

## بررسی عملکرد پوشش‌های گراولی و مصنوعی در زهکش‌های زیرزمینی

مسعود نوشادی\*، مهسا جمال‌دینی و علی‌رضا سپاس‌خواه<sup>۱</sup>

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

### چکیده

در این تحقیق، عملکرد دو نوع پوشش مصنوعی  $PP_{۴۵}$ ، تولیدی در داخل کشور و پوشش گراولی دانه‌بندی شده با استاندارد U.S.B.R در خاک سیلتی لوم در سه بار فشاری 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 به ترتیب ۱۸۸/۹، ۱۷۲/۰ و ۸۹۷/۰ درصد بیشتر از پوشش مصنوعی به دست آمد. هدایت هیدرولیکی پوشش گراولی در بارهای آبی ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر به ترتیب ۱۴/۱۷، ۰/۳ و ۲۴/۶ برابر پوشش مصنوعی بوده و نسبت گرادیان در این بارهای آبی در پوشش گراولی به ترتیب ۱۴/۴، ۲/۸ و ۱۴/۲٪ کمتر از پوشش مصنوعی بود. همچنین در هدایت هیدرولیکی، مقاومت ورودی لوله و پوشش در بار فشاری ۱۰۵ سانتی‌متر که حالت غرقاب است نسبت به دو بار فشاری ۵۵ و ۷۵ سانتی‌متر در هر دو پوشش رفتار متفاوتی مشاهده شد. به‌طور کلی براساس پارامترهای اندازه‌گیری شده پوشش گراولی عملکرد بهتری داشت.

کلمات کلیدی: بار فشاری، نسبت گرادیان، مقاومت ورودی، مخزن خاک، زهکشی

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

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

## مقدمه

زهکشی عملی است که طی آن آب و املاح اضافی از زمین خارج می‌شود تا شرایط مناسب به منظور 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 ماده مصنوعی 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 طراحی شده 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 سه پوشش 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 در صورت 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 بدون پوشش زهکشی و با شش پوشش مختلف مصنوعی بافته نشده در مخزن خاک نشان داد که در لوله زهکشی بدون کاربرد پوشش، مقاومت ورودی به‌میزان ۱۳۶٪ 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 در صورت 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 بر روی پوشش مصنوعی بیشتر شود، ضخامت، اندازه روزنه‌ها و نفوذپذیری کاهش می‌یابد (۱۱). بررسی خواص ۱۵ پوشش زمین‌بافت بافته نشده ساخته شده از الیاف پلی‌استر در مقایسه با همین تعداد پوشش زمین‌بافت تولید شده از الیاف کتان نشان داد که تنوع و گوناگونی در طول الیاف‌کتان منجر به کاهش مقاومت کششی و تنوع در اندازه منافذ پوشش ساخته شده از این الیاف می‌گردد. البته

مصنوعی پلی‌پروپیلین با شاخص منافذ ۷۰۰ و فیلتر مصنوعی پلی‌پروپیلین با شاخص منافذ ۴۵۰ میکرون بررسی و ارزیابی فنی و اقتصادی شد. در این تحقیق چهار گزینه به ترتیب اولویت ذیل پیشنهاد شد: الف) اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی توسط ترنچر و لوله به همراه فیلتر مصنوعی پلی‌پروپیلین ۴۵۰ (تولید داخل)، ب) اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی توسط ترنچر و لوله به همراه فیلتر مصنوعی پلی‌پروپیلین ۴۵۰ (وارداتی)، ج) اجرای سیستم زهکشی 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 به ترتیب 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 به ترتیب 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 در خصوص استفاده از

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 به کار برده شده در پوشش زمین‌بافت می‌توان نقاط ضعف این نوع پوشش‌ها را در مقایسه با پوشش زمین‌بافت ساخته شده از پلی‌استر برطرف ساخت (۱۲). نتیجه بررسی احتمال گرفتگی بیولوژیکی پوشش‌های زمین‌بافت و معدنی به منظور فیلتر کردن رسوبات فاضلاب کشاورزی در یک دوره پنج ساله نشان داد که هر دو پوشش بر روی کیفیت آب خروجی تأثیر می‌گذارند و پوشش‌های مصنوعی زمین‌بافت از لحاظ 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 بر روی 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 به کار رفته در ساخت 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 بر روی 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 بررسی شد و پس از تحلیل داده‌ها یک مدل غیرخطی برای پیش‌بینی پدیده‌های به‌وقوع پیوسته ارائه گردید. در یک 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

داده شد. به منظور بررسی نوسانات سطح ایستابی در اطراف زهکش‌ها از لوله‌های PVC به قطر یک‌اینچ به‌عنوان پیرومتر 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 بهتر خاک 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 زمین‌یافت، 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 به فاصله 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 پیرومترها اندازه‌گیری شد.

