی‌متر برای مدل پوشش گراولی (با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر اطراف لوله زهکشی) می‌باشد. در کف هرکدام از این دو مخزن یک عدد شیر یک اینچی جهت تخلیه و شستشو و یک عدد شیر ۱/۵ اینچی جهت تغذیه تعبیه شد. در جداره این مخازن تعداد سه عدد شیر یک‌اینچی جهت کنترل و تثبیت سطح ایستایی در ارتفاع‌های ۱۰۵ ، ۷۵ و ۵۵ سانتی‌متر در بالای محور لوله زهکش قرار گرفت. ارتفاع ۱۰۵ سانتی‌متر برای حالت غرقاب کامل خاک و دو ارتفاع دیگر (۵۵ و ۷۵ سانتی‌متر) برای وقتی‌که سطح خاک کاملاً غرقاب نباشد ایجاد گردید. جداره داخلی مخزن شامل دو دیواره عمودی و کف مشبک است. در جداره داخلی مخزن خاک، لوله زهکش، پوشش و پیزومترها قرار دارند و در بین دو جداره داخلی و خارجی که فاصله آنها ۵ سانتی‌متر است آب وجود دارد که با توجه به مشبک بودن جداره داخلی آب از اطراف و کف وارد خاک و زهکش می‌گردید. لوله زهکش در وسط مخزن و به فاصله ۴۰ سانتی‌متر از کف مخزن خاک نصب گردید. برروی خروجی لوله زهکش یک‌عدد شیر ۲ اینچی قرار داده شد. به‌منظور بررسی نوسانات سطح ایستابی در اطراف زهکش‌ها از لوله‌های PVC به قطر یک‌اینچ به‌عنوان پیزومتر استفاده گردید که در مخزن بزرگ‌تر (پوشش گراولی) ۱۱ عدد و در مخزن کوچک‌تر (پوشش PP450) ۹ عدد در اطراف لوله زهکش و در عمق‌های مختلف قرار داده شدند (شکل ۱).

برای تهیه خاک مورد نیاز در ابتدا گودالی به عمق ۱/۵ متر حفر گردید و به‌منظور شبیه‌سازی بهترخاک محیط ترانشه، خاک‌های برداشته شده به‌صورت لایه‌های مجزا به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر در هوای آزاد خشک شد و سپس به‌صورت لایه لایه در داخل مدل ریخته شد. پوشش زمین‌بافت، از قبل در کارخانه به دور لوله زهکش تنیده شده است و این پوشش به‌همراه لوله زهکش در محل خود قرار گرفت. برای قراردادن پوشش گراول به دور لوله زهکش ابتدا دو صفحه نازک فلزی هر کدام به‌فاصله ۱۰ سانتی‌متر از کناره‌های لوله به‌منظور جلوگیری از اختلاط پوشش و خاک قرار داده شد. در مرحله بعد، زیر لوله و اطراف آن به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر، پوشش گراول ریخته شد.

در مدل ساخته شده در زمان‌های مختلف دبی جریان از لوله زهکش و ارتفاع آب در پیزومترها اندازه‌گیری شد.

به‌منظور به‌دست آوردن هدایت هیدرولیکی در هر بارفشاری و برای هرکدام از پوشش‌ها، رابطه دارسی به‌صورت زیر به‌کار برده شد :

$$Q= K\times i\times A \qquad [۱]$$

که در آن، Q: دبی خروجی زهکش (مترمکعب بر روز)، K: هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)، i :گرادیان هیدرولیکی (بدون بعد)، A: سطح مقطع جریان (مترمربع) می‌باشد.

گرادیان هیدرولیکی براساس پیزومترهای نصب شده و ضخامت پوشش زهکشی که برای پوشش گراولی ۱۰ سانتی‌متر و برای پوشش مصنوعی ۰/۵ سانتی‌متر است، به‌دست آمد. سطح مقطع عبور جریان براساس طول لوله زهکش (۸۵ سانتی‌متر)، قطر لوله زهکش (۱۲/۵ سانتی‌متر) و ضخامت پوشش‌های گراولی و مصنوعی برای پوشش گراولی ۱/۱۰۵ مترمربع و برای پوشش مصنوعی، ۰/۳۶ مترمربع بوده و مقدار

جدول۱ . مشخصات خاک مورد مطالعه

بافت خاک	چگالی ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	هدایت هیدرولیکی اشباع ($m\ day^{-1}$)	شاخص خمیرایی (٪)	نسبت جذبی سدیم (SAR)	EC_e ($dS\ m^{-1}$)	EC_w ($dS\ m^{-1}$)
سیلتی لوم	۱/۵	۰/۴	۱۶/۷	۱/۷	۱	۰/۷

