

ارزیابی سه نوع پوشش-زهکش ژئوکمپوزیت در یک مدل آزمایشگاهی

میترا زهتابیان، مهدی قبادی نیا^{۱*} و علیرضا حسن اقلی

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه شهرکرد.

zehtabianmitra@gmail.com

استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهرکرد.

mahdi.ghobadi@gmail.com

عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

arho49@yahoo.com

چکیده

در دهه اخیر استفاده از انواع مواد ژئوسنتتیک با اهداف گوناگون در پروژه‌های آبیاری و زهکشی، به دلیل مزایای نسبی آن‌ها گسترش یافته است. در پروژه‌های زهکشی نیز استفاده از ژئوتکستایل و PLM به جای پوشش دانه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. این پژوهش به منظور بررسی کارایی پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت به عنوان زهکشی جدید در کاهش سطح آب زیرزمینی انجام شد. به منظور شبیه‌سازی شرایط حدی در آزمایشگاه، از یک مخزن آب و خاک (حاوی ماسه)، استفاده گردید. سه پوشش-زهکش با پوشش‌های ژئوتکستایل متفاوت، زهکش لوله‌ای با پوشش دانه‌ای، زهکش لوله‌ای با پوشش ژئوتکستایل و PLM از نوع PP450 در این شرایط مورد آزمایش قرار گرفتند. سطح تماس با خاک در پوشش-زهکش‌ها و زهکش لوله‌ای باهم برابر بود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که عملکرد پوشش-زهکش‌ها در تخلیه آب مازاد خاک و کاهش سطح ایستابی، در اکثر بارهای آبی تقریباً نزدیک به زهکش دانه‌ای بود، به گونه‌ای که در بار آبی ۱۱۰ سانتی‌متر و در مرکز زهکش، افت پروفیل سطح آب در پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت ۱۴/۳ درصد کمتر از زهکش با پوشش دانه‌ای بود. با افزایش فاصله افقی نسبت به زهکش، افت در پوشش-زهکش‌ها ۸/۹ درصد کمتر از زهکش با پوشش دانه‌ای شد.

واژه‌های کلیدی: زهکش‌های زیرزمینی، فیلتر، پوشش ژئوتکستایل، مقاومت ورودی.

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: شهرکرد، گروه مهندسی آب دانشگاه شهرکرد

* - دریافت: فروردین ۱۳۹۳ و پذیرش: خرداد ۱۳۹۴

مقدمه

امروزه تولید مواد و مصالحی که بتواند علاوه بر پاسخگویی به نیازهای مهندسی و در جهت رفع مشکلات موجود، از فناوری روز بهره‌مند بوده و با رعایت اولویت-های اقتصادی، قادر به حل مسایل به بهترین شیوه ممکن باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به دلیل محدودیت‌ها و مشکلات موجود برای تهیه فیلترشن و ماسه، مثل هزینه بالای تهیه فیلتر با دانه‌بندی مناسب، در دسترس نبودن مواد دانه‌ای در نزدیکی محل پروژه‌ها، مشکلات اجرایی و زیست محیطی، در سال‌های اخیر، استفاده از فیلترهای مصنوعی یا ژئوکمپوزیت‌های زهکش به عنوان جایگزین فیلترهای معدنی مطرح شده است (سیاهی و باغبان‌زاده ۱۳۸۳، دیریکس ۱۹۸۰). استفاده از ژئوستتیک‌ها و مواد مصنوعی در طرح‌های آب و خاک با استقبال و توفیق بسیاری در نقاط مختلف جهان مواجه شده است (حسن‌اقلی و لیاقت ۱۳۸۳).

در طرح‌های زهکشی، مواد سست پیش‌تافته (PLM^۲) به عنوان پوشش‌های مصنوعی به طور گسترده در زهکش‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پوشش‌ها ترکیباتی نفوذپذیر می‌باشند، که از نخ‌های در هم تابیده شده سست، الیاف، رشته یا تار و ساچمه‌های پلی-استری ریز تشکیل شده و با یک شبکه توری یا نخ، دور لوله‌های زهکشی را احاطه می‌نماید (استویت و دیریکس ۲۰۰۶). طراحی و مدل‌سازی زهکش‌های زیرزمینی به طور عمده با فرض زهکش ایده‌آل صورت می‌پذیرد و این امر بدین معنی است که مقاومت دیواره لوله و مواد اطراف زهکش در مقابل جریان آب بسیار ناچیز است (گراتین ۱۹۸۹). در زهکش واقعی، خطوط هم‌پتانسیل به صورت خارج از مرکز در می‌آیند. این امر نتیجه‌ی مقاومت ورودی و شکل هندسی دامنه‌ی جریان آب زیرزمینی می‌باشد که امکان برقراری جریان کاملاً شعاعی فراهم نمی‌شود (شیری ۱۳۸۹). مقاومت ورودی به طور کامل وابسته به لوله زهکش است و به شکل و آرایش سوراخ‌ها و

شیارهای آن بستگی دارد (ولاتمن و همکاران ۲۰۰۰). افزایش تعداد ردیف شیارها موثرترین شیوه برای کاهش مقاومت ورودی به زهکش‌های با شیارهای غیر پیوسته طولی است (اکرم و همکاران ۱۳۸۳). شیری و همکاران (۱۳۸۷)، نتایج بررسی‌ها روی تاثیر مواد پوششی بر مقاومت ورودی زهکش‌های زیرزمینی نشان می‌دهد که افزایش ضخامت پوشش‌های مصنوعی تا میزان پنج میلی-متر، سبب کاهش مقاومت ورودی می‌شود (ولاتمن و همکاران ۲۰۰۰).

بالا بودن کیفیت، سهولت اجرا و سایر مزایای مواد ژئوستتیک، استفاده از آن‌ها را به عنوان فیلتر-زهکش مطرح ساخته است (رحیمی و همکاران ۱۳۸۳). سیستم-های فیلتر-زهکش باید متشکل از یک سیستم ژئوکمپوزیت مرکب از یک یا دو لایه ژئوتکستایل (به عنوان فیلتر) در اطراف و یک لایه ژئونت یا ژئوگرید به عنوان زهکش در وسط باشد. آب تجمع یافته در اطراف فیلتر-زهکش ژئوکمپوزیت، به صورت عمود بر صفحه-های ژئوتکستایل وارد زهکش ژئونت شده و در جهت طولی آن از محیط خارج می‌شود (رحیمی و همکاران ۱۳۸۳). برای افزایش ظرفیت زهکشی باید زهکش ژئوستتیک دارای فیلتر سخت و هسته‌ی قوی بوده و کانال‌های بزرگ با سطح مقطع مربعی شکل داشته باشد (چای و همکاران، ۲۰۰۴).