به‌منظور به‌دست آوردن هدایت هیدرولیکی در هر بار فشاری و برای هر کدام از پوشش‌ها، رابطه داری به‌صورت زیر به‌کار برده شد:

$$Q = K \times i \times A \quad [1]$$

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 پیرومترهای 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

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 PP450)، تولیدی در داخل کشور) و پوشش گراولی (مطابق با استاندارد U.S.B.R) در یک خاک سیلتی لوم در سه بار فشاری 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 ۱۵۵ سانتی‌متر 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 هر کدام از این دو مخزن یک عدد شیر یک‌اینچی 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 ایستابی 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 (۷۵ و ۵۵ سانتی‌متر) برای وقتی که 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 پیرومترها 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. بر روی خروجی لوله زهکش یک عدد شیر ۲ اینچی قرار

جدول ۱. مشخصات خاک مورد مطالعه

EC <sub>w</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	EC <sub>e</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	نسبت جذبی سدیم (SAR)	شاخص خمیرایی (%)	هدایت هیدرولیکی اشباع (m day <sup>-1</sup> )	چگالی ظاهری (g cm <sup>-3</sup> )	بافت خاک سیلتی لوم
۰/۷	۱	۱/۷	۱۶/۷	۰/۴	۱/۵	

جدول ۲: مقادیر افت بارفشاری عمودی، افقی و شعاعی و ورودی لوله و پوشش در حالت همگام و در سه بارفشاری

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

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 افت های بارفشاری عمودی، افقی، شعاعی، ورودی و افت بارفشاری مربوط به پوشش به فاصله از وسط لوله زهکش تا آخرین پیژومتر حاصل شده و  $i_s$  از مجموع افت های بار فشاری عمودی، افقی و شعاعی تقسیم بر فاصله از اولین پیژومتر در نزدیک دیواره تا پیژومتر نصب شده در قبل از پوشش به دست آمده است.

نتایج منحنی دانه بندی خاک که با استفاده از دستگاه مسترسایزر تهیه گردید به همراه یک سری از مشخصات فیزیکی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ و شکل ۲ نشان داده شده است. براساس منحنی دانه بندی خاک، پوشش گراولی مناسب از روش U.S.B.R تعیین گردید (شکل ۲). برای رسیدن به دانه بندی مناسب پوشش، اندازه های مختلف از شن و ماسه با

دبی خروجی از زهکش نیز در هر بارفشاری اندازه گیری شد. برای محاسبه افت بارفشاری ورودی به لوله های زهکشی از معادله زیر استفاده گردید:

$$h_{e,f} = \frac{q}{K} \times q \quad [۲]$$

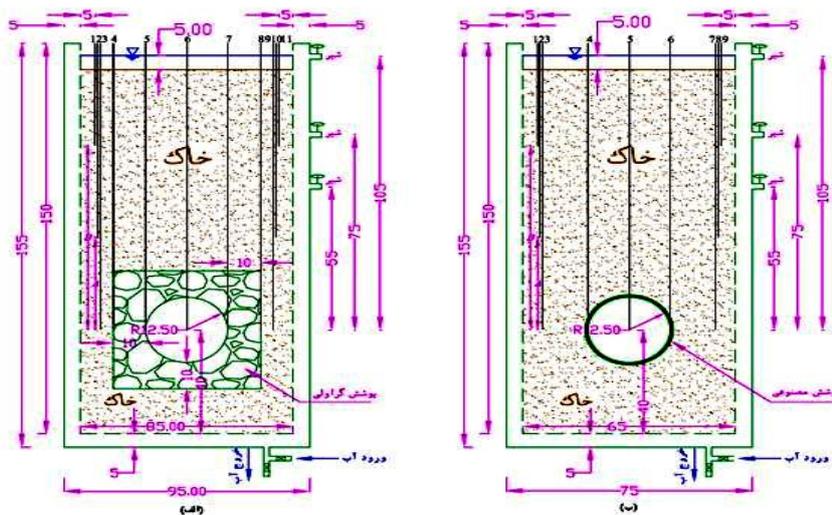
یا

$$= W \times K \quad [۳]$$

در این معادله ها:  $h_{e,f}$ : افت بارفشاری ورودی لوله و پوشش (متر)،  $K$ : 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) می باشد.