جدول۲: مقادیر افت بارفشاری عمودی، افقی و شعاعی و ورودی لوله و پوشش در حالت همگام و در سه بارفشاری

	پوشش گراولی			پوشش مصنوعی		
بارفشاری (سانتی‌متر)	افت بارفشاری عمودی (سانتی‌متر)	افت بارفشاری افقی و شعاعی (سانتی‌متر)	افت بارفشاری ورودی لوله و پوشش (سانتی‌متر)	افت بارفشاری عمودی (سانتی‌متر)	افت بارفشاری افقی و شعاعی (سانتی‌متر)	افت بارفشاری ورودی لوله و پوشش (سانتی‌متر)
۵۵	۲/۰	۲۸/۴	۱۷/۷	۵/۰	۱۳/۸	۱۷/۴
۷۵	۲/۸	۲۵/۹	۲۷/۰	۵/۳	۱۸/۹	۲۱/۶
۱۰۵	۰/۴	۵/۷	۷۷/۰	۱/۹	۱/۲	۶۸/۰

دبی خروجی از زهکش نیز در هر بارفشاری اندازه‌گیری شد.

برای محاسبه افت بارفشاری ورودی به لوله‌های زهکشی از معادله زیر استفاده گردید:

$$h_{e,f} = \alpha / K \times q \qquad [۲]$$

یا

$$\alpha = W \times K \qquad [۳]$$

در این معادله ها: $h_{e,f}$: افت بارفشاری ورودی لوله و پوشش (متر)، α : فاکتور هندسی (بدون بعد)، K: هدایت هیدرولیکی پوشش (متر بر روز)، q : دبی خروجی از زهکش (مترمکعب بر روز در متر طول زهکش)، W: مقاومت ورودی لوله و پوشش (روز بر متر) می‌باشد.

برای محاسبه نسبت گرادیان (Gradient Ratio) در پوشش‌ها (که بیان‌گر گرفتگی معدنی پوشش اطراف زهکش می‌باشد) از معادله زیر استفاده شد:

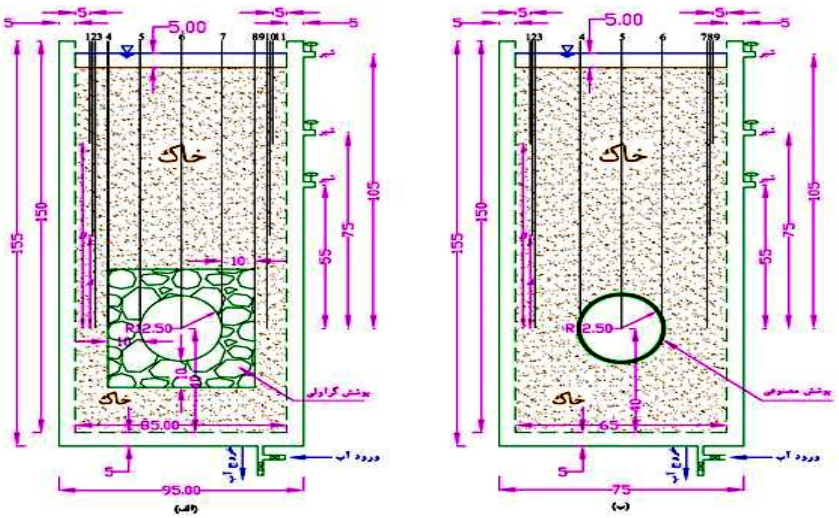
$$GR = \frac{i_{es}}{i_s} \qquad [۴]$$

که در آن: GR: نسبت گرادیان، i_{es}: گرادیان هیدرولیکی مجموع خاک، پوشش و ورودی، i_s: گرادیان هیدرولیکی در خاک است.

i_{es} از نسبت مجموع افت‌های بارفشاری عمودی، افقی، شعاعی، ورودی و افت بارفشاری مربوط به پوشش به‌فاصله از وسط لوله زهکش تا آخرین پیزومتر حاصل شده و i_s از مجموع افت‌های بار فشاری عمودی، افقی و شعاعی تقسیم بر فاصله از اولین پیزومتر در نزدیک دیواره تا پیزومتر نصب‌شده در قبل از پوشش به‌دست آمده است.

نتایج منحنی دانه‌بندی خاک که با استفاده از دستگاه مسترسایزر تهیه گردید به‌همراه یک سری از مشخصات فیزیکی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ و شکل ۲ نشان داده شده است.

