



دانشگاه گوارن و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و سوم، شماره اول، ۱۳۹۵

<http://jwsc.gau.ac.ir>

## شبیه‌سازی عملکرد هیدرولیکی پوشش مصنوعی PP450 و پوشش معدنی با استفاده از نفوذسنج در شرایط آزمایشگاهی

\*بختیار کریمی

استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه کردستان

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۴/۲۱

### چکیده

**سابقه و هدف:** یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر روی عملکرد سیستم‌های زهکشی، گرفتگی به‌وسیله ذرات خاک می‌باشد. در اکثر موارد در طراحی سیستم‌های زهکشی توجه چندانی به مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی نمی‌شود و معمولاً اکثر پارامترهای مهم در طراحی سیستم‌های زهکشی برای تمامی شرایط یکسان در نظر گرفته می‌شود. همچنین مطالعات انجام شده در هلند نشان می‌دهد که حدود ۸۰ درصد از شکست در پروژه‌های زهکشی در نتیجه عدم طراحی مناسب پوشش‌های زهکشی می‌باشد. با توجه به این‌که مطالعات صحرایی به‌منظور ارزیابی پوشش‌های زهکشی هم‌زمان بر و هم از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست بنابراین ارزیابی آزمایشگاهی این پوشش‌ها منطقی به نظر می‌رسد. اهداف اصلی این پژوهش ارائه یک سری روابط تجربی برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی و گرفتگی با استفاده از بار هیدرولیکی و دبی خروجی از زهکش (که اندازه‌گیری آن‌ها آسان است) و حذف تأثیر پیرومترهای نصب شده در بدنه نفوذسنج می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** بدین منظور دستگاه نفوذسنج که مطابق با استاندارد ASTM-۵۱۰۱ طراحی و ساخته شده مورد بررسی قرار گرفت. پوشش PP۴۵۰ و پوشش معدنی (مطابق با استاندارد دفتر عمران اراضی امریکا) استفاده شد. خاک مورد استفاده در این پژوهش از یک پروژه زهکشی در شمال خرمشهر و در عمق ۱/۶۵ متری تهیه شد. این پژوهش در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از نفوذسنج و با اعمال چهار بار هیدرولیکی (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ سانتی‌متر) انجام شد و با اندازه‌گیری بار هیدرولیکی، دبی خروجی و قرائت پیرومترهای که در بدنه نفوذسنج نصب شده بود، پارامترهای ویژه (هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش، خاک، پوشش و نسبت گرادیان) محاسبه شد.

**یافته‌ها:** بعد از انجام آزمایش‌ها، شبیه‌سازی مقادیر هدایت هیدرولیکی برای سیستم‌های خاک- پوشش، خاک و پوشش و همچنین نسبت گرادیان به انجام رسید. ارتباط بین پارامترهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار Sigma Plot بسط داده شد که در آن مقادیر هدایت هیدرولیکی برای سیستم‌های مختلف به‌صورت تابعی از بار هیدرولیکی و دبی خروجی از زهکش‌ها ارائه گردید. خطای معادلات ارائه شده و همچنین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده با استفاده از شاخص‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که مدل‌های مورد بررسی تخمین دقیقی از پارامترهای مورد بررسی دارند.

\*مسئول مکاتبه: [bakhtiar.karimi@gmail.com](mailto:bakhtiar.karimi@gmail.com)

**نتیجه‌گیری:** ضریب همبستگی این روابط برای پوشش PP۴۵۰ و برای هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک و هدایت هیدرولیکی پوشش و نسبت گریان به ترتیب مقادیر ۰/۹۶، ۰/۹۶ و ۰/۹۶، برای پوشش معدنی نیز به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۹۸، ۰/۶۳ برآورد گردید. گرفتگی پوشش در حین انجام آزمایش باعث کم شدن ضریب همبستگی تخمین هدایت هیدرولیکی شد. استفاده از معادلات ارائه شده می‌تواند عملکرد هیدرولیکی و گرفتگی در پوشش‌های زهکشی را در شرایط مختلف طراحی شبیه‌سازی کند.

**واژه‌های کلیدی:** گرفتگی پوشش‌ها، ژئوتکستایل، پیش‌بینی گرفتگی، نسبت گریان، بهینه‌سازی

### مقدمه

فرسایش بستر رودخانه می‌شود و مشکلات زیست‌محیطی را ناشی می‌شود، عملیات اجرایی (کندن ترانشه‌های عریض، دانه‌بندی شن و ماسه و غیره) دارند (۱۰). همه این موارد باعث می‌شوند که استفاده از این نوع پوشش‌ها هزینه اجرایی پروژه‌های زهکشی را به‌طور چشم‌گیر افزایش دهد، چنان‌چه حتی برخی از پروژه‌ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. در چند سال اخیر پژوهشگران در صدد جایگزین نمودن پوشش‌های دیگر که هزینه کم‌تری دارند بجای پوشش‌های شن و ماسه‌ای برآمده‌اند. پوشش‌های مصنوعی (ژئوتکستایل<sup>۱</sup>) به‌خاطر مزایای زیادی که دارند، از جمله کاهش هزینه‌های نصب و اجرا، سرعت نصب بالا، کاهش تلفات زمین در اثر حفاری و غیره در کشورهایی مانند آمریکا، پاکستان، هلند و مصر در سطح وسیعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. دربندی و حسن‌اقلی (۲۰۰۰) عملکرد فنی پوشش‌های زهکشی مصنوعی نیاخته را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش مشخص شد که متوسط دبی خروجی با پوشش مصنوعی در هر مرحله از آزمایش کم‌تر از متوسط دبی خروجی لوله با پوشش شن و ماسه می‌باشد و دبی خروجی یک سیر نزولی داشته و دلیل آن آرایش مجدد ذرات خاک اطراف پوشش و انتقال ذرات ریزتر بداخل فضاهای