برای محاسبه نسبت گرادیان (Gradient Ratio) در پوشش ها (که بیان گر گرفتگی معدنی پوشش اطراف زهکش می باشد) از معادله زیر استفاده شد:

$$GR = \frac{i_{es}}{i_s} \quad [۴]$$

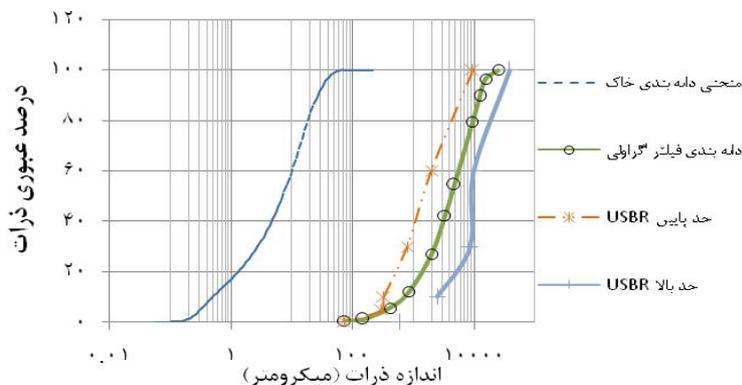


B (cm)	A (cm)	بار آبی (cm)
۳۳	۳۳	۱۰۵ (غزلاب)
۲۵	۲۵	۷۵
۱۶٫۵	۱۶٫۵	۵۵

شکل ۱. 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

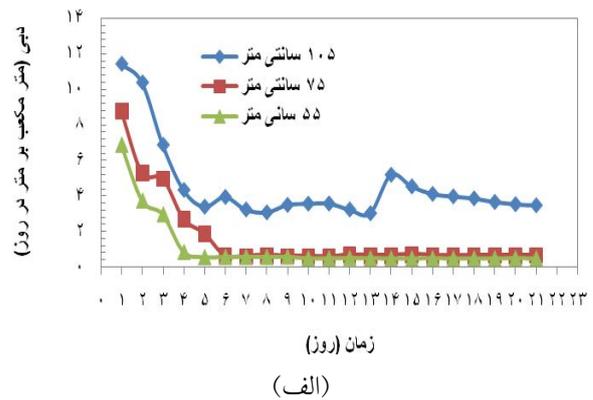
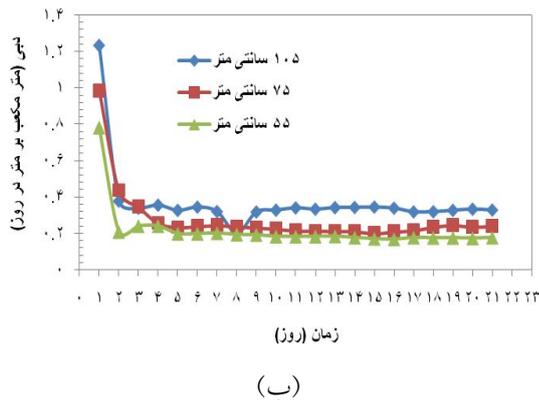


شکل ۲. منحنی دانه بندی خاک، حد بالا و پایین پوشش گراولی و پوشش گراولی مناسب

شده از الیاف (Polypropylene) PP هستند که دارای  $O_9$  (قطری که ۹۰٪ ذرات از آن کوچکترند) ۴۵۰ میکرومتر بوده 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 میلی متر است. خواص مکانیکی الیاف به کار رفته در فیلتر به ترتیبی بوده که در

یکدیگر ترکیب شد و پس از رسم منحنی های دانه بندی مناسب ترین آن انتخاب گردید که نتیجه آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

پوشش PP450 یک پوشش PLM (Prewrapped loose materials) می باشد که از رشته نخ های به هم پیوسته و حجیم ساخته شده است. این رشته ها ضایعات تولید فرش های بافته



شکل ۳. تغییرات دبی خروجی از زهکش نسبت به زمان در سه بارفشاری مختلف: الف) پوشش گراولی، ب) پوشش مصنوعی

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 گراولی در سه بارفشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر به ترتیب ۲/۹، ۲/۷ و ۱۰/۰ برابر پوشش مصنوعی بود.