براساس منحنی دانه‌بندی خاک، پوشش گراولی مناسب از روش U.S.B.R تعیین گردید (شکل ۲). برای رسیدن به دانه‌بندی مناسب پوشش، اندازه‌های مختلف از شن و ماسه با

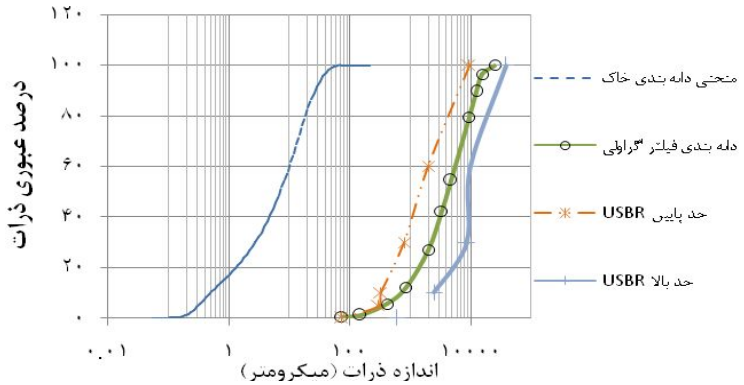


B (cm)	A (cm)	بار آبی (cm)
۳۳	۳۳	۱۰۵ (مرقاب)
۲۵	۲۵	۷۵
۱۶٫۵	۱۶٫۵	۵۵

شکل۱. مشخصات مخزن و جانمایی پیزومترها و لوله زهکش در دو مخزن الف) پوشش گراولی، ب) پوشش مصنوعی

A = فاصله انتهای پیزومتر ۲ از انتهای پیزومتر ۳

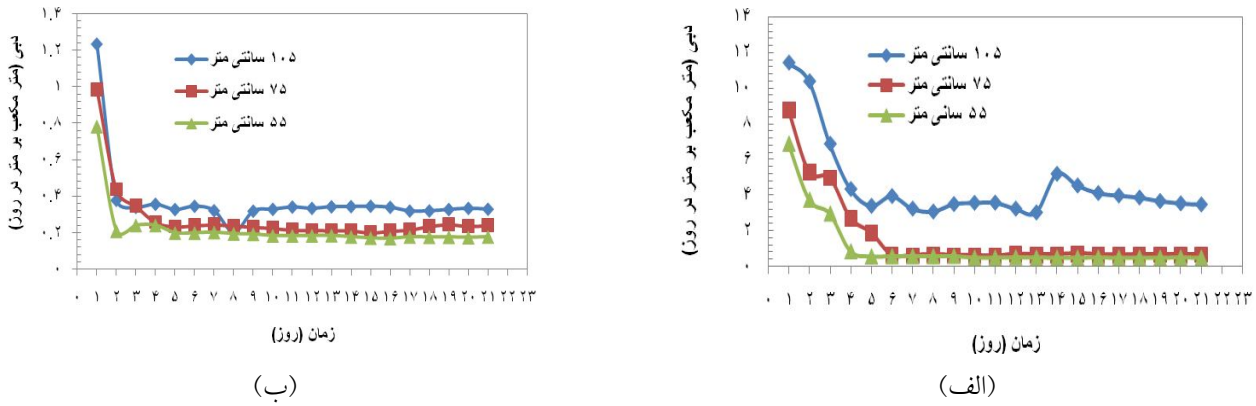
B = فاصله انتهای پیزومتر ۱ از انتهای پیزومتر ۲



شکل۲. منحنی دانه‌بندی خاک، حد بالا و پایین پوشش گروالی و پوشش گراولی مناسب

یکدیگر ترکیب شد و پس از رسم منحنی‌های دانه‌بندی مناسب‌ترین آن انتخاب گردید که نتیجه آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

پوشش PP450 یک پوشش PLM (Prewrapped loose materials) می‌باشد که از رشته نخ‌های به هم پیوسته و حجیم ساخته شده است. این رشته‌ها ضایعات تولید فرش‌های بافته شده از الیاف PP (Polypropylene) هستند که دارای O_{90} (قطری که ۹۰٪ ذرات از آن کوچکترند) ۴۵۰ میکرومتربوده و چگالی آنها ۴۰۰ گرم در مترمکعب است. این الیاف با مواد ضد اشعه UV(Ultra violet) آغشته شده است. ضخامت متوسط این فیلتر در اطراف لوله زهکش قبل از کارگذاری ۵ میلی‌متر است. خواص مکانیکی الیاف به‌کار رفته در فیلتر به‌ترتیبی بوده که در



شکل۳. تغییرات دبی خروجی از زهکش نسبت به زمان در سه بارفشاری مختلف: الف) پوشش گراولی، ب) پوشش مصنوعی

دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد باعث تغییر شکل الیاف نشود و مقاومت به پارگی و استحکام الیاف ضخیم به‌کار رفته در فیلتر مصنوعی حداقل ۶۰۰ نیوتن باشد.