مک کین و اینوی (۲۰۰۱)، مطالعات گسترده‌ای را روی عملکرد درازمدت ژئوکمپوزیت‌ها به عنوان زهکش جاده‌ای و زهکش عمودی پشت دیوارهای حایل انجام دادند و نتایج آن‌ها حاکی از عملکرد کاملاً رضایت-بخش این زهکش‌ها بود. چانگ و همکاران (۱۹۹۶)، تخلیه آب زیرزمینی توسط زهکش‌های ژئوکمپوزیت قرار گرفته در زیر پایه‌های یک ساختمان در یک منطقه با سطح آب زیرزمینی بالا را به مدت سه سال بررسی کردند. داده-های پیرومتری نشان داد که زهکش ژئوکمپوزیت، فشار آب منفذی را تا ۵۰ درصد نسبت به مناطق زهکشی نشده

شده برای مدل فیزیکی ۶۰ سانتی‌متر بود (ولاتمن و همکاران ۲۰۰۰) که در این مدل ۱۲۰ سانتی‌متر انتخاب شد. به منظور تأمین آب مورد نیاز برای ایجاد سطح ایستابی در تراز دلخواه، به فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متر از دیواره‌های جانبی مخازنی مشابه در دو طرف مدل تعبیه شد که دیواره‌های داخلی مخزن مشبک بود. لوله‌ی زهکش در این مدل، در ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری از کف مدل و با شیب تقریباً برابر صفر در جهت عرض مدل قرار می‌گرفت. از آن‌جا که هدف اصلی این پژوهش بررسی پروفیل سطح آب در اطراف لوله‌ی زهکش می‌باشد، بنابراین در اطراف زهکش، پیژومترهایی برای نشان دادن بار فشاری یا سطح آب در نقاط مختلف اطراف زهکش نصب گردید.

در این مدل ۴۹ پیژومتر سطح آب را در نقاط اطراف زهکش نشان دادند. به منظور ارتباط لوله‌های پیژومتر در خارج و داخل مدل، از رابط گازی برنجی هشت میلی‌متر به عنوان لوله‌های ثابت استفاده گردید. برای جلوگیری از حرکت خاک اطراف زهکش همراه با جریان آب به داخل پیژومترها، در پشت رابط‌های گازی در قسمت داخلی مدل، توری با مش ریز نصب شد. جهت تنظیم سطح ایستابی در تراز دلخواه و برقراری جریان آب در خاک، آب از یک مخزن خارجی در کنار مدل توسط پمپ به مخازن داخلی مدل فیزیکی، پمپاژ می‌شد.

روی دیواره‌ی خارجی هر مخزن مدل فیزیکی، پیژومتری جهت مشخص شدن سطح آب داخل مخزن نصب گردید. برقراری سطح آب در ترازهای ۴۵، ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ سانتی‌متر از کف مدل فیزیکی و تثبیت سطح آب در این ترازها از طریق شیرهای موجود روی دو خروجی پمپ (ورودی به مخازن مدل) و خروجی‌های مخازن داخل مدل انجام می‌گردید. خروجی‌های مخازن داخلی در ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری از کف مدل قرار داشت.

برای ایجاد شرایط بحرانی و کاهش زمان آزمایش‌ها خاک مورد استفاده باید دارای نفوذپذیری نسبتاً بالایی باشد تا در زمان کمتری محیط اشباع شده و به

مجاور کاهش می‌دهد. رحیمی و همکاران (۱۳۸۳)، امکان کاربرد زهکش‌های مصنوعی را به عنوان فیلتر-زهکش در زیر پوشش کانال‌های انتقال آب بررسی کردند. آنها با بررسی نرم‌افزاری جریان نشت آب زیرزمینی به سمت کانال به این نکته پی بردند که تنها با نصب یک فیلتر ژئوتکستایل به ضخامت و عرض کافی در کف کانال می‌توان آب نشتی به سمت کانال را زهکشی و تخلیه نمود. بختیاری و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی کاربرد ژئوکمپوزیت به عنوان یک لایه زهکش در کف و دیواره‌های کانال‌های آبیاری پرداختند. نتایج حاصل از انجام این مطالعات که روی مدل فیزیکی و ارزیابی آن با استفاده از مدل SEEP/3D انجام شد، نشان می‌دهد که فیلتر-زهکش‌های ژئوکمپوزیت می‌توانند در صورت ملحوظ نمودن مشخصات فنی مربوط در انتخاب و طراحی، جایگزین مناسبی برای فیلترهای دانه‌ای باشد.

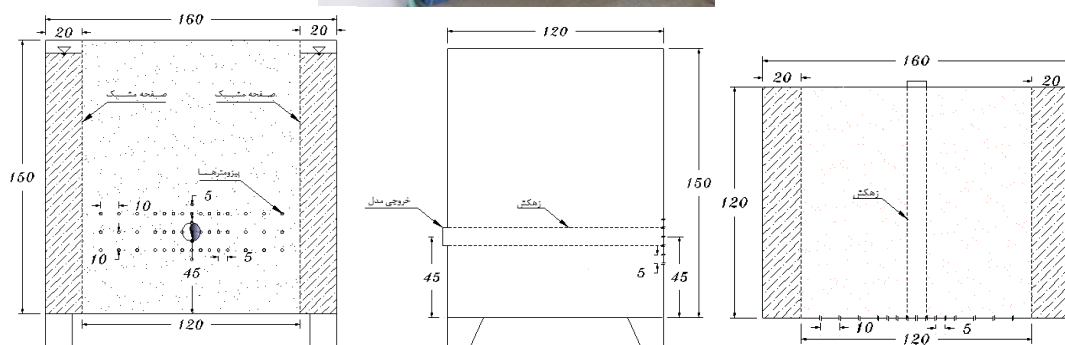
هدف اصلی این پژوهش، بررسی آزمایشگاهی عملکرد پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت به عنوان زهکش جدید در کاهش سطح ایستابی و تخلیه آب زیرزمینی و امکان استفاده از آنها به عنوان زهکش‌های زیرزمینی کشاورزی (زهکش‌های لوله‌ای) می‌باشد. در این پژوهش، پروفیل سطح ایستابی، دبی خروجی و مقاومت ورودی به انواعی از این نوع فیلتر-زهکش‌ها مور بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور شبیه‌سازی شرایط عملکرد حدی در زهکش‌ها (شامل سیستم‌های پوشش-زهکش که متشکل از یک ژئوکمپوزیت مرکب می‌باشد و زهکش لوله‌ای با پوشش دانه‌ای و PLM) در محیط آزمایشگاه، از مدل فیزیکی مخزن خاک افقی (حاوی ماسه) استفاده گردید. بدنه‌ی اصلی مدل فیزیکی به صورت مکعب مستطیل می‌باشد. چهار ضلع این مکعب از جنس فولاد و یک ضلع آن از پلاکسی‌گلاس ساخته شد شکل (۱). در پژوهش‌های پیشین حداقل عرض توصیه

از ورقه‌های ژئونت با ضخامت دو میلی‌متر استفاده گردید. مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی ژئوتکتایل‌ها در جدول (۲) آورده شده است. برای تکمیل کار تحقیق، علاوه بر مشاهده عملکرد پوشش-زهکش‌های انتخابی، عملکرد زهکش لوله‌ای با پوشش دانه‌ای و زهکش دارای پوشش PLM نیز در همین شرایط مورد بررسی قرار گرفت. پوشش مصنوعی PLM از نوع PP450 جدول (۳) انتخاب و پوشش دانه‌ای با استفاده از روش USBR بر اساس d_{60} ماسه طراحی شد ارائه شده است.