#### افت بارفشاری

افت بارفشاری عمودی با استفاده از پیژومترهای نصب شده در مخازن که در کنار دو جداره بین دو پیژومتر نصب شده در عمق زهکش و در عمق سطح ایستابی به دست 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 به ترتیب 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 به ترتیب ۳ سانتی‌متر (۶۰٪)، ۲/۵ سانتی‌متر

دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد باعث تغییر شکل الیاف نشود و مقاومت به پارگی و استحکام الیاف ضخیم به کار 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 به ترتیب ۶/۹۱، ۸/۷۷ و ۱۱/۴۶ مترمکعب بر روز در متر و در پوشش مصنوعی به ترتیب ۰/۷۸، ۰/۹۹ و ۱/۲۳ مترمکعب بر روز در متر بوده است. ولی این دبی در طول حدود چهار روز به شدت کاهش یافته و سپس با یک سری نوسانات اندک ثابت گشته و به حالت پایدار (همگام) رسیده است. دبی در حالت همگام در پوشش گراولی در سه بارفشاری فوق به ترتیب ۰/۵۲، ۰/۶۸ و ۳/۲۹ مترمکعب بر روز در متر و در پوشش مصنوعی به ترتیب ۰/۱۸، ۰/۲۵ و ۰/۳۳ مترمکعب بر روز در متر بود. کاهش دبی خروجی در چهار روز اول آزمایش به دلیل رسیدن به حالت همگام است و بعد از آن نوسانات مشاهده شده به دلیل 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 به ترتیب ۳۰/۸ و ۳۸/۹ درصد افزایش

جدول ۳. مقاومت ورودی لوله و پوشش (روز بر متر) و افت بارفشاری کل (سانتی متر) در حالت همگام در سه بارفشاری

بارفشاری (سانتی متر)	پوشش گراولی		پوشش مصنوعی	
	مقاومت ورودی لوله و پوشش (روز بر متر)	افت بارفشاری کل (سانتی متر)	مقاومت ورودی لوله و پوشش (روز بر متر)	افت بارفشاری کل (سانتی متر)
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 سانتی متر (۷۹٪) کمتر از پوشش مصنوعی بود. لازم به ذکر است که افت بارفشاری عمودی بیشتر از این که تحت اثر پوشش و لوله زهکشی باشد از خصوصیات خاک تأثیر می پذیرد. با افزایش بارفشاری به ۱۰۵ سانتی متر و حالت غرقاب (درحالی که ۵ سانتی متر آب روی سطح خاک قرار می گیرد) این افت در هر دو مخزن کاهش یافت چون در این حالت فضاهای بازی در ستون خاک به دلیل جابه جایی ذرات خاک ایجاد شد که باعث افزایش هدایت هیدرولیکی و کاهش افت گردید. به دلیل کوچک بودن ابعاد دو مخزن و ناچیز بودن محدوده جریان افقی، افت بارفشاری افقی و شعاعی به صورت توأم توسط پیژومترها به دست آمد (جدول ۲). با افزایش بارفشاری از ۵۵ به ۷۵ سانتی متر در پوشش گراولی مجموع افت بارفشاری افقی و شعاعی ۸/۸٪ کم شد و در پوشش مصنوعی ۳۶/۹٪ زیاد گردید. در بارفشاری ۱۰۵ سانتی متر نسبت به بارفشاری ۷۵ سانتی متر در هر دو پوشش گراولی و مصنوعی افت بارفشاری افقی و شعاعی به ترتیب ۷۸/۰ و ۹۳/۶ درصد کاهش یافت که به دلیل زیاد شدن هدایت هیدرولیکی خاک در حالت غرقاب بود. به طور کلی این افت در مخزن در پوشش گراولی نسبت به پوشش مصنوعی بیشتر بود که به دلیل تخلیه بیشتر آب در پوشش گراولی نسبت به پوشش مصنوعی می باشد. تفاوت افت های بارفشاری افقی و شعاعی در دو نوع پوشش گراولی و مصنوعی در بارهای فشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی متر به ترتیب ۱۴/۶ (۱۰۵/۸٪)، ۷/۰۰ (۳۷/۰۴٪) و ۴/۵ (۳۷۵٪) سانتی متر بود.