نتایج و بحث

تغییرات دبی خروجی از زهکش

تغییرات دبی خروجی در دو پوشش در شکل ۳ آورده شده است. مطابق این شکل دبی در هر دو پوشش در ابتدا زیاد بوده و در روز اول در پوشش گراولی در سه بارفشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر به‌ترتیب ۶/۹۱، ۸/۷۷ و ۱۱/۴۶ مترمکعب بر روز در متر و در پوشش مصنوعی به‌ترتیب ۰/۷۸، ۰/۹۹ و ۱/۲۳ مترمکعب بر روز در متر بوده است. ولی این دبی در طول حدود چهار روز به‌شدت کاهش یافته و سپس با یک سری نوسانات اندک ثابت گشته و به‌حالت پایدار (همگام) رسیده است. دبی در حالت همگام در پوشش گراولی در سه بارفشاری فوق به‌ترتیب ۰/۵۲، ۰/۶۸ و ۳/۲۹ مترمکعب بر روز در متر و در پوشش مصنوعی به‌ترتیب ۰/۱۸، ۰/۲۵ و ۰/۳۳ مترمکعب بر روز در متر بود. کاهش دبی خروجی در چهار روز اول آزمایش به‌دلیل رسیدن به حالت همگام است و بعد از آن نوسانات مشاهده شده به‌دلیل حرکت ذرات خاک و نوع پوشش در مخازن می‌باشد. افزایش در بارفشاری از ۵۵ به ۷۵ سانتی‌متر در دو پوشش گراولی و مصنوعی موجب افزایش قابل توجهی در دبی خروجی نشده و دبی به‌ترتیب ۳۰/۸ و ۳۸/۹ درصد افزایش یافته که در هر دو پوشش این افزایش به یکدیگر نزدیک بود. در پوشش گراولی افزایش بارفشاری از ۷۵ به ۱۰۵ سانتی‌متر باعث افزایش قابل توجهی (۳۸۴/۰ درصد) در دبی خروجی گردیده ولی در مورد پوشش مصنوعی این افزایش کمتر بود و دبی خروجی فقط ۳۲/۰ درصد افزایش یافت. میزان دبی در حالت همگام در پوشش گروالی در سه بارفشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر به‌ترتیب ۲/۹، ۲/۷ و ۱۰/۰ برابر پوشش مصنوعی بود.

افت بارفشاری

افت بارفشاری عمودی با استفاده از پیزومترهای نصب شده در مخازن که در کنار دو جداره بین دو پیزومتر نصب شده در عمق زهکش و در عمق سطح ایستابی به‌دست آمد (جدول ۲). با افزایش بارفشاری از ۵۵ تا ۷۵ سانتی‌متر در دو پوشش گراولی و مصنوعی تغییر محسوسی در افت بارفشاری عمودی رخ نداد ولی در بارفشاری ۱۰۵ سانتی‌متر در هر دو پوشش گراولی و مصنوعی افت بارفشاری عمودی به‌ترتیب ۸۵/۷٪ و ۶۴/۱۵٪ نسبت به بار ۷۵ سانتی‌متر کاهش یافت. مقادیر افت بارفشاری عمودی در پوشش گراولی و مصنوعی به یکدیگر نزدیک بود و در بارفشاری ۱۰۵ سانتی‌متر حداقل اختلاف در افت بارفشاری عمودی در دو نوع پوشش (۱/۵ سانتی‌متر) وجود داشت. مقدار افت بارفشاری عمودی در پوشش گراولی در سه بارفشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر به‌ترتیب ۳ سانتی‌متر (۶۰٪) ، ۲/۵سانتی‌متر

جدول۳. مقاومت ورودی لوله و پوشش (روز بر متر) و افت بارفشاری کل (سانتی‌متر) در حالت همگام در سه بارفشاری

بارفشاری (سانتی‌متر)	پوشش گراولی		پوشش مصنوعی	
	مقاومت ورودی لوله و پوشش (روز بر متر)	افت بارفشاری کل (سانتی‌متر)	مقاومت ورودی لوله و پوشش (روز بر متر)	افت بارفشاری کل (سانتی‌متر)
۵۵	۰/۳	۴۸/۱	۱/۰	۳۶/۲
۷۵	۰/۴	۵۵/۷	۰/۹	۴۵/۸
۱۰۵	۰/۲	۸۳/۱	۲/۲	۷۱/۱