تعادل برسد. همچنین بافت خاک مورد نظر باید به گونه‌ای انتخاب گردد که فرض نفوذپذیری یکسان در جهات مختلف برقرار باشد. به همین دلیل خاک مورد استفاده در مدل فیزیکی از نوع ماسه‌بادی ریز و تمیز در نظر گرفته شد و خصوصیات آن در جدول (۱) ارائه گردیده است. با توجه به معیارهای طراحی و ژئوتکتایل‌های موجود در بازار سه ژئوتکتایل GTLP1، GTLP2 و GTLP5 برای ساخت پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت انتخاب شدند. برای ساخت هسته پوشش-زهکش‌های مورد نظر،



شکل ۱- شکل شماتیک و سه نمای مدل فیزیکی (ابعاد به سانتی‌متر)

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی مواد بستری

| محدوده دانه‌بندی | بافت | d_{60} (mm) | هدایت هیدرولیکی (cm/sec) |
|-------------------|----------------------|---------------|--------------------------|
| ماسه ریز تا متوسط | شن لومی (loamy sand) | ۰/۲۲ | ۰/۰۰۱ |

جدول ۲- مشخصات ژئوتکتایل‌های تهیه شده برای تهیه پوشش-زهکش‌ها

| ژئوتکتایل | ژئوتکتایل | ژئوتکتایل | واحد | روش آزمایش (ASTM) | خصوصیات |
|-----------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| GTLP5 | GTLP2 | GTLP1 | | | |
| ۵۰۰ | ۲۵۰ | ۲۰۰ | gr/m ² | D-5261 | جرم |
| ۴ | ۱/۹ | ۱/۲ | mm | D-5199 | ضخامت |
| ۰/۱۵ | ۰/۲۱ | ۰/۲۴ | mm | D-4751 | (A.O.S) اندازه منافذ باز |
| ۰/۲۴ | ۰/۲۴ | ۰/۲۲ | cm/sec | D-4491 | نفوذپذیری |

جدول ۳- مشخصات پوشش‌های PLM زهکش‌های لوله‌ای

| ضخامت (mm) | جرم واحد سطح (g/cm ²) | O ₉₀ یا اندازه منافذ باز (mm) | هدایت هیدرولیکی (cm/s) |
|------------|-----------------------------------|--|------------------------|
| ۶/۲ | ۰/۰۵۶ | ۰/۴۵ | ۰/۱۷ |

جدول ۴- زهکش‌های به کار رفته در آزمایش‌ها

| علامت اختصاری زهکش | نوع زهکش |
|--------------------|---|
| SG-GT1 | پوشش-زهکش ژئوکمپوزیت با پوشش ژئوتکستایل (GTLP1) |
| SG-GT2 | پوشش-زهکش ژئوکمپوزیت با پوشش ژئوتکستایل (GTLP2) |
| SG-GT3 | پوشش-زهکش ژئوکمپوزیت با پوشش ژئوتکستایل (GTLP5) |
| DP-PLM | زهکش لوله‌ای (زهکش لوله‌ای مرسوم) با پوشش PLM |
| DP-Granular | زهکش لوله‌ای (زهکش لوله‌ای مرسوم) با پوشش دانه‌ای |

تعیین مقاومت ورودی زهکش‌ها، در فواصل مختلف در اطراف زهکش، با در نظر گرفتن پارامترهای دبی خروجی از زهکش و ارتفاع آب در هر نقطه، از رابطه زیر استفاده گردید (دیریکس، ۱۹۹۳):

$$w = \frac{h_1 - h_2}{q} \quad (1)$$

که در آن:

W : مقاومت ورودی به زهکش (روز بر متر)، h_1 : بار آبی داخل لوله زهکش (متر)، h_2 : بار آبی کنار زهکش (متر) و q : دبی در واحد طول زهکش (مترمکعب بر روز بر متر) می‌باشد.

جهت مقایسه آماری بین نتایج دبی خروجی و مقاومت ورودی زهکش‌ها، مقایسه میانگین از طریق آزمون t دو نمونه‌ای مستقل (Independent samples t-test) توسط نرم افزار آماری SPSS 20 انجام شد.

نتایج

شکل (۲) نیمرخ سطح آب در زهکش‌های مختلف و برای بارهای آبی مختلف را نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل مشخص است، تمام زهکش‌های ژئوکمپوزیت توانسته است به خوبی سطح آب را روی زهکش‌ها کاهش دهد و آب اضافی داخل خاک را تخلیه نماید. با افزایش بار آبی روی زهکش‌های ژئوکمپوزیت به دلیل تغییر اندازه روزنه ژئوتکستایل‌ها

برای ایجاد شرایط یکسان بین پوشش-زهکش-های ژئوکمپوزیت و زهکش‌های لوله‌ای مرسوم، ابعاد پوشش-زهکش‌ها طوری در نظر گرفته شد که سطح تماس آن‌ها با محیط اطراف، تقریباً برابر با سطح تماس (محیط هندسی) زهکش‌های پلاستیکی موج‌دار با قطر ۱۰۰ میلی‌متر (چهار اینچ) باشد. برای ساخت این پوشش-زهکش‌ها از لایه‌های ژئونت به عرض ۱۰ سانتی-متر و طول ۱۲۰ سانتی‌متر استفاده و زهکشی با مقطع مستطیل (۴×۱۱ سانتی‌متر) ساخته شد. علامت اختصاری و مشخصات زهکش‌های آزمایش شده در جدول (۴) آورده شده است. در این پژوهش، پارامترهای دبی جریان، ارتفاع آب در اطراف لوله زهکش و نیمرخ سطح آب، پس از تثبیت سطح ایستابی در ارتفاع‌های ۴۵، ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ سانتی‌متری از کف مدل، برای هر کدام از زهکش‌های مورد آزمایش برداشت می‌گردید. آب موجود در منبع بیرونی مدل توسط پمپ به مخازن دو طرف مدل وارد می‌شد و در سطح مورد نظر تثبیت می‌گردید. سپس اجازه‌ی اشباع شدن به خاک (ماسه) داده می‌شد. پس از مدت معینی که محیط اشباع شده و سطح آب در پیرومترها تثبیت گردید، درپوش انتهایی مدل (خروجی زهکش) باز می‌شد. پس از تعادل مجدد آبی در محیط اطراف زهکش و تثبیت سطح آب در پیرومترها، داده-برداری انجام می‌گرفت. برای هر کدام از زهکش‌های مورد آزمایش، هر آزمون سه بار تکرار گردید. به منظور

سطح آب بیشتر از زهکش لوله‌ای با پوشش PLM و کمتر از زهکش با پوشش دانه‌ای بود. درصد اختلاف افت سطح آب در پوشش-زهکش‌ها و زهکش لوله‌ای با پوشش PLM و دانه‌ای در بارهای آبی ۴۵ و ۱۱۰ سانتی-متر به ترتیب در جدول‌های (۵) و (۶) ارائه شده است.