از مجموع افت های بارفشاری به دست آمده افت بارفشاری کل محاسبه گردید که در پوشش گراولی در سه بارفشاری و در حالت همگام بیشتر از پوشش مصنوعی بود که به دلیل تأثیر مثبت پوشش گراولی در تخلیه بیشتر آب از خاک می باشد (جدول ۳). برای به دست آوردن افت بارفشاری ورودی لوله و پوشش از پیژومترهای نصب شده در داخل لوله زهکش و بیرون آن قبل از پوشش استفاده شد. به دلیل نازک بودن پوشش مصنوعی امکان نصب پیژومتر در بین پوشش و لوله زهکش وجود نداشت، از این رو برای یکسان شدن شرایط مقایسه در پوشش گراولی نیز پیژومتر داخل لوله زهکش با پیژومتر قبل از پوشش مقایسه شد. بنابراین تفاضل بارفشاری پیژومترها در مخازن با پوشش مصنوعی و گراولی، افت بارفشاری مربوط به پوشش را نیز به همراه دارد. مقادیر مجموع افت بارفشاری ورودی و پوشش در سه بارفشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی متر در پوشش گراولی به ترتیب ۱۷/۷، ۲۷ و ۷۷ سانتی متر و در پوشش مصنوعی به ترتیب ۱۷/۴، ۲۱/۶ و ۶۸ سانتی متر بودند (جدول ۲). با افزایش بارفشاری از ۵۵ تا ۷۵ و ۱۰۵ سانتی متر 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 سانتی متر به ترتیب مقادیر افت بارفشاری ورودی و پوشش به مقدار ۵۲/۵ و ۱۸۵/۲ درصد افزایش یافت و در پوشش مصنوعی به ترتیب ۲۴/۱ و ۲۱۴/۸ درصد افزایش وجود داشت که در این مورد نیز بین بارهای فشاری آبی ۱۰۵ سانتی متر و دو بارفشاری دیگر

۰/۲۱ و ۱/۲۸ متر بر روز به دست آمد که در دو بارفشاری ۵۵ و ۷۵ سانتی‌متر تقریباً یکسان هستند. به عبارت دیگر در بارفشاری ۵۵ و ۷۵ سانتی‌متر در پوشش گراولی گرفتگی بیشتر از حالت غرقاب (بارفشاری ۱۰۵ سانتی‌متر) بوده که به دلیل شستشوی پوشش در بارفشاری بالا می‌باشد. بنابراین در بارهای آبی ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر هدایت هیدرولیکی در پوشش گراولی به ترتیب 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 به سمت زهکش‌ها می‌باشد به مراتب بهتر از پوشش مصنوعی تأمین کرده است.

#### فاکتور هندسی مقاومت ورودی لوله و پوشش ( )

ضریب (معادلات ۳ و ۴) در حالت همگام برای سه بارفشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر در پوشش گراولی به ترتیب ۰/۰۷۴۸، ۰/۰۸۴۰ و ۰/۲۶۹ و برای پوشش مصنوعی به ترتیب ۰/۰۱۲، ۰/۰۱۳ و ۰/۰۱۱ به دست آمد. در پوشش گراولی مقاومت ورودی از پوشش مصنوعی کمتر بود ولی چون هدایت هیدرولیکی پوشش گراولی به مراتب بیشتر از پوشش مصنوعی است در نتیجه 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 ۰/۸۲ و برای شن با هدایت هیدرولیکی ۰/۰۷ متر بر روز، ۰/۸۱ به دست آمد (۱۶). در یک بررسی دیگر این ضریب در لوله بدون پوشش بین ۰/۳۱ تا ۰/۳۷ (به ترتیب برای هدایت هیدرولیکی او ۰/۱۵ متر بر روز) گزارش گردید (۱۷). در تحقیق دیگری با به کار بردن لوله زهکش بدون پوشش (لوله PVC با ۸ ردیف سوراخ و با مجموع مساحت باز ۲۵۰۰ میلی‌متر مربع در هر متر طول لوله) در مخزن خاک مقدار ضریب مقاومت ورودی ۰/۳۰ و با به کار بردن پوشش مصنوعی ۰/۰۵۵ تعیین شد (۱۴). به طور کلی در این تحقیق مقدار در همه بارهای آبی در دو نوع پوشش گراولی و مصنوعی در حالت