(۴۷٪) و ۱/۵ سانتی‌متر (۷۹٪) کمتراز پوشش مصنوعی بود. لازم به‌ذکر است که افت بارفشاری عمودی بیشتر از این‌که تحت اثر پوشش و لوله زهکشی باشد از خصوصیات خاک تأثیر می‌پذیرد. با افزایش بارفشاری به ۱۰۵ سانتی‌متر و حالت غرقاب (درحالتی‌که ۵ سانتی‌متر آب روی سطح خاک قرار می‌گیرد) این افت در هر دو مخزن کاهش یافت چون در این حالت فضاهای بازی در ستون خاک به‌دلیل جابه‌جایی ذرات خاک ایجاد شد که باعث افزایش هدایت هیدرولیکی و کاهش افت گردید. به‌دلیل کوچک بودن ابعاد دو مخزن و ناچیز بودن محدوده جریان افقی، افت بارفشاری افقی و شعاعی به‌صورت توأم توسط پیزومترها به‌دست آمد (جدول ۲). با افزایش بارفشاری از ۵۵ به ۷۵ سانتی‌متر در پوشش گراولی مجموع افت بارفشاری افقی و شعاعی ۸/۸٪ کم شد و در پوشش مصنوعی ۳۶/۹٪ زیاد گردید. در بارفشاری ۱۰۵ سانتی‌متر نسبت به‌بارفشاری ۷۵ سانتی‌متر در هر دو پوشش گراولی و مصنوعی افت بارفشاری افقی و شعاعی به‌ترتیب ۷۸/۰ و ۹۳/۶ درصد کاهش یافت که به‌دلیل زیاد شدن هدایت هیدرولیکی خاک در حالت غرقاب بود. به‌طورکلی این افت در مخزن در پوشش گراولی نسبت به‌پوشش مصنوعی بیشتر بود که به‌دلیل تخلیه بیشتر آب در پوشش گراولی نسبت به‌پوشش مصنوعی می‌باشد. تفاوت افت‌های بارفشاری افقی و شعاعی در دو نوع پوشش گراولی و مصنوعی در بارهای فشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر به‌ترتیب ۱۴/۶ (۱۰۵/۸٪)، ۷/۰۰ (۳۷/۰۴٪) و ۴/۵ (۳۷۵٪) سانتی‌متر بود.

از مجموع افت‌های بارفشاری به‌دست‌آمده افت بارفشاری کل محاسبه گردید که در پوشش گراولی در سه بارفشاری و درحالت همگام بیشتر از پوشش مصنوعی بود که به‌دلیل تأثیر مثبت پوشش گراولی در تخلیه بیشتر آب از خاک می‌باشد (جدول۳). برای به‌دست‌آوردن افت بارفشاری ورودی لوله و پوشش از پیزومترهای نصب شده در داخل لوله زهکش و بیرون آن قبل از پوشش استفاده شد. به‌دلیل نازک‌بودن پوشش مصنوعی امکان نصب پیزومتر در بین پوشش و لوله زهکش وجود نداشت، ازاین‌رو برای یکسان شدن شرایط مقایسه در پوشش گراولی نیز پیزومتر داخل لوله زهکش با پیزومتر قبل‌از پوشش مقایسه شد. بنابراین تفاضل بارفشاری پیزومترها در مخازن با پوشش مصنوعی و گراولی، افت بارفشاری مربوط به‌پوشش را نیز به‌همراه دارد. مقادیر مجموع افت بارفشاری ورودی و پوشش در سه بارفشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر در پوشش گراولی به‌ترتیب ۱۷/۷، ۲۷ و ۷۷ سانتی‌متر و در پوشش مصنوعی به‌ترتیب ۱۷/۴، ۲۱/۶ و ۶۸ سانتی‌متر بودند (جدول ۲). با افزایش بارفشاری از ۵۵ تا ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر افت بارفشاری ورودی و پوشش افزایش یافت و در هر سه بارفشاری در پوشش گراولی این افت بیشتر بود. در پوشش گراولی از بارفشاری ۵۵ تا ۷۵ و ۷۵ تا ۱۰۵ سانتی‌متر به‌ترتیب مقادیر افت بارفشاری ورودی و پوشش به‌مقدار ۵۲/۵ و ۱۸۵/۲ درصد افزایش یافت و در پوشش مصنوعی به‌ترتیب ۲۴/۱ و ۲۱۴/۸ درصد افزایش وجود داشت که در این مورد نیز بین بارهای فشاری آبی ۱۰۵ سانتی‌متر و دو بارفشاری دیگر

اختلاف زیادی دیده شد. دلیل بیشتربودن افت بارفشاری ورودی و پوشش در پوشش گراولی زیادتربودن دبی خروجی از آن نسبت به‌پوشش مصنوعی است. بنابراین بهتر است به‌جای افت بارفشاری ورودی و پوشش، مقاومت ورودی و پوشش را طبق معادله (۵) محاسبه نمود.

$$w = \frac{n_2 - n_1}{q} \qquad [۵]$$

که در آن: w: مقاومت ورودی پوشش و لوله (روز بر متر)، q: دبی در واحد طول زهکش (مترمکعب بر متر در روز)، h_1: بارفشاری داخل لوله زهکش (متر)، h_2: بارفشاری بیرون پوشش (متر).