فاصله بین نیمرخ‌های سطح آب بیشتر می‌شود زهکش با اندازه روزنه کوچکتر نسبت به روزنه بزرگتر دارای کارایی کمتری است هرچند که تمام زهکش‌های ژئوکمپوزیت عملکرد مناسبی داشته‌اند.

با بررسی نیمرخ سطح آب در اطراف زهکش‌ها مشخص می‌شود که در پوشش-زهکش‌ها افت پروفیل

جدول ۵- اختلاف افت سطح آب در پوشش-زهکش‌ها و زهکش لوله‌ای با پوشش دانه‌ای (درصد)

| فاصله ۵۰ سانتی‌متری از مرکز زهکش | مرکز زهکش | | پوشش-زهکش |
|----------------------------------|---------------|----------------|---------------|
| | بار آبی ۴۵ cm | بار آبی ۱۱۰ cm | |
| بار آبی ۱۱۰ cm | بار آبی ۴۵ cm | بار آبی ۱۱۰ cm | بار آبی ۴۵ cm |
| -۲/۱۷ | -۱۰۰ | -۱۲/۳۸ | -۶۷/۵۶ |
| -۱۳/۰۱ | -۱۰۰ | -۱۵/۸۸ | -۸۵/۵۸ |
| -۱۱/۴۹ | -۱۰۰ | -۱۴/۴۸ | -۶۷/۵۶ |

- کمتر بودن افت سطح آب در پوشش-زهکش‌ها نسبت به زهکش لوله‌ای با پوشش دانه‌ای

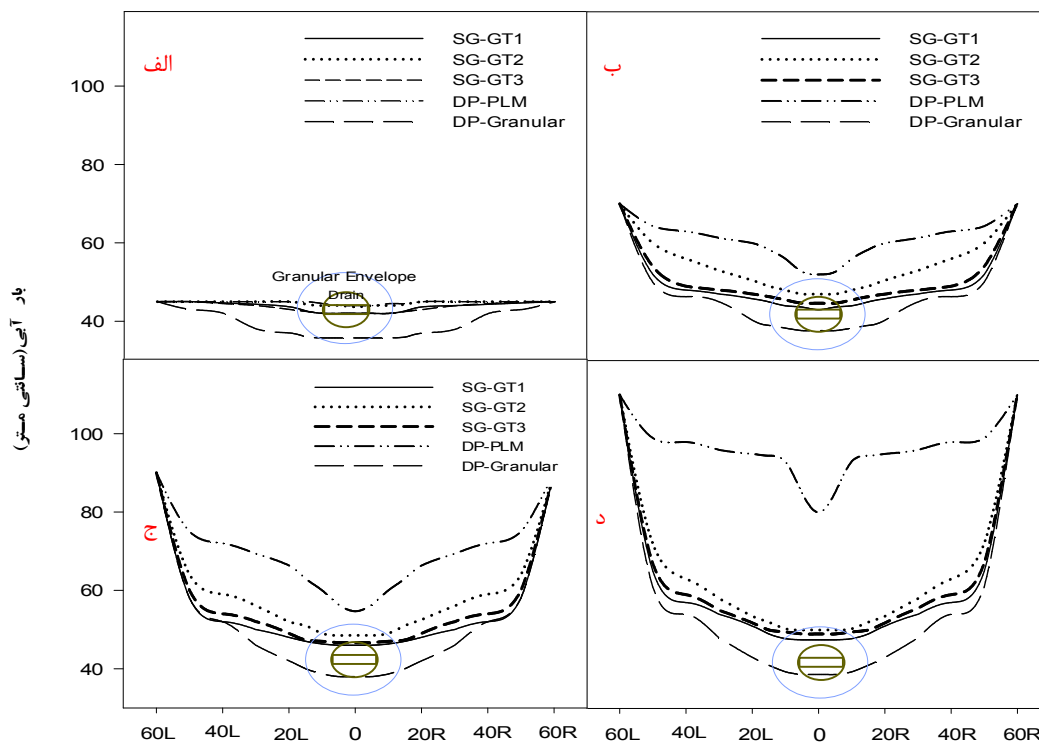
جدول ۶- اختلاف افت سطح آب در پوشش-زهکش‌ها و زهکش لوله‌ای با پوشش PLM (درصد)

| فاصله ۵۰ سانتی‌متری از مرکز زهکش | مرکز زهکش | | پوشش-زهکش |
|----------------------------------|---------------|----------------|---------------|
| | بار آبی ۴۵ cm | بار آبی ۱۱۰ cm | |
| بار آبی ۱۱۰ cm | بار آبی ۴۵ cm | بار آبی ۱۱۰ cm | بار آبی ۴۵ cm |
| +۷۹/۰۵ | . | +۵۲ | +۶۶/۶۷ |
| +۷۵ | . | +۵۰ | +۲۴/۹۸ |
| +۷۶/۸۴ | . | +۵۰/۸۲ | +۶۶/۶۷ |

+ بیشتر بودن افت سطح آب در پوشش-زهکش‌ها نسبت به زهکش لوله‌ای با پوشش PLM

از پوشش-زهکش با زهکش لوله‌ای با پوشش دانه‌ای و PLM در بارهای آبی ۴۵ و ۱۱۰ سانتی‌متر به ترتیب در جدول‌های (۷) و (۸) ارائه شده است. نتایج آزمون مقایسه میانگین دبی خروجی از پوشش-زهکش‌ها با زهکش لوله‌ای با پوشش دانه‌ای در جدول (۹) و با زهکش لوله‌ای با پوشش PLM در جدول (۱۰) ارائه شده است. اختلاف دبی پوشش-زهکش SG-GT1 در تمامی بارهای آبی با زهکش DP-PLM، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اختلاف دبی پوشش-زهکش SG-GT2 و SG-GT3 با زهکش DP-PLM، به ترتیب در بارهای آبی ۹۰ تا ۱۱۰ و ۶۰ تا ۱۱۰ سانتی‌متر معنی‌دار بود. با توجه به نتایج جدول (۱۰)، اختلاف دبی زهکش SG-GT1، با زهکش DP-Granular تنها در بارهای آبی ۴۵ و ۵۰ سانتی-متر معنی‌دار نبود. اختلاف دبی پوشش-زهکش SG-GT2 و SG-GT3 با زهکش DP-Granular نیز در تمامی بارهای آبی معنی‌دار بود.