اختلاف زیادی دیده شد. دلیل بیشتر بودن افت بارفشاری ورودی و پوشش در پوشش گراولی زیادتر بودن دبی خروجی از آن نسبت به پوشش مصنوعی است. بنابراین بهتر است به جای افت بارفشاری ورودی و پوشش، مقاومت ورودی و پوشش را طبق معادله (۵) محاسبه نمود.

$$w = \frac{n_2 - n_1}{q} \quad [5]$$

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 به ترتیب ۰/۶۶، ۰/۵۵/۵ و ۰/۹۰/۴ کمتر از پوشش مصنوعی بود. در پوشش گراولی مقاومت ورودی لوله و پوشش در بارفشاری ۵۵ تا ۷۵ سانتی‌متر ۰/۱۷/۶ افزایش و در بارفشاری ۱۰۵ سانتی‌متر نسبت به بارفشاری ۷۵ سانتی‌متر ۰/۴۷/۵ کاهش یافت. مقاومت ورودی و پوشش در پوشش مصنوعی در بارفشاری ۵۵ تا ۷۵ سانتی‌متر ۰/۱۰ کاهش یافت و در بارفشاری ۱۰۵ نسبت به بارفشاری ۷۵ سانتی‌متر ۰/۱۴۴/۴ 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 به حالت همگام رسید تقریباً ثابت شد. در پوشش مصنوعی این نوسانات بسیار کمتر از پوشش گراولی می‌باشد.

هدایت هیدرولیکی در حالت همگام در پوشش مصنوعی برای سه بارفشاری ۵۵، ۷۵ و ۱۰۵ سانتی‌متر به ترتیب ۰/۱/۲، ۰/۱/۴ و ۰/۵ سانتی‌متر بر روز به دست 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 به ترتیب ۰/۲۲،

همگام مقادیر کمتری نسبت به سایر تحقیقات داشت که می تواند به دلیل تفاوت در بافت خاک، لوله و پوشش باشد.

### نسبت گرادیان (GR)

در حالت همگام در بارهای آبی ۷۵، ۵۵ و ۱۰۵ سانتی متر نسبت گرادیان (معادله ۴) در پوشش گراولی به ترتیب ۱/۷۵، ۱/۵۴ و ۱۳/۹ و در پوشش مصنوعی به ترتیب ۱/۸، ۱/۸ و ۱۶/۲ به دست آمد. به طور کلی وقتی  $GR > 3$  باشد، پوشش زمین بافت برای خاک مربوطه مناسب نمی باشد. بنابراین طبق این معیار پوشش زمین بافت در بار فشاری ۱۰۵ سانتی متر برای خاک این پژوهش (سیلتی لوم) مناسب نیست.

به طور کلی نسبت گرادیان در پوشش مصنوعی بیشتر از گراولی بوده و این تفاوت در بار فشاری غرقاب بارزتر می باشد. در هر دو پوشش نسبت گرادیان در بارهای آبی ۷۵ و ۵۵ سانتی متر تقریباً برابر بوده ولی در بار فشاری ۱۰۵ سانتی متر به میزان قابل توجهی افزایش یافته است که این افزایش در بار فشاری ۱۰۵ سانتی متر نسبت به ۷۵ سانتی متر در پوشش مصنوعی ۸ برابر و در پوشش گراولی ۶/۹ برابر می باشد. بیشتر بودن این پارامتر در پوشش مصنوعی به دلیل بیشتر بودن تغییرات ساختار فیلتر و کمتر بودن مجموع افت های بار فشاری ایجاد شده توسط این پوشش در خاک است که در مخرج معادله مربوط به نسبت گرادیان آورده شده است.