طبق جدول ۳ مقادیر مقاومت ورودی و پوشش در پوشش گراولی در بارهای فشاری آبی ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر به‌ترتیب ۶۶٪، ۵۵/۵٪ و ۹۰/۴٪ کمتر از پوشش مصنوعی بود. در پوشش گراولی مقاومت ورودی لوله و پوشش در بارفشاری ۵۵ تا ۷۵ سانتی‌متر ۱۷/۶٪ افزایش و در بارفشاری ۱۰۵ سانتی‌متر نسبت به‌بارفشاری ۷۵ سانتی‌متر ۴۷/۵٪ کاهش یافت. مقاومت ورودی و پوشش در پوشش مصنوعی در بارفشاری ۵۵ تا ۷۵ سانتی‌متر ۱۰٪ کاهش یافت و در بارفشاری ۱۰۵ نسبت به‌بارفشاری ۷۵ سانتی‌متر ۱۴۴/۴٪ افزایش یافت.

هدایت هیدرولیکی

در بارهای فشاری مختلف، هدایت هیدرولیکی پوشش گراولی دارای یکسری نوسانات بود و از حدود روز ششم به بعد که جریان به‌حالت همگام رسید تقریباً ثابت شد. در پوشش مصنوعی این نوسانات بسیار کمتر از پوشش گراولی می‌باشد.

هدایت هیدرولیکی درحالت همگام در پوشش مصنوعی برای سه بارفشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر به‌ترتیب ۱/۲، ۱/۴ و ۰/۵ سانتی‌متر بر روز به‌دست آمد. بنابراین تغییرات هدایت هیدرولیکی در پوشش مصنوعی و در دو بارفشاری ۵۵ و ۷۵ سانتی‌متر بسیار نزدیک به هم می‌باشد و برای بارفشاری ۱۰۵ سانتی‌متر کمتر گردید. در پوشش گراولی برای همین سه بارفشاری هدایت هیدرولیکی در حالت همگام به‌ترتیب ۰/۲۲، ۰/۲۱ و ۱/۲۸ متر بر روز به‌دست آمد که در دو بارفشاری ۵۵ و ۷۵ سانتی‌متر تقریباً یکسان هستند. به‌عبارت دیگر در بارفشاری ۵۵ و ۷۵ سانتی‌متر در پوشش گراولی گرفتگی بیشتر از حالت غرقاب (بارفشاری ۱۰۵ سانتی‌متر) بوده که به‌دلیل شستشوی پوشش در بارفشاری بالا می‌باشد. بنابراین در بارهای آبی ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر هدایت هیدرولیکی در پوشش گراولی به‌ترتیب ۱۷/۳، ۱۴/۰ و ۲۴/۶۰ برابر پوشش مصنوعی می‌باشد. با توجه به مطالب فوق پوشش گراولی یکی از اهداف اصلی پوشش را که سهولت حرکت آب به‌سمت زهکش‌ها می‌باشد به‌مراتب بهتر از پوشش مصنوعی تأمین کرده است.

فاکتور هندسی مقاومت ورودی لوله و پوشش (α)

ضریب α (معادلات ۳ و ۴) درحالت همگام برای سه بارفشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر در پوشش گراولی به‌ترتیب ۰/۰۷۴۸، ۰/۰۸۴۰ و ۰/۲۶۹ و برای پوشش مصنوعی به‌ترتیب ۰/۰۱۲، ۰/۰۱۳ و ۰/۰۱۱ به‌دست آمد. در پوشش گراولی مقاومت ورودی از پوشش مصنوعی کمتر بود ولی چون هدایت هیدرولیکی پوشش گراولی به‌مراتب بیشتر از پوشش مصنوعی است در نتیجه α در پوشش گراولی بیشتر شد.

در یک تحقیق در مخزن پر شده با شن با هدایت هیدرولیکی ۰/۵ متر بر روز و در لوله پلاستیکی صاف مقدار ضریب α ۰/۸۲ و برای شن با هدایت هیدرولیکی ۰/۰۷ متر بر روز، ۰/۸۱ به‌دست آمد (۱۶). در یک بررسی دیگر این ضریب در لوله بدون پوشش بین ۰/۳۱ تا ۰/۳۷ (به‌ترتیب برای هدایت هیدرولیکی ۱و ۰/۱۵ متر بر روز) گزارش گردید (۱۷). در تحقیق دیگری با به‌کار بردن لوله زهکش بدون پوشش (لوله PVC با ۸ ردیف سوراخ و با مجموع مساحت باز ۲۵۰۰ میلی‌مترمربع در هر متر طول لوله) در مخزن خاک مقدار ضریب مقاومت ورودی ۰/۳۰ و با به‌کاربردن پوشش مصنوعی ۰/۰۵۵ تعیین شد (۱۴). به‌طورکلی در این تحقیق مقدار α در همه بارهای آبی در دو نوع پوشش گراولی و مصنوعی در حالت

همگام مقادیرکمتری نسبت به سایر تحقیقات داشت که می‌تواند به‌دلیل تفاوت در بافت خاک، لوله و پوشش باشد.