همانطور که مشاهده می‌شود در مرکز زهکش، افت پروفیل سطح آب برای بار آبی ۴۵ سانتی‌متر در پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت از ۲۴/۹۸ تا ۶۶/۶۷ درصد بیشتر از زهکش لوله‌ای با پوشش PLM بود. با افزایش فاصله افقی نسبت به زهکش، در بارهای آبی پایین اختلاف افت پروفیل سطح آب در زهکش لوله‌ای با پوشش PLM و پوشش-زهکش‌ها کم بود. با افزایش بار آبی درصد اختلاف‌ها افزایش یافت. افت سطح آب در پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت کمتر از زهکش با پوشش دانه‌ای بود، با افزایش بار آبی به ۱۱۰ سانتی‌متر، فاصله بین پروفیل سطح ایستابی زهکش با فیلتر دانه‌ای و فیلتر-زهکش‌های ژئوکمپوزیت کاهش یافت. با بررسی دبی خروجی از زهکش‌ها مشخص گردید، دبی خروجی از پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت در یک بار آبی ثابت بیشتر از دبی خروجی زهکش لوله‌ای با پوشش PLM و کمتر از پوشش دانه‌ای بود. درصد اختلاف دبی خروجی



فاصله از زهکش (سانتی متر)

شکل ۲- نیمرخ سطح ایستابی برای زهکش‌های SG-GT1, SG-GT2, SG-GT3, DP-PLM و DP-Granular در بارهای آبی الف-۴۵ سانتی متر، ب-۷۰ سانتی متر، ج-۹۰ سانتی متر و د-۱۱۰ سانتی متر

جدول ۷- اختلاف دبی خروجی از پوشش-زهکش‌ها با زهکش لوله‌ای با پوشش دانه‌ای در بارهای آبی ۴۵ و ۱۱۰ سانتی متر (درصد)

| بار آبی (سانتی متر) | | پوشش زهکش‌های مستطیلی |
|---------------------|--------|-----------------------|
| ۱۱۰ | ۴۵ | |
| -۳۵/۲۹ | -۹/۰۹ | SG-GT1 |
| -۴۷/۰۵ | -۶۸/۱۸ | SG-GT2 |
| -۴۳/۵۲ | -۶۲/۷۲ | SG-GT3 |

- کمتر بودن دبی خروجی در پوشش-زهکش‌ها نسبت به زهکش با پوشش دانه‌ای

جدول ۸- اختلاف دبی خروجی از پوشش-زهکش‌ها با زهکش لوله‌ای با پوشش PLM در بارهای آبی ۴۵ و ۱۱۰ سانتی متر (درصد)

| بار آبی (سانتی متر) | | پوشش زهکش‌های مستطیلی |
|---------------------|--------|-----------------------|
| ۱۱۰ | ۴۵ | |
| +۲۷/۲۷ | +۷۷/۵ | SG-GT1 |
| +۱۱/۱۱ | +۲۵/۷۱ | SG-GT2 |
| +۱۶/۶۷ | +۴۵/۱۲ | SG-GT3 |

+ بیشتر بودن دبی خروجی در پوشش-زهکش‌ها نسبت به زهکش با پوشش PLM

جدول ۹- نتایج آزمون مقایسه میانگین دبی خروجی از پوشش-زهکش‌ها با زهکش دانه‌ای

| سطوح ایستابی (سانتی‌متر) | | | | | | | | مقایسه‌ها |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
| ۱۱۰ | ۱۰۰ | ۹۰ | ۸۰ | ۷۰ | ۶۰ | ۵۰ | ۴۵ | |
| ۰/۳** | ۰/۲۳** | ۰/۲۳** | ۰/۱۹** | ۰/۱۷** | ۰/۰۵** | ۰/۰۵ ^{NS} | ۰/۰۲ ^{NS} | SG-GT1_DP-Granular |
| ۰/۴** | ۰/۳** | ۰/۳** | ۰/۲۷** | ۰/۲** | ۰/۱۳** | ۰/۱۹** | ۰/۱۵** | SG-GT2_DP-Granular |
| ۰/۳۷** | ۰/۲۷** | ۰/۲۷** | ۰/۲۴** | ۰/۱۹** | ۰/۱۱** | ۰/۱۸** | ۰/۱۳** | SG-GT3_DP-Granular |

* و ** معنی داری اثر تیمار آزمایش در سطح پنج و یک درصد، NS معنی دار نبودن اثر تیمار آزمایشی

جدول ۱۰- نتایج آزمون مقایسه میانگین دبی خروجی از پوشش-زهکش‌ها با زهکش DP-PLM

| سطوح ایستابی (سانتی‌متر) | | | | | | | | مقایسه‌ها |
|--------------------------|---------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| ۱۱۰ | ۱۰۰ | ۹۰ | ۸۰ | ۷۰ | ۶۰ | ۵۰ | ۴۵ | |
| ۰/۱۵** | ۰/۱۳۱** | ۰/۱۰۸** | ۰/۰۹** | ۰/۰۵** | ۰/۰۸** | ۰/۱۵۱** | ۰/۱۵۱** | SG-GT1_DP-PLM |
| ۰/۰۵* | ۰/۰۵* | ۰/۰۴** | ۰/۰۱ ^{NS} | ۰/۰۲ ^{NS} | ۰/۰۴ ^{NS} | ۰/۰۱ ^{NS} | ۰/۰۲ ^{NS} | SG-GT2_DP-PLM |
| ۰/۰۸** | ۰/۰۸۳** | ۰/۰۷** | ۰/۰۴** | ۰/۰۳* | ۰/۰۶* | ۰/۰۱۸ ^{NS} | ۰/۰۲۳ ^{NS} | SG-GT3_DP-PLM |

* و ** معنی داری اثر تیمار آزمایش در سطح پنج و یک درصد، NS معنی دار نبودن اثر تیمار آزمایشی