### نتیجه گیری

در هر سه بار فشاری به خصوص در حالت غرقاب، میزان دبی خروجی از لوله زهکش با پوشش گراولی به مقدار قابل ملاحظه ای بیشتر از لوله با پوشش مصنوعی بوده است که این امر موجب تخلیه سریع تر نیم رخ خاک می شود. دبی در بارهای فشاری ۷۵، ۵۵ و ۱۰۵ سانتی متر در پوشش گراولی به ترتیب ۲/۸۹، ۲/۷۲ و ۹/۹۷ برابر پوشش مصنوعی بود. بنابراین قابلیت تخلیه آب از خاک در زهکش های دارای پوشش گراولی

به مراتب از زهکش های دارای پوشش مصنوعی بیشتر بود. نتایج نشان داد که با افزایش بار فشاری به ۱۰۵ سانتی متر (غرقاب) رفتار متفاوتی در مقادیر افت های بار فشاری در دو پوشش و نسبت به دو بار فشاری دیگر (۷۵ و ۵۵ سانتی متر) رخ داده که در افت بار فشاری عمودی و افقی و شعاعی موجب کاهش و در افت بار فشاری ورودی لوله و پوشش موجب افزایش آنها نسبت به بار فشاری ۷۵ سانتی متر شد. در هر سه بار فشاری، مقاومت ورودی لوله و پوشش زهکشی در پوشش مصنوعی بیشتر از پوشش گراولی (به خصوص در حالت غرقاب به میزان ۹/۴۸ برابر) است و رفتار متفاوت در حالت غرقاب در این مورد نیز مشاهده شد که در پوشش گراولی موجب کاهش زیاد (۱/۴۷/۵) نسبت به بار فشاری ۷۵ سانتی متر گردید. هدایت هیدرولیکی پوشش در بارهای فشاری ۷۵، ۵۵ و ۱۰۵ سانتی متر در پوشش گراولی به ترتیب ۱۷/۳، ۱۴/۰ و ۲۴/۶ برابر پوشش مصنوعی بوده و نسبت گرادیان در این بارهای فشاری در پوشش گراولی به ترتیب ۱۴/۴، ۲/۸ و ۱۴/۲ درصد کمتر از پوشش مصنوعی بود. بنابراین یکی از اهداف اصلی پوشش که سهولت حرکت آب به سمت زهکش ها می باشد توسط پوشش گراولی خیلی بهتر از پوشش مصنوعی تأمین شد که این امر می تواند به دلیل اثر منفی افزایش فشار ستون خاک روی لوله و پوشش زهکش بر روی ضخامت، اندازه روزه ها و هدایت هیدرولیکی پوشش مصنوعی باشد. به طور کلی با توجه به بیشتر بودن دبی تخلیه زهکش ها، کمتر بودن مقاومت ورودی لوله و پوشش، بیشتر بودن هدایت هیدرولیکی و کمتر بودن نسبت گرادیان در پوشش گراولی این پوشش عملکرد بهتری در خاک منطقه با بافت سیلتی لوم داشت. نتایج نشان داد که اگرچه پوشش مصنوعی به کار برده شده تخلیه آب از نیم رخ خاک را انجام می دهد ولی به دلیل این که این کار را ضعیف تر از پوشش گراولی انجام داده است، در نتیجه در مواقعی که نیاز باشد سطح آب به سرعت پایین آورده شود این پوشش توانایی لازم را برای کاهش سریع سطح ایستابی ندارد.

## منابع مورد استفاده

۱. ارواحی، ع. و ع. ل. نصری. ۱۳۸۶. 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): 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 کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۴. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۸۳. *مواد و مصالح سامانه‌های زهکشی زیرزمینی*. چاپ اول، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی، تهران.
۵. مقصودیان، م. ۱۳۸۸. مطالعه عددی کاربرد ژئوتکستایل در ناحیه فیلتر پایین دست سدهای خاکی با هسته رسی. زهکش. پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
۶. مهدی نژادیانی، ب. ۱۳۸۵. ارزیابی آزمایشگاهی کاربرد پوشش مصنوعی در زهکش‌های زیرزمینی و مقایسه آن با پوشش معدنی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد 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. Junqueira., 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.* 18: 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.