نسبت گرادیان (GR)

درحالت همگام در بارهای آبی ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر نسبت گرادیان (معادله ۴) در پوشش گراولی به‌ترتیب ۱/۵۴، ۱/۷۵ و ۱۳/۹ و درپوشش مصنوعی به‌ترتیب ۱/۸، ۱/۸ و ۱۶/۲ به‌دست آمد. به‌طورکلی وقتی GR > ۳ باشد، پوشش زمین‌بافت برای خاک مربوطه مناسب نمی‌باشد. بنابراین طبق این معیار پوشش زمین‌بافت در بارفشاری ۱۰۵ سانتی‌متر برای خاک این پژوهش (سیلتی لوم) مناسب نیست.

به‌طورکلی نسبت گرادیان در پوشش مصنوعی بیشتر از گراولی بوده و این تفاوت در بارفشاری غرقاب بارزتر می‌باشد. در هر دو پوشش نسبت گرادیان در بارهای آبی ۵۵ و ۷۵ سانتی‌متر تقریباً برابر بوده ولی در بارفشاری ۱۰۵ سانتی‌متر به‌میزان قابل توجهی افزایش یافته است که این افزایش در بارفشاری ۱۰۵ سانتی‌متر نسبت به ۷۵ سانتی‌متر در پوشش مصنوعی ۸ برابر و در پوشش گراولی۶/۹ برابر می‌باشد. بیشتربودن این پارامتر در پوشش مصنوعی به‌دلیل بیشتربودن تغییرات ساختار فیلتر و کمتربودن مجموع افت‌های بارفشاری ایجادشده توسط این پوشش در خاک است که درمخرج معادله مربوط به‌نسبت گرادیان آورده شده است.

نتیجه‌گیری

در هر سه بارفشاری به‌خصوص درحالت غرقاب، میزان دبی خروجی از لوله زهکش با پوشش گراولی به‌مقدار قابل ملاحظه‌ای بیشتر از لوله با پوشش مصنوعی بوده‌است که این امر موجب تخلیه سریع‌تر نیم‌رخ خاک می‌شود. دبی در بارهای فشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر در پوشش گراولی به‌ترتیب ۲/۸۹، ۲/۷۲ و۹/۹۷ برابر پوشش مصنوعی بود. بنابراین قابلیت تخلیه آب از خاک در زهکش‌های دارای پوشش گراولی به‌مراتب از زهکش‌های دارای پوشش مصنوعی بیشتر بود. نتایج نشان داد که با افزایش بارفشاری به ۱۰۵ سانتی‌متر (غرقاب) رفتار متفاوتی در مقادیر افت‌های بارفشاری در دو پوشش و نسبت به دو بارفشاری دیگر (۵۵ و ۷۵ سانتی‌متر) رخ داده که در افت بارفشاری عمودی و افقی و شعاعی موجب کاهش و در افت بارفشاری ورودی لوله و پوشش موجب افزایش آنها نسبت به بارفشاری ۷۵ سانتی‌متر شد. در هر سه بارفشاری، مقاومت ورودی لوله و پوشش زهکشی در پوشش مصنوعی بیشتر از پوشش گراولی (به‌خصوص در حالت غرقاب به‌میزان ۹/۴۸ برابر) است و رفتار متفاوت درحالت غرقاب دراین مورد نیز مشاهده‌شد که در پوشش گراولی موجب کاهش زیاد (۴۷/۵٪) نسبت به بارفشاری ۷۵ سانتی‌متر گردید. هدایت هیدرولیکی پوشش در بارهای‌فشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر در پوشش گراولی به‌ترتیب ۱۷/۳، ۱۴/۰ و ۲۴/۶ برابر پوشش مصنوعی بوده و نسبت گرادیان در این بارهای‌فشاری در پوشش گراولی به‌ترتیب ۱۴/۴، ۲/۸ و ۱۴/۲ درصد کمتر از پوشش مصنوعی بود. بنابراین یکی از اهداف اصلی پوشش که سهولت حرکت آب به‌سمت زهکش‌ها می‌باشد توسط پوشش گراولی خیلی بهتر از پوشش مصنوعی تأمین‌شد که این امر می‌تواند به‌دلیل اثر منفی افزایش فشار ستون خاک روی لوله و پوشش زهکش برروی ضخامت، اندازه روزنه‌ها و هدایت هیدرولیکی پوشش مصنوعی باشد. به‌طورکلی با توجه به بیشتربودن دبی تخلیه زهکش‌ها، کمتربودن مقاومت ورودی لوله و پوشش، بیشتربودن هدایت هیدرولیکی وکمتربودن نسبت گرادیان در پوشش گراولی این پوشش عملکرد بهتری در خاک منطقه با بافت سیلتی لوم داشت. نتایج نشان داد که اگرچه پوشش مصنوعی به‌کار برده شده تخلیه آب از نیم‌رخ خاک را انجام می‌دهد ولی به‌دلیل این‌که این‌کار را ضعیف‌تر از پوشش گراولی انجام داده است، درنتیجه درمواقعی که نیاز باشد سطح آب به سرعت پایین آورده‌شود این پوشش توانایی لازم را برای کاهش سریع سطح ایستابی ندارد.