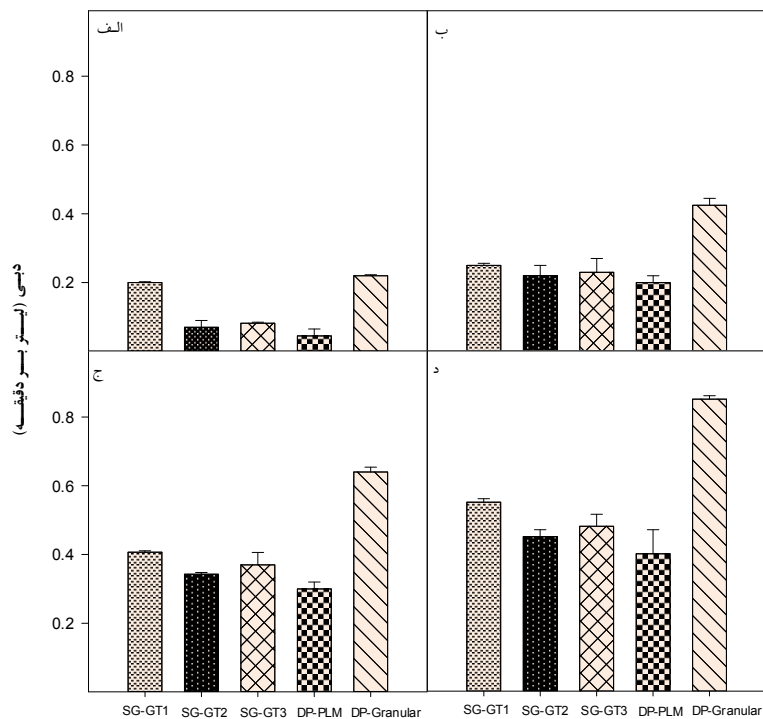
درصد اختلاف دبی خروجی از پوشش-زهکش با پوشش-زهکش‌های SG-GT1 و SG-GT2 در بارهای آبی ۴۵ و ۱۱۰ سانتی‌متر در جدول (۱۱) ارائه شده است. در بارهای آبی پایین (۴۵ و ۵۰ سانتی‌متر) اختلاف دبی زهکش SG-GT1 با دو پوشش زهکش دیگر زیاد بود با افزایش بار آبی اختلاف دبی خروجی از پوشش-زهکش‌ها کم شد. دبی زهکش SG-GT2، ۱۴/۶۳ تا ۶/۲۵ درصد از زهکش SG-GT3 کمتر بود. نتایج مقایسه دبی خروجی از زهکش‌های SG-GT1، SG-GT2، SG-GT3 و DP-PLM و DP-Granular در شکل (۳) آورده شده است.

جدول ۱۱- اختلاف دبی خروجی از پوشش-زهکش SG-GT1 با پوشش-زهکش‌های

SG-GT2 و SG-GT3 بارهای آبی ۴۵ و ۱۱۰ سانتی‌متر (درصد)

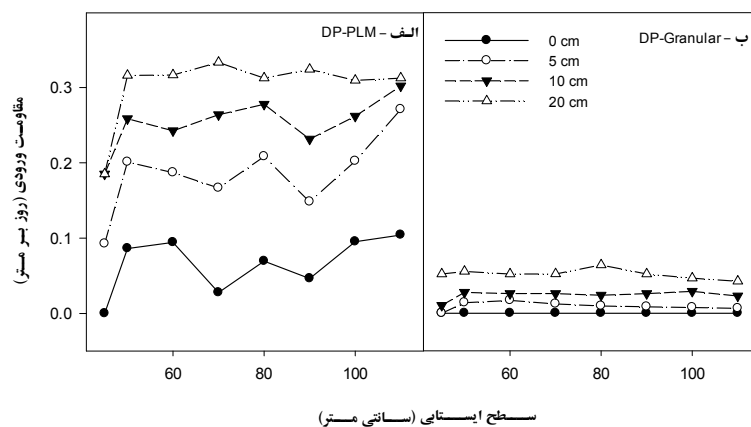
| بار آبی (سانتی‌متر) | | پوشش زهکش |
|---------------------|----|-----------|
| ۱۱۰ | ۴۵ | |
| ۱۸/۱۸ | ۶۵ | SG-GT2 |
| ۱۲/۲۲ | ۵۹ | SG-GT3 |

مقاومت ورودی به پوشش-زهکش و همچنین زهکش لوله‌ای با پوشش دانه‌ای و PLM مورد آزمایش در فاصله‌ی صفر، پنج، ده و بیست سانتی‌متری از زهکش به ترتیب در شکل‌های (۴) و (۵) ارائه شده است. نتایج آزمون مقایسه میانگین مقاومت ورودی به پوشش-زهکش‌ها و زهکش لوله‌ای مرسوم با پوشش PLM و

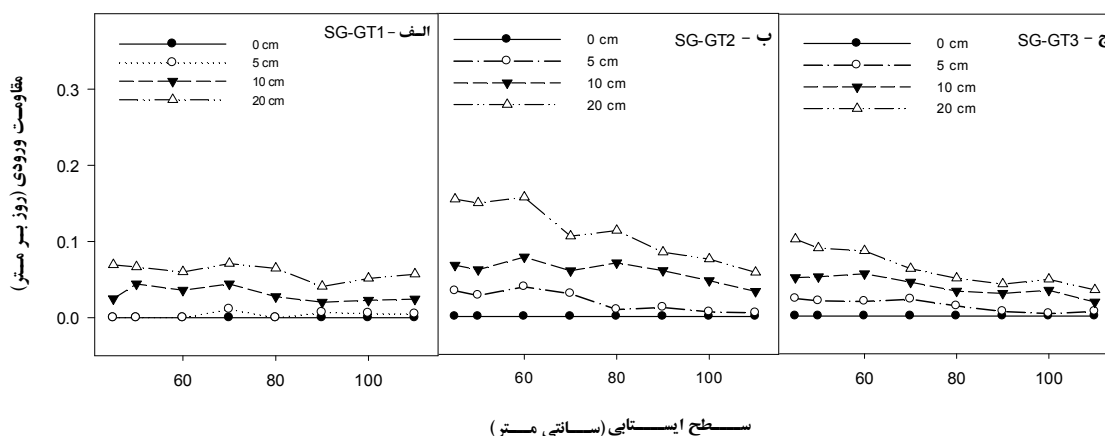


زهکش های مورد آزمایش

شکل ۳- مقایسه دبی خروجی از زهکش برای زهکش های SG-GT1, SG-GT2, SG-GT3, DP-PLM و DP-Granular در سطح ایستابی الف - ۴۵ سانتی متر ب - ۷۰ سانتی متر ج - ۹۰ سانتی متر د - ۱۱۰ سانتی متر



شکل ۴ - مقاومت ورودی به زهکش در فاصله صفر، پنج و ده سانتی متری از زهکش الف - DP-PLM ب - DP-Granular



شکل ۵- مقاومت ورودی به زهکش در فاصله صفر، پنج و ده سانتی متری از زهکش الف- SG-GT1 ب- SG-GT2 ج- SG-GT3