بهینه‌سازی بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی و تدوین قوانین و سیاست‌های کارآمد بهره‌برداری از آن‌ها از چندین دهه پیش یکی از موضوعات اصلی در مطالعات منابع آب بوده و پژوهش‌های گسترده‌ای در این زمینه انجام گرفته است. در مطالعات و طراحی شبکه‌های زهکشی به‌علت عدم توجه کافی به تجارب منطقه‌ای داخل کشور و اتکا به مطالعات و پژوهش‌های منابع خارجی و روش‌های توصیه شده در منابع علمی خارجی، اغلب نتیجه مطلوبی حاصل نشده است. بررسی‌های انجام شده در هلند نشان می‌دهد که نزدیک به ۸۰ درصد موارد شکست در طرح‌های زهکشی ناشی از وضعیت نامناسب پوشش‌های استفاده شده در اطراف لوله‌های زهکشی می‌باشد. بنابراین در طرح‌های زهکشی زیرزمینی اهمیت طراحی و اجرای صحیح پوشش اطراف لوله‌های زهکشی به مراتب بیش از پارامترهای دیگر طراحی است. پوشش‌های شن و ماسه‌ای که هنوز رایج‌ترین نوع پوشش‌ها می‌باشند، مشکلاتی مانند کمبود معادن شن و ماسه در محل اجرای پروژه زهکشی، حمل و نقل شن و ماسه به محل اجرای پروژه، مشکلات زیست‌محیطی (برداشت بی‌رویه شن از بستر رودخانه‌ها باعث تغییر رژیم جریان در این رودخانه‌ها می‌شود و باعث

1- Geotextile

نسبت به پوشش‌های مصنوعی برتری دارند، اما به دلیل مشکلات موجود در طراحی و اجرای این پوشش‌ها، استفاده از پوشش‌های مصنوعی توصیه می‌شود (۱۱). آگار (۲۰۱۱) عملکرد هیدرولیکی و پتانسیل گرفتگی دو پوشش مصنوعی بافته شده و نبافته را در مقایسه با پوشش معدنی را در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از نفوذسنج مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج این پژوهش که برای دو بافت خاک لومی سیلتی و رسی به انجام رسید نشان داد که دو پوشش مصنوعی در مقایسه با پوشش معدنی دارای عملکرد مناسب‌تری می‌باشد و همچنین در پوشش‌های مصنوعی پتانسیل گرفتگی مشاهده نگردید (۲). حسن اقلی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی کارایی سه نوع پوشش مصنوعی زهکشی PP۴۵۰، PP۷۰۰ و PP۹۰۰ در شرایط استفاده از کاربرد زه‌آب شور و آب غیر شور در پنج گرادیان هیدرولیکی مختلف پرداختند و نتایج نشان داد که پتانسیل گرفتگی فیزیکی در شرایط زه‌آب افزایش می‌یابد و همچنین نتایج آزمون نفوذسنجی نشان داد که پوشش مصنوعی PP۴۵۰ در مقایسه با دو پوشش مصنوعی دیگر دارای عملکرد مطلوب‌تری می‌باشد (۷). کریمی (۲۰۰۸) عملکرد سه نوع پوشش مصنوعی (PP۴۵۰، PP۷۰۰، PP۹۰۰) زهکشی را در مقایسه با پوشش رایج معدنی ارزیابی کردند و با انجام آزمایش‌های لازم (تغییرات دبی، هدایت هیدرولیکی، نسبت گرادیان و نسبت هدایت هیدرولیکی و...)، در نهایت پوشش PP۴۵۰ را برای شمال خرمشهر پیشنهاد کردند (۱۰). زهتاییان و همکاران (۲۰۱۴) سه نوع پوشش زهکشی (ژئوکمپوزیت، PP۴۵۰ و پوشش معدنی) را در شرایط آزمایشگاهی به منظور کاهش سطح ایستایی مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج این پژوهش نشان داد

خالی موجود مابین ذرات درشت‌تر پوشش‌شن و ماسه‌ای و یا روزه‌های فیلتر مصنوعی می‌باشد. همچنین شدت کاهش دبی خروجی از لوله با پوشش‌شن و ماسه‌ای بیش‌تر از پوشش مصنوعی است که احتمالاً به دلیل انتقال سریع‌تر ذرات ریز خاک به داخل خلل و فرج درشت‌تر پوشش‌شن و ماسه‌ای است. همچنین مقاومت ورودی به لوله با پوشش مصنوعی بیش‌تر از پوشش‌شن و ماسه‌ای است (۴). رضانی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۳) عملکرد دو نوع پوشش مصنوعی PP۴۵۰ تولید داخل را در مقایسه با نمونه مشابه هلندی مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج این پژوهش نشان داد که پوشش‌های مورد بررسی از لحاظ نفوذپذیری و خصوصیات هیدرولیکی دارای کارایی مناسبی می‌باشد (۱۲). جعفری تلوکلایی و همکاران (۲۰۱۳) عملکرد پوشش مصنوعی PP۴۵۰ و پوشش معدنی را در اراضی شالیزاری با چهار خط زهکش در عمق ۶۵ سانتی‌متری و با فواصل ۱۵ متری مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج این پژوهش در یک فصل کشت کلزا نشان داد که میانگین دبی زهکش با پوشش مصنوعی ۸۸ درصد در مقایسه پوشش معدنی بیش‌تر است (۹). نتایج بررسی‌های مهدی‌نژادیانی (۲۰۰۷) در اهواز که به منظور بررسی عملکرد پوشش مصنوعی PP۴۵۰ و پوشش معدنی با استفاده از نفوذسنج با جریان موازی انجام گرفت، نشان داد که PP۴۵۰ یک پوشش مناسب برای زهکش‌های زیرزمینی است. به دلیل این‌که دارای اکثر معیارهای طراحی (معیار نگهداری ذرات، معیار جلوگیری از انسداد، معیار هیدرولیکی) و همچنین هدایت هیدرولیکی مناسب می‌باشد. نام بردگان در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که پوشش‌های معدنی، هم به لحاظ کارایی و هم از نظر طول عمر،