منابع مورد استفاده

۱. ارواحی، ع. و ع. ل. ناصری. ۱۳۸٦. ارزیابی فنی و اقتصادی کاربرد فیلترهای مصنوعی در سیستم زهکشی زیرزمینی و مقایسه آن با فیلترهای متداول شن و ماسه در نخیلات آبادان. مجله علوم کشاورزی ایران (۳)۳۸ : ۳۸۳-۳۷۳.

۲. حسن اقلی، ع. و ع. لیاقت.۱۳۸۳. کاربرد پوشش‌های زمین بافت در زهکشی. سومین کارگاه فنی زهکشی. تهران. ۲۳ مهر ۱۳۸۳.

۳. کیخا، م. ۱۳۷۷. کاربرد مصالح شنی سنگریزه‌ای و مواد زمین بافت به‌عنوان پوشش زهکش زیرزمینی شبکه زهکشی سیستان و معرفی پوشش مناسب زهکش. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبیاری و زهکشی،دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۴. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۸۳. *مواد ومصالح سامانه‌های زهکشی زیرزمینی*. چاپ اول، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی، تهران.

۵. مقصودیان، م. ۱۳۸۸. مطالعه عددی کاربرد ژئوتکستایل در ناحیه فیلتر پایین‌دست سدهای خاکی با هسته رسی. زهکش. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد ژئوتکنیک، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

٦. مهدی نژادیانی، ب. ۱۳۸۵. ارزیابی آزمایشگاهی کاربرد پوشش مصنوعی در زهکش‌های زیرزمینی و مقایسه آن با پوشش معدنی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

7. Annbhave, P. and K. Basudhar. 2010. Modeling of soil-woven geotextile interface behavior from direct shear test results. J. of Geotext. and Geomem. 5: 403-408

8. Bishay, B. G., W. Dierickx and M. F. De Boodt. 1975. Conditioned sandy soils as an envelope to prevent Silting-up in drain tubes. J. of Agric. Eng. Res. 20: 139-148.

9. Dennis, C. W. and B. D. Tafford. 1976. The effect of permeable surrounds on the performance of clay field drainage pipe. J. of Hydrol. 24: 239-277.

10. Fernando, F., A. Junqeira., R. Silvab., E. Palmeira and M. Gardoni. 2006. Performance of drainage system incorporating synthetic and their effect on leachate properties. Geotex. and Geomem. 3(2):120-127.

11. Palmeira, E. M. and G. Gardoni. 2002. Drainage and filtration properties of non-woven geotextiles under confinement using different experimental techniques. J. of Geotext. and Geomem. 20: 97-115.

12. Raval, A. and R. Anadjiwala. 2007. Comparative study between needle punched nonwoven geotextile structure made from flax and polyester fibers. J. of Geotext. and Geomem. 4: 61-65.

13. Raisinghani, B. V. and S. Viswanadham. 2010. Evaluation of permeability characteristic of agrosynthetic reinforced soil through laboratory tests. Geotex. and Geomem. 20: 115-125.

14. Sekender, M. A. 1984. Entrance resistance of enveloped drainage pipes. Bangladesh Agric. Water Manag. l8: 351-360.

15. Subaida, E. A., S. Chandrakaran and N. Sankar. 2008. Experimental investigations on tensile and pullout behavior of woven coir geotextiles. J. of Geotext. and Geomem. 26(5):384-392.

16. Wesseling, J. and C. L. Van Someren. 1972. Provisional report of the experience gained in the Netherlands. In: Drainage materials. FAO Irrigation and Drainage paper 9. Rome 55-84.

17. Zuidema, F. C. and F. C. Scholten. 1979. Model tests on drainage materials. Proc. Int. Drain. Workshop, ed. J. Wesseling. ILRI, Wageningen, Netherlands.