جدول ۱۲- نتایج آزمون مقایسه میانگین مقاومت ورودی پوشش-زهکش‌ها با زهکش DP-PLM

| سطوح ایستایی | | | | | | | | مقایسه‌ها |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| ۱۱۰ | ۱۰۰ | ۹۰ | ۸۰ | ۷۰ | ۶۰ | ۵۰ | ۴۵ | |
| ۰/۲۸** | ۰/۲۴** | ۰/۲۱** | ۰/۲۵** | ۰/۲۲** | ۰/۲۰** | ۰/۲۱** | ۰/۱۶** | SG-GT1_DP-PLM |
| ۰/۲۶** | ۰/۲۰** | ۰/۱۷** | ۰/۲** | ۰/۱۹** | ۰/۱۶** | ۰/۲۱** | ۰/۱۰** | SG-GT2_DP-PLM |
| ۰/۲۷** | ۰/۲۲** | ۰/۲۲** | ۰/۲۵** | ۰/۲۰** | ۰/۱۹** | ۰/۱۵** | ۰/۱۲** | SG-GT3_DP-PLM |

** معنی داری اثر تیمار آزمایش در سطح یک درصد

جدول ۱۳- نتایج آزمون مقایسه میانگین مقاومت ورودی پوشش-زهکش‌ها با زهکش DP-PLM

| سطوح ایستایی | | | | | | | | مقایسه‌ها |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| ۱۱۰ | ۱۰۰ | ۹۰ | ۸۰ | ۷۰ | ۶۰ | ۵۰ | ۴۵ | |
| ۰/۰۰۵ ^{ns} | ۰/۰۰۶ ^{ns} | ۰/۰۰۶ ^{ns} | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۰/۳ ^{ns} | ۰/۰۱ ^{ns} | ۰/۱۵ ^{ns} | ۰/۱۵ ^{ns} | SG-GT1_DP-PLM |
| ۰/۰۱ ^{ns} | ۰/۲ ^{ns} | ۰/۳ ^{ns} | ۰/۰۵ ^{ns} | ۰/۰۵ ^{ns} | ۰/۰۶ ^{ns} | ۰/۱۵ ^{ns} | ۰/۱ ^{ns} | SG-GT2_DP-PLM |
| ۰/۰۰۳ ^{ns} | ۰/۰۳ ^{ns} | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۰/۰۳ ^{ns} | ۰/۰۳ ^{ns} | ۰/۰۹ ^{ns} | ۰/۰۴ ^{ns} | SG-GT3_DP-PLM |

* و ** معنی داری اثر تیمار آزمایش در سطح ۵ و ۱ درصد، ns معنی دار نبودن اثر تیمار آزمایشی

بحث

که در بخش نتایج نیز مشاهده شد با کاهش اندازه روزنه و به تبع آن کاهش مقدار O_{90}/d_{90} عملکرد پوشش-زهکش‌ها در تخلیه آب خاک کاهش می‌یابد که این نکته در طراحی‌ها باید در نظر گرفته شود. با بررسی عملکرد پوشش-زهکش‌ها مشاهده می‌شود که این زهکش‌ها علیرغم اینکه کاهش قابل ملاحظه‌ای در محیط هندسی تماس با خاک و کاهش مساحت زهکش، توانسته تا حد زیادی مشابه زهکش لوله‌ای با پوشش دانه‌ای عمل نماید. هرچند که افت سطح آب و دبی خروجی در پوشش-

با توجه به نتایج نیم‌رخ سطح آب و دبی خروجی در پوشش-زهکش‌ها می‌توان نتیجه گرفت که زهکش‌های پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت در کاهش سطح ایستایی و تخلیه آب مازاد خاک عملکرد قابل قبولی داشته است. اختلاف بین سه پوشش زهکش را می‌توان به اندازه روزنه آنها ارتباط داد، یکی از معیارهای انتخاب ژئوتکستایل نسبت O_{90}/d_{90} می‌باشد که این مقدار باید بزرگتر از یک باشد. از بین سه پوشش-زهکش مورد استفاده دو نمونه SG-GT1 و SG-GT2 دارای این ویژگی و SG-GT3 فاقد این ویژگی می‌باشد. همانگونه

زهکش‌های ژئوکمپوزیت کمتر از زهکش با پوشش دانه-ای بود.

عملکرد بالاتر زهکش با پوشش دانه‌ای به دلیل ضخامت زیاد پوشش دانه‌ای بود که سطح تماس زهکش با خاک را حدوداً سه برابر سطح تماس پوشش-زهکش‌ها با خاک کرده بود. به علاوه با توجه به نتایج پژوهش‌های یانگ جین و همکاران (۲۰۰۴)، در پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت تحت تنش فشاری، نفوذپذیری و قابلیت انتقال آب ژئوتکستایل کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند در عملکرد پوشش-زهکش‌ها موثر باشد.

در مقایسه‌ی مقاومت ورودی به پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت نسبت به سایر زهکش‌های مورد آزمایش، مشاهده می‌شود که مقاومت ورودی پوشش-زهکش‌ها بسیار کم و در حد پوشش با پوشش دانه‌ای و کمتر از زهکش لوله‌ای با پوشش PLM بود. در زهکش با پوشش دانه‌ای، پوشش ضخیم این امکان را فراهم می‌کند که آب علاوه بر این که به صورت عمود بر پوشش جریان یابد، به طور جانبی نیز بین پوشش به طرف سوراخ‌های لوله زهکشی جریان یابد. پوشش شن و ماسه به دلیل ضخامت زیاد (۱۰ سانتی‌متر) در اطراف لوله زهکش سبب کاهش چشمگیر مقاومت ورودی گردیده به گونه‌ای که زهکش نزدیک به زهکش ایده‌آل عمل کرد.

ضخامت کمتر در پوشش مصنوعی PLM نسبت به پوشش دانه‌ای باعث افزایش مقاومت ورودی به زهکش شد، اما در پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت با افزایش سطوح ورودی آب به زهکش، افزایش مقاومت ورودی در اثر کم شدن ضخامت جبران شد، به طوری مقاومت ورودی پوشش-زهکش‌ها نزدیک به زهکش لوله‌ای با پوشش دانه‌ای بود. ضخامت کمتر پوشش مصنوعی PLM نسبت به پوشش دانه‌ای باعث کاهش شعاع موثر زهکشی شد و نتیجه آن کاهش کارایی این پوشش‌ها نسبت به پوشش‌های دانه‌ای بود. در پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت با افزایش سطوح ورودی آب به زهکش، کاهش اثر کم شدن ضخامت جبران شد، به

طوری که عملکرد پوشش-زهکش‌ها در حد زهکش با پوشش دانه‌ای بود.