و تخمین عملکرد هیدرولیکی پوشش‌ها و گرفتگی پوشش‌ها با استفاده از پارامترهای که اندازه‌گیری آن‌ها آسان (بار هیدرولیکی و دبی خروجی) است امری ضروری به نظر می‌رسد که با داشتن یک رابطه مشخص ما می‌توانیم عملکرد هیدرولیکی و پتانسیل گرفتگی را در هر گرادیان مشخص و برای هر مقدار دبی خروجی محاسبه کنیم.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه یک نمونه خاک از عمق ۱/۶۵ متری از سطح زمین (به منظور نزدیک بودن شرایط واقعی خاک از عمق نصب زهکش‌ها) تهیه شد (منطقه مورد مطالعه: یک پروژه زهکشی در منطقه شمال خرمشهر). آب مورد نیاز توسط ایستگاه پمپاژ از رودخانه کارون تامین و توسط کانال بتنی به طول ۷۳۵۰ متر به اراضی منتقل می‌شود و در انتهای کانال توسط ایستگاه پمپاژ ثانویه هد مورد نیاز جهت شبکه آبیاری (شبکه آبیاری کم فشار) تامین می‌گردد. اراضی طرح به ۳۸ مزرعه ۵۱ هکتاری و ۳۷۴ واحد زراعی ۵/۲ هکتاری تقسیم می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی (جدول ۱) و فیزیکی (جدول ۲) نشان داده شده است. جهت طراحی پوشش معدنی ابتدا شاخص  $d_{60}$  (قطری از ذرات خاک که ۶۰ درصد ذرات قطری کوچک‌تر از آن را دارند) خاک مورد نظر از روی منحنی دانه‌بندی خاک تعیین شد (۱). سپس بر اساس جدول تهیه شده توسط دفتر عمران اراضی امریکا<sup>۱</sup> محدوده بالا و پایین اندازه ذرات پوشش به دست آمده و رسم گردید. در نهایت محدوده منحنی دانه‌بندی پوشش مورد استفاده بایستی در محدوده بالا و پایین باشد.

که پوشش معدنی عملکرد مناسب‌تری در مقایسه دو پوشش دیگر دارد و همچنین پوشش ژئوکمپوزیت نیز دارای عملکرد بهتری نسبت به PP۴۵۰ می‌باشد (۳). چوسونگ و یانگ‌شانگ (۲۰۰۵) به منظور ارزیابی پوشش‌های مصنوعی یک نوع ژئوتکستایل را در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند و مقادیر دبی خروجی و هدایت هیدرولیکی و نسبت گرادیان را تعیین کردند. آن‌ها با قراردادن ذرات دانه‌ای در بالای پوشش به پتانسیل گرفتگی پوشش‌ها پی بردند و نتایج آن‌ها نشان داد که ذرات استفاده شده با اندازه کوچک‌تر از فضای باز پوشش‌ها باعث کم‌تر شدن دبی خروجی از زهکش می‌شود. استفاده از ذرات خاک با اندازه‌های مختلف در اطراف پوشش‌های زهکشی باعث افزایش درصد فضای باز و متناسب با آن باعث افزایش دبی خروجی از زهکش می‌شود و تغییرات نسبت گرادیان در این حالت کم‌تر است (۳). فاوور و همکاران (۲۰۰۵) یک مدل ریاضی برای پیش‌بینی گرفتگی پوشش‌های زهکشی توسط ذرات معلق در آب پیشنهاد کردند. در این پژوهش ابتدا به توصیف مدل و پارامترهای ورودی آن پرداخته و سپس نتایج حاصل از مدل را با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده مقایسه کردند و نتایج آن نشان داد که این مدل برآورد تقریباً مناسبی از رفتار هیدرولیکی پوشش اطراف زهکش می‌هد (۵). مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که هنوز مطالعه جامعی به منظور شبیه‌سازی عملکرد هیدرولیکی پوشش‌های زهکشی به انجام نرسیده است. همچنین با توجه به این‌که استفاده از نفوذسنج به منظور ارزیابی عملکرد پوشش‌های زهکشی بسیار هزینه‌بر و وقت‌گیر می‌باشد و همچنین نیاز به دقت زیادی دارد بنابراین ارائه روابطی به منظور ساده‌سازی روابط مربوط به نفوذسنج

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه خاک انتخاب شده.

Table 1. Chemical properties of selected soil samples.

جمع آنیون‌ها SUM Cation	کاتیون‌ها (میلی‌اکی‌والان در لیتر)				جمع آنیون‌ها SUM Onion	آنیون‌ها (میلی‌اکی‌والان در لیتر)				EC dS/m	pH
	Cation (meq/L)					Onion (meq/L)					
	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>		
1130.61	-	896.61	60	174	1137.2	34	1100	3.2	-	100.78	7.51

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی و بعضی پارامترهای شیمیایی نمونه خاک انتخاب شده.

Table 2. Physical and chemical properties of selected soil samples.

وزن مخصوص حقیقی (gr/cm <sup>3</sup> ) (Density)	کربن آلی %OC	نسبت جذبی سدیم (SAR)	آهک (%T.N.V.)	نوع بافت (Texture)	شن % (Sand)	سیلت % (Silt)	رس % (Clay)
2.79	0.0585	82.89	45.25	لومی رسی سیلتی (Silty clay loamy)	5.0	61.29	33.71

آن عمل می‌نماید. پیژومترها به صورت مزدوج و در مقابل هم در فواصل ۲۵ و ۷۵ میلی‌متری از توری فولادی قرار دارد، به علاوه یک پیژومتر دیگر در فاصله ۱۴۳ میلی‌متری آن قرار گرفته و بر خلاف پیژومترهای قبلی، خارج از خاک و در بالای آن نصب می‌گردد. ورودی جریان، در قسمت بالای این بخش و در ارتفاع ۱۶۲ میلی‌متری از نمونه ژئوتکستایل واقع شده است. در فوقانی‌ترین بخش دستگاه شیر تخلیه هوا<sup>۳</sup> وجود دارد که در حین عملیات اشباع و راه‌اندازی دستگاه، مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱). جهت مرحله آماده‌سازی، شامل نصب نمونه ژئوتکستایل در محل خود، پر نمودن دستگاه نفوذسنج از خاک، اشباع نمودن سیستم خاک ژئوتکستایل و نهایتاً شروع آزمایش (بر طبق استاندارد ASTM ۵۱۰۱) می‌باشد. سپس با ایجاد بارهای هیدرولیکی مختلف (چهار بار هیدرولیکی ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ سانتی‌متر) میزان نفوذپذیری مجموعه خاک-ژئوتکستایل و همچنین

در این پژوهش از یک دستگاه نفوذسنج<sup>۱</sup> که به منظور تعیین نفوذپذیری مجموعه خاک-ژئوتکستایل و نیز پتانسیل گرفتگی معدنی ژئوتکستایل به کار می‌رود استفاده شد. بخش اصلی این دستگاه، استوانه‌ای شفاف از جنس پلکسی‌گلاس<sup>۲</sup> به قطر داخلی ۱۰۰ و ضخامت دیواره ۵ میلی‌متر می‌باشد که در ترازهای مختلف آن تعدادی پیژومتر جهت بررسی تغییرات شیب هیدرولیکی در طول نمونه خاک و همچنین اطراف نمونه ژئوتکستایل قرار دارد. نفوذسنج مورد استفاده در این آزمایش براساس استاندارد ASTM ۵۱۰۱ طراحی و ساخته شده است. این آزمایش برای یک نوع ژئوتکستایل (PP-۴۵۰) و پوشش معدنی انجام شد. در این دستگاه در حد فاصل پایه و بخش اصلی دستگاه، یک ورقه توری فولادی با روزنه‌هایی به قطر ۴/۷۶ میلی‌متر (مش نمره ۴) قرار دارد که نمونه ژئوتکستایل دایره‌ای شکل بر روی آن نصب و به عنوان نگه‌دارنده ژئوتکستایل و خاک روی

1- Permeameter

2- Plexiglas

3- Air Valve

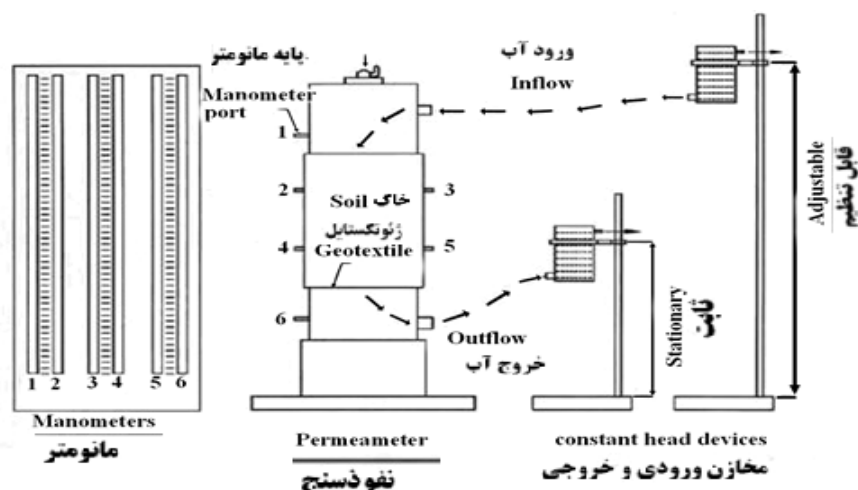
اجرای آزمایش کاملاً غیرارادی است)، بنابراین باید روابطی ارائه شود که مستقل از پیژومترهایی باشند که در بدنه نفوذسنج نصب شده‌اند (مطابق شکل پیژومترهای ۲، ۳، ۴، ۵ که در بدنه نفوذسنج قرار گرفته‌اند) و روابط تابعی از بار آبی هیدرولیکی و دبی خروجی از زهکش باشد. همچنین یکی از مزیت‌های اصلی حذف این پیژومترها از این روابط آن است که آزمایش‌ها سریع‌تر و با دقت بیش‌تری انجام‌پذیر است. نسبت گرادیان<sup>۱</sup> (GR): نسبت گرادیان از تقسیم گرادیان (شیب) هیدرولیکی سیستم خاک- پوشش بر گرادیان هیدرولیکی خاک رابطه ۱ به‌دست می‌آید:

$$GR = \frac{i_{se}}{i_s} \quad (1)$$

که در آن، GR نسبت گرادیان (بدون بعد)،  $i_{se}$  گرادیان هیدرولیکی سیستم خاک- پوشش،  $i_s$  گرادیان هیدرولیکی خاک.

در این حالت اگر نسبت گرادیان بزرگ‌تر از یک باشد، پوشش مستعد گرفتگی معدنی تشخیص داده می‌شود (۶، ۱۱).

میزان جریان خروجی، هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش، هدایت هیدرولیکی پوشش و هدایت هیدرولیکی خاک به‌دست آمد. همچنین یک نمونه از دستگاه مذکور متناسب با شرایط پوشش‌شن و ماسه‌ای و مطابق با استاندارد ساخته شد (تعداد پیژومترهای مورد استفاده در مخزن‌شن چهار عدد بیش‌تر از مخازن ژئوتکستایل می‌باشند). در شکل ۱ دستگاه نفوذسنج و ضمام آن قابل مشاهده است. به‌منظور راه‌اندازی این آزمایش ابتدا با ایجاد جریان از پایین به بالا (به‌منظور جلوگیری از ورود حباب هوا) و سپس با افزایش تدریجی بار آبی کل، خاک اشباع شد. آن‌گاه مجموعه به‌مدت ۲۴ ساعت در این حالت رها شده و سپس آزمایش شروع شد. این آزمایش باید از گرادیان‌های کم به زیاد انجام گیرد. با توجه به این‌که پیژومترهای که در بدنه این نفوذسنج قرار دارند همواره محل تجمع هوا می‌باشد و حباب هوا ایجاد شده باعث خطا در آزمایش می‌شود و همچنین این حباب در گرادیان‌های کم مانع از برقراری جریان آب در نفوذسنج می‌شود (ایجاد حباب هوای در حین



شکل ۱- دستگاه نفوذسنج جهت آزمون پوشش‌های ژئوتکستایل.

Figure 1. Permeameter device used for Geotextile envelope test.

1- Gradient Ratio

که در آن،  $P_i$  مقادیر پیش‌بینی شده،  $O_i$  مقادیر اندازه‌گیری شده،  $n$  تعداد نمونه‌های به‌کار رفته و  $\bar{O}$  میانگرمقادیر متوسط اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. حداقل مقدار  $ME$ ،  $RMSE$  و  $CD$  صفر است. حداکثر مقدار  $EF$  برابر یک می‌باشد.  $EF$  و  $CRM$  می‌توانند مقدار منفی داشته باشند مقادیر زیاد  $ME$  نشانگر بدترین حالت کارکرد مدل است، در حالی‌که مقدار زیاد  $RMSE$  نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد و یا کم‌تر از حد مدل در مقایسه با مشاهدات چقدر است. آماره  $CD$  نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری‌ها، نشان می‌دهد. مقدار آماره  $EF$ ، مقادیر پیش‌بینی‌ها را با میانگین اندازه‌گیری‌ها مقایسه می‌کند. مقدار منفی  $EF$  بیانگر آن است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، برآوردی بهتری از مقادیر پیش‌بینی شده دارد. آماره  $CRM$  نیز نشانگر تمایل مدل به مقادیر اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. چنان‌چه تمام مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی این آماره‌ها برابر با  $ME=0$ ،  $RMSE=0$ ،  $CD=1$  و  $EF=0$  خواهد شد.

### نتایج و بحث

در این پژوهش پس انجام آزمایش‌ها اندازه‌گیری‌های لازم (دبی خروجی، دمای آزمایش و قرائت مانومترها) که با سه تکرار و در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام شد از متوسط سه تکرار آزمایشی برای به‌دست آوردن روابط مربوطه استفاده شد. پس از پردازش داده‌ها در برنامه آماری برازش نمودار و برازش مدل‌های مختلف آمار مشخص شد که رابطه بین مقادیر هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش و دبی خروجی از زهکش به‌صورت معادله درجه یک است. همچنین رابطه این نسبت با هدایت هیدرولیکی به‌صورت درجه ۲ است که با در نظر گرفتن تأثیر هم‌زمان دو

در این پژوهش پس از انجام آزمایش‌های مربوطه که با سه تکرار و در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام شد از متوسط سه تکرار آزمایش مقادیر هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک، هدایت هیدرولیکی پوشش را بر حسب بار هیدرولیکی و مقدار دبی خروجی از زهکش ارائه شد و این کار برای هر دو نوع پوشش انجام شد سپس در مرحله بعد برای ارزیابی اعتبار مدل، از تحلیل خطاهای باقی‌مانده و اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده استفاده شد. آماره‌های لازم شامل، حداکثر خطا، میانگین ریشه دوم خطا، ضریب تبیین<sup>۴</sup>، کارایی مدل<sup>۴</sup> و ضریب باقی‌مانده<sup>۵</sup> هستند که تعریف ریاضی این آماره‌ها به‌صورت زیر است (۸، ۱۳).

$$ME = \text{MAX} |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad (2)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (6)$$

- 1- ME
- 2- RMSE
- 3- CD
- 4- EF
- 5- CRM

هیدرولیکی خاک در یک دامنه کوچک بوده و به همین دلیل رابطه مشخصی با نسبت فوق ندارد. مقادیر نسبت گرادیان در دامنه ۰/۹ تا ۰/۹۷ بوده و به همین دلیل نمی‌تواند رابطه مشخص پیدا کرد. برای پوشش معدنی می‌توان مقدار نسبت گرادیان را به‌طور متوسط ۰/۹۴ در نظر گرفت و پیش‌بینی نمود که با توجه به این حالت این پوشش در درازمدت نیز همین نسبت را دارد. با توجه به رابطه مربوط به نسبت گرادیان، مشخص می‌شود این پوشش دچار گرفتگی نمی‌شود. نهایتاً پیشنهاد می‌شود که به‌منظور استفاده از این روابط در شرایط مختلف (تغییر خصوصیات فیزیکی خاک و تغییر نوع پوشش) ضرایب این معادلات کالیبره شوند.

روابط مربوط به  $PP450$  و پیش‌بینی پارامترهای مختلف

$$k_{s,se,e} = y_0 + aH + bQ + cH^2 \quad (7)$$

$$GR = z_0 + d \ln abs\left(\frac{k_e}{k_s} - x_0\right) \quad (8)$$

$$k_{se} = 0.0883 - 0.0021H + 3.9375Q + 6.4032 \times 10^{-6} H^2 \quad (9)$$

$$k_s = 0.0472 - 0.0011H + 2.9277Q + 1.05 \times 10^{-6} H^2 \quad (10)$$

$$k_e = 1.0949 - 0.0195H + 3.2301Q + 0.0001H^2 \quad (11)$$

$$GR = 0.7138 - 0.0137 \ln abs\left(\frac{k_e}{k_s} - 2.6726\right) \quad (12)$$

روابط مربوط به گراول و پیش‌بینی پارامترهای مختلف

$$k_{s,se,e} = y_0 + aH + bQ + cH^2 + eQ^2 \quad (13)$$

$$k_{se} = 0.4084 - 0.0120H + 5.2228Q + 6.8546 \times 10^{-5} H^2 \quad (14)$$

پارامتر دبی خروجی و هد هیدرولیکی به شکل معادله ۷ در می‌آید. به همین ترتیب این روابط برای مقادیر هدایت هیدرولیکی خاک و هدایت هیدرولیکی پوشش نیز محاسبه شد و روابط آن در زیر آمده است. که رابطه‌های ارائه شده آن‌ها ۹ تا ۱۱ ارائه شده است. همچنین مشخص شد که نسبت گرادیان با هیچ‌کدام از پارامترهای مورد نظر (هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش، خاک، پوشش) به تنهایی رابطه‌ای ندارد و فقط با نسبت هدایت هیدرولیکی پوشش به نسبت هدایت هیدرولیکی خاک به‌صورت لگاریتمی رابطه دارد (رابطه ۸) که در رابطه ۱۲ ارائه شده است. همین عملیات برای پوشش معدنی نیز تکرار و مشخص شد مشابه با پوشش  $PP450$ ، رابطه بین هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک، هدایت هیدرولیکی پوشش با مقدار دبی خروجی از زهکش از نوع رابطه خطی درجه یک می‌باشد و نسبت به بار هیدرولیکی این روابط به‌صورت درجه دوم می‌باشد (رابطه ۱۳). شکل کلی معادلات مربوط به پوشش معدنی و برای پارامترهای هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک و هدایت هیدرولیکی پوشش به‌ترتیب در رابطه‌های ۱۴، ۱۵ و ۱۶ آورده شده است. می‌توان این‌گونه استنباط کرد که با تغییر پوشش مورد نظر و تغییر در خصوصیات فیزیکی خاک ضرایب این فرمول‌ها نیز تغییر می‌کند. همچنین برای تخمین نسبت گرایان در پوشش معدنی مشاهده شد که این نسبت با نسبت هدایت هیدرولیکی پوشش به هدایت هیدرولیکی خاک رابطه‌ای ندارد و این احتمالاً به آن خاطر است که تغییرات بار هیدرولیکی تغییری در روند گرفتگی پوشش ندارد و پوشش با تغییر بار هیدرولیکی روال طبیعی خود را طی کرده و نوساناتی در هدایت هیدرولیکی آن به وجود نمی‌آید. مقادیر نوسانات نسبت هدایت هیدرولیکی پوشش به هدایت



همچنین از مشاهده نمودار مربوط به نسبت گرادیان مشاهده می‌شود که این مقدار در اوایل آزمایش که نسبت هدایت هیدرولیکی پوشش به هدایت هیدرولیکی خاک کم است، بیشترین مقدار خود را دارد و پتانسیل گرفتگی نیز بالاست اما به مرور زمان و با افزایش نسبت هدایت هیدرولیکی، مقدار نسبت گرادیان کم‌تر می‌شود و متناسب با آن پتانسیل گرفتگی نیز کم می‌شود و این نیز شاید به دلیل تحکیم خاک و جلوگیری از نشست ذرات بر روی پوشش می‌باشد. تحلیل‌ها برای شکل ۳ که مربوط پوشش معدنی است نیز به همین صورت می‌باشد. همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده برای پوشش PP۴۵۰ و هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش، خاک و پوشش به ترتیب ۰/۹۶۴، ۰/۹۶۳، ۰/۶۲۱ می‌باشد (جدول ۳) و برای پوشش معدنی نیز این مقادیر به ترتیب ۰/۹۸۷، ۰/۹۸۱، ۰/۶۳۷ می‌باشد (جدول ۳) که بیانگر عملکرد بالای مدل‌های ارائه شده می‌باشد. علت پایین بودن ضریب همبستگی در تخمین هدایت هیدرولیکی پوشش، به دلیل گرفتگی غیرقابل پیش‌بینی پوشش در حین انجام آزمایش می‌باشد و همچنین با توجه به جدول ۴ مشخص می‌شود که ضریب همبستگی مربوط به تخمین نسبت گرادیان نیز بالاست و می‌توان به نتایج حاصل از پیش‌بینی این مدل‌ها اعتماد کرد و در طراحی و ارزیابی این پوشش‌ها از آن استفاده نمود (در جدول‌های ۳ و ۴ اعداد داخل پرانتز مربوط به خطای آن ضریب می‌باشد). در نهایت به منظور ارزیابی مدل‌های ارائه شده پارامترهای آماری خطا (جدول ۵) مورد ارزیابی قرار گرفت که مقادیر آن در دامنه قابل‌قبولی بود که نشان‌دهنده کارایی بالای این مدل‌ها در پیش‌بینی رفتار پوشش‌های زهکشی دارد.

$$k_s = 0.3787 - 0.0117H + 5.1575Q \quad (15)$$

$$+ 6.1938 \times 10^{-5} H^2$$

$$k_e = -10.0509 - 0.146H + 192.4148Q \quad (16)$$

$$+ 0.0009H^2 - 388.3763Q^2$$

که در آن‌ها،  $K_e$ ،  $K_s$  و  $K_{se}$  به ترتیب هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک، هدایت هیدرولیکی پوشش و هر سه پارامتر بر حسب متر بر روز می‌باشد،  $Q$  دبی خروجی از زهکش (مترمکعب بر ثانیه)،  $H$  بار آبی (سانتی‌متر)،  $y_0$ ،  $a$ ،  $b$ ،  $c$ ،  $e$  ضرایب مربوط به معادلات هدایت هیدرولیکی و  $x_0$ ،  $d$ ،  $z_0$  ضرایب مربوط به معادلات نسبت گرادیان. پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی پوشش ۴۵۰ در شکل ۲ نشان می‌دهد که هدایت هیدرولیکی پوشش که یک پارامتر مهم در ارزیابی است، در گرادیان‌های کم بیشترین مقدار خود را دارد و با افزایش تدریجی گرادیان و کنده شدن ذرات خاک پوشش دچار گرفتگی می‌شود و متناسب با آن هدایت هیدرولیکی پوشش کم می‌شود. زیرا انجام این آزمایش‌ها مطابق با استاندارد از گرادیان‌های پایین به بالا بوده و چون در ابتدا شروع آزمایش که گرادیان (بار هیدرولیکی) پایین است احتمال کندن شدن ذرات خاک و متناسب با آن گرفتگی وجود ندارد. پس از روی شکل ۲ می‌توان این استنباط را کرد که در گرادیان‌های پایین هدایت هیدرولیکی بیشتر است و به تدریج با افزایش گرادیان احتمال کندن شدن ذرات خاک (و گرفتار شدن ذرات در پوشش و گرفتگی پوشش) وجود دارد. با توجه به این شکل مشخص می‌شود حساس‌ترین بار هیدرولیکی که در آن هدایت هیدرولیکی پوشش کم‌ترین مقدار می‌باشد مربوط به افزایش تدریجی بار از ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد که در این حالت تغییرات کاهش هدایت هیدرولیکی زیاد می‌باشد.

## نتیجه‌گیری کلی

با انجام یکسری آزمایش‌های نفوذسنجی ضرایب معادلات به سادگی واسنجی می‌شود. از دیگر مزایای این مدل‌ها این است که فقط با اندازه‌گیری پارامترهای زود یافت (دبی خروجی از زهکشی و نوسانات سطح ایستابی) می‌توان عملکرد هیدرولیکی و پتانسیل گرفتگی پوشش‌های زهکشی را مورد ارزیابی قرار داد و متناسب با آن دستورالعمل‌های مدیریتی برای بهبود شرایط پوشش‌ها ارائه گردد.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مدل‌های شبیه‌سازی ارائه شده برای پارامترهای هدایت هیدرولیکی پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک و همچنین نسبت گرادیان (در پوشش معدنی و پوشش مصنوعی PP۴۵۰) دارای عملکرد مناسبی می‌باشد. همچنین قابل ذکر است به‌منظور استفاده از این روابط برای شرایط متفاوت (بالاخص خصوصیات فیزیکی خاک)،

جدول ۳- مقادیر تعیین شده ضرایب و خطای مربوط به هر کدام و ضریب همبستگی در تعیین هدایت هیدرولیکی.

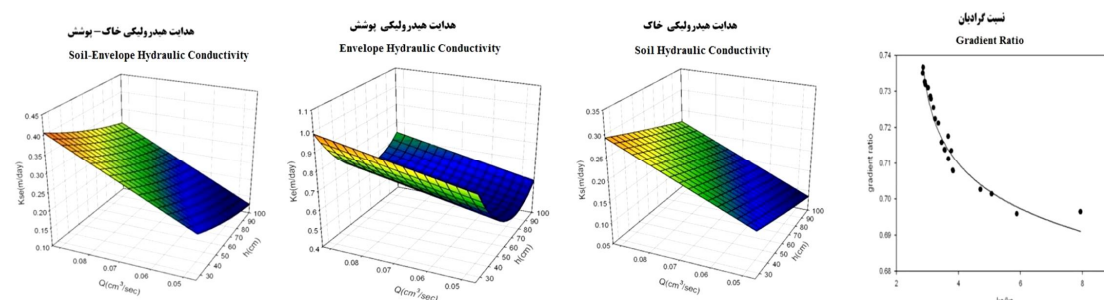
Table 3. Determined coefficients and their errors and correlation coefficient to determine hydraulic conductivity.

R <sup>2</sup>	ضرایب تخمینی (estimate coefficient)					پارامتر (parameter)	مدل (model)	نوع پوشش (envelope)
	e	c	b	a	y <sub>0</sub>			
0.964	0	0.0000064032 (0.0000024732)	3.9375 (0.1784)	-0.0021 (0.0003)	0.0883 (0.0103)	K <sub>se</sub>	Quadratic درجه دوم	پوشش مصنوعی PP450
0.963	0	0.00000105 (0.0000019055)	2.9277 (0.1359)	-0.0011 (0.0003)	0.0472 (0.008)	K <sub>s</sub>	Quadratic درجه دوم	
0.621	0	0.0001 (0.000030609)	3.2301 (2.1827)	-0.0195 (0.0041)	1.0949 (0.1279)	K <sub>e</sub>	Quadratic درجه دوم	
0.987	0	0.000068546 (0.00000040705)	5.2228 (0.1343)	-0.0120 (0.0005)	0.4084 (0.0216)	K <sub>se</sub>	Quadratic درجه دوم	پوشش معدنی Gravel
0.981	0	0.000061938 (0.0000047772)	5.1575 (0.1576)	-0.017 (0.0006)	0.3787 (0.0253)	K <sub>s</sub>	Quadratic درجه دوم	
0.637	388.3763 (266.7703)	(0.0003) 0.0009	192.4148 (88.4135)	-0.146 (0.0434)	-10.0509 (8.0852)	K <sub>e</sub>	Quadratic درجه دوم	

جدول ۴- مقادیر تعیین شده ضرایب و خطای مربوط به هر کدام و ضریب همبستگی در تعیین نسبت گرادیان.

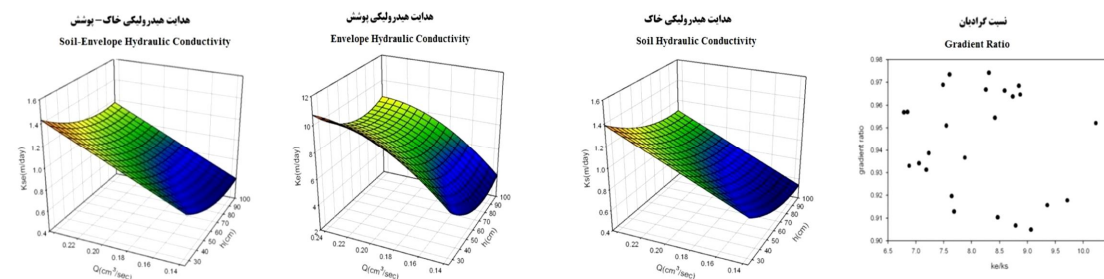
Table 4. Determined coefficients and their errors and correlation coefficient to determine gradient ratio.

R <sup>2</sup>	ضرایب تخمینی			پارامتر (Parameter)	مدل (Model)	نوع پوشش (Envelope)
	x <sub>0</sub>	d	z <sub>0</sub>			
0.96	2.6726 (0.0607)	-0.0137 (0.0015)	0.7138 (0.0013)	نسبت گرادیان (GR)	لگاریتمی Logarithm	پوشش مصنوعی PP450
-	-	-	-	نسبت گرادیان (GR)	لگاریتمی Logarithm	پوشش معدنی Gravel



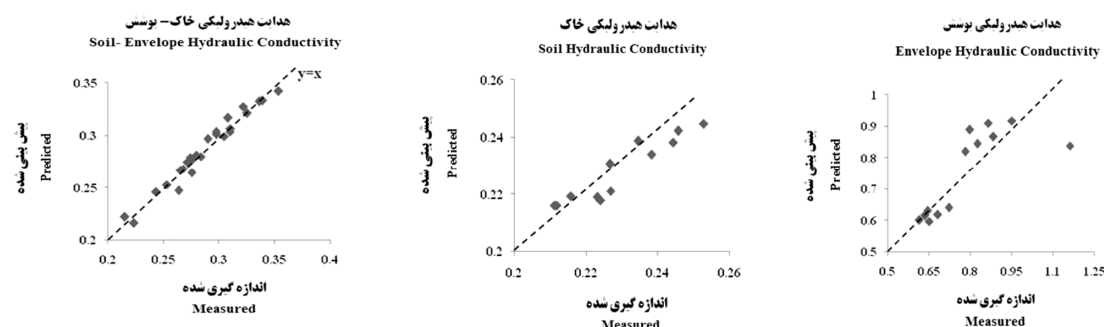
شکل ۲- مقادیر پیش‌بینی شده هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش، هدایت هیدرولیکی پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک و نسبت گرادیان در پوشش PP450.

Figure 2. Predicted values for soil-environment hydraulic conductivity, envelope hydraulic conductivity, soil hydraulic conductivity and gradient ratio in PP450 envelope.



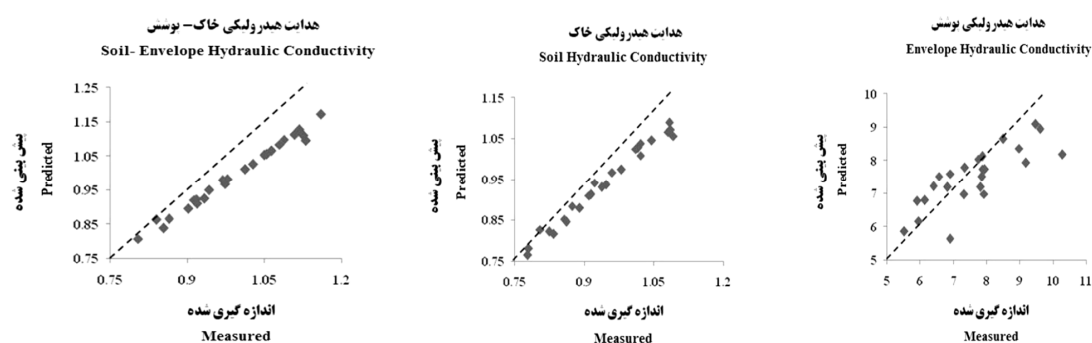
شکل ۳- مقادیر پیش‌بینی شده هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش، هدایت هیدرولیکی پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک و نسبت گرادیان در پوشش معدنی.

Figure 3. Predicted values for soil-environment hydraulic conductivity, envelope hydraulic conductivity, soil hydraulic conductivity and gradient ratio in gravel envelope.



شکل ۴- ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک، هدایت هیدرولیکی پوشش در پوشش PP450.

Figure 4. Correlation coefficient between predicted and measured values for soil-environment hydraulic conductivity, envelope hydraulic conductivity, soil hydraulic conductivity and gradient ratio in PP450 envelope.



شکل ۵- ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک، هدایت هیدرولیکی پوشش در پوشش معدنی.

Figure 5. Correlation coefficient between predicted and measured values for soil-envelope hydraulic conductivity, envelope hydraulic conductivity, soil hydraulic conductivity and gradient ratio in PP450 envelope.

جدول ۵- پارامترهای آماری محاسبه شده برای اعتبار مدل‌ها.

Table 5. Statistic parameters for the proposed models reliability.

ضریب باقی‌مانده (CRM)	کارایی مدل‌سازی (EF)	ضریب تبیین (CD)	میانگین ریشه دوم خطا (RMSE)	حداکثر خطا (ME)	پارامتر (Parameter)	نوع پوشش (Envelope)
0.00356	0.9631	1.032	0.0266	0.0168	$K_{se}$	پوشش مصنوعی PP450
0.00667	0.9605	1.0284	0.0216	0.0102	$K_s$	
0.18058	-1.0757	0.327	0.7394	0.3369	$K_e$	
0.000005	0.96	1.0428	0.0102	0.0054	GR	
0.000724	0.9871	1.01385	0.04086	0.03658	$K_{se}$	پوشش معدنی Gravel
0.00266	0.98057	1.01783	0.05518	0.035417	$K_s$	
0.0279	0.490126	1.8339	3.4273	2.2665	$K_e$	
-	-	-	-	-	GR	

## منابع

- Alizadeh, A. 2005. Modern land drainage (planning, design and management of agriculture drainage systems). University of Ferdowsi Publication. (In Persian)
- Agar, A.I. 2011. Selection of geo-synthetic filter materials as drain envelopes in clay and silty loam soils to prevent siltation: A case study from Turkey. *Afric. J. Agric. Res.* 6: 16. 3930-3935.
- Cho-sen, W., and Yung-Shang, H. 2005. Soil-nonwoven geotextile filtration behavior under contact with drainage materials. *Geotextiles and Geomembranes*. 24: 1-10.
- Darbandi, S., and Hassanoghli, A. 2000. Production and evaluation of synthetic drain filter performance. Agriculture engineering and technology research institute. Agricultural Jihad Ministry. (In Persian)
- Faure, Y.H., Baudoin, A., Pierson, P., and Ple, O. 2005. A contribution for predicting geotextile clogging during filtration of suspended solids" *J. Geotext. Geomem