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت به کار رفته در آزمایش از کارایی مطلوبی در پایین انداختن سطح آب برخوردار بودند. این نتایج با یافته‌های چانگ و همکاران (۱۹۹۶) مبنی بر افت سطح آب زیرزمینی توسط پوشش-زهکش-های ژئوکمپوزیت، مطابقت داشت. آن‌ها عملکرد زهکش-های ژئوکمپوزیت را در کاهش سطح ایستابی در زیر پایه-های یک ساختمان بررسی کردند. عملکرد مطلوب پوشش-زهکش‌ها در این پژوهش با نتایج رحیمی و همکاران (۱۳۸۳)، بختیاری و همکاران (۱۳۸۹) نیز مطابقت داشت. آن‌ها کاربرد زهکش‌های مصنوعی را به عنوان پوشش-زهکش در زیر پوشش کانال‌های انتقال آب بررسی کردند و نتایج آن‌ها حاکی از توانایی پوشش-زهکش‌ها در تخلیه آب مازاد خاک بود. مک‌کین و اینوی (۲۰۰۱) که به بررسی عملکرد ژئوکمپوزیت‌ها به عنوان زهکش جاده‌ای پرداخته بودند نیز نتایج مشابهی به دست آوردند. ظرفیت بالای پوشش-زهکش‌ها با هسته‌ی قوی و مربع شکل با نتایج چای و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت داشت. آن‌ها دریافته‌اند که ظرفیت زهکشی پوشش-زهکش‌ها در زهکش‌های دارای فیلتر سخت، هسته‌ی قوی و کانال‌های بزرگ با سطح مقطع مربع شکل زیاد است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با بررسی عملکرد پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت به عنوان زهکش‌های زیرزمینی کشاورزی، مشخص گردید که پوشش-زهکش‌های ژئوکمپوزیت توانایی مناسبی در کاهش سطح ایستابی و تخلیه آب مازاد خاک دارند و عملکرد آن‌ها در شرایط این آزمون، با وجود سطح کمتر، نزدیک به زهکش لوله‌ای با پوشش دانه‌ای بود. با توجه به نتایج حاصل از بررسی عملکرد پوشش-زهکش‌ها و مشاهده عملکرد زهکش لوله‌ای با پوشش دانه‌ای و PLM در شرایط اجرای آزمون،

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از شرکت‌های شهراب گستر البرز و ناروین گستر پارسیان، همچنین دفتر پژوهش‌های کاربردی سازمان مدیریت منابع آب که شرایط انجام این پژوهش را فراهم آوردند قدردانی می‌شود.

می‌توان پوشش-زهکش‌ها را دارای کارایی مناسب دانست. همچنین توصیه می‌گردد عملکرد فیلتر-زهکش‌ها در شرایط آب و خاک مزرعه نیز مورد بررسی تکمیلی قرار گیرد. قابل ذکر است نتایج این پژوهش، در شرایط آزمایشگاهی حاصل شده و همچنین اثر گذشت زمان (بهره برداری طولانی مدت) و عوامل مختلف مؤثر بر تشدید گرفتگی زهکش‌ها مورد بررسی قرار نگرفته است.

فهرست منابع

۱. اکرم م. پذیرا ا. آذری ا. لیاقت ع. دربندی ص. لیاقت ز. ۱۳۸۳. مواد و مصالح سامانه‌های زهکش زیرزمینی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
۲. بختیاری ز. لیاقت ع. رحیمی ح. ۱۳۸۹. ارزیابی عددی و آزمایشگاهی عملکرد فیلتر مصنوعی ژئوکمپوزیت در کف و جداره‌های مدل فیزیکی کانال انتقال آب. نشریه آبیاری و زهکشی. شماره ۳. جلد ۴.
۳. حسن‌اقلی ع. لیاقت ع. ۱۳۸۳. کاربرد پوشش‌های زمین‌بافت در زهکشی. سومین کارگاه فنی زهکشی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. تهران.
۴. رحیمی ح. قبادی‌نیا م. احمدی ح. ۱۳۸۳. کاربرد مواد ژئو سنتتیک به عنوان زهکش زیر پوشش کانال‌ها. کارگاه سیستم زهکشی زیر پوشش کانال‌ها.
۵. سیاهی م. ک. باغبان‌زاده ب. ۱۳۸۳. سیستم زهکشی زیر پوشش کانال‌های آبیاری در اراضی شالیزار شبکه سفیدرود گیلان. مجموعه مقالات کارگاه سیستم زهکشی زیر پوشش کانال‌ها. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره انتشار ۹۳، صفحات ۱۵۱ تا ۱۶۴.
۶. شیری ج. ناظمی الف. صدرالدینی ع. ۱۳۸۷. کاربرد نرم‌افزارهای جدید در محاسبات مربوط به سامانه‌های زهکشی زیرزمینی. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، بهمن ماه ۱۳۸۷، دانشگاه شهید چمران اهواز، صفحات ۹ تا ۱۸.
۷. شیری ج. ۱۳۸۹. تاثیر مقاومت ورودی بر مشخصه‌های هیدرولیکی جریان در زهکش زیرزمینی. مجله دانش آب و خاک. جلد ۲۰/۱. شماره ۴.
8. Aydilek, A.H. 2006. Asemi analytical methodology for development of woven geotextile filter selection criteria. *Geosynth int*, 13(2):59-72.
9. Chai J.C. Miura N. Nomura T. 2004. Effect of hydraulic radius on long-term drainage capacity of geosynthetic drain. *Geotext Geomembranes*, 22: 3-16.
10. Chang, D., and Wu, J., and Nieh, Y.C. 1996. Use of geosynthetics in the uplift pressure relief system for a raft foundation. In: Bhatia. S.K. Suits. L.D. (Eds.), *Recent Developments in Geotextile Filters and Prefabricated Drainage Geocomposites*, Special Technical Publication 1281, ASTM, Pennsylvania, pp. 196-221.
11. Dierickx, W. 1980. Electrolytic analogue study of the effect of openings and surrounds of various permeabilities on the performance of field drainage pipes.

- Communication No. 77, National Institute for Agriculture Engineering. Merelbeke , Belgium.
12. Dierickx, W. 1993. Reserch and developments in selecting subsurface drainage materials. *Irrigation and drainage systems*, 6:291-310.
 13. Gratin, L.Ch. 1989. Effect of envelopes on flow pattern near drain pipe. *J Irrig DrainE-ASCE*. 115 (4): 626 – 641.
 14. McKean, J., and Inouye, K. 2001. Field evaluation of the long-term performance of geocomposite sheet drains. *Geotext Geomembranes*. Elsevier. 19: 213-234.
 15. Stuyte, L.C.P.M., and Dierickx W. 2006. Design and performance of materials for subsurface drainage systems in agriculture. *Agr. Water Manage*. 86:50-59.
 16. Vlotman, W.F. and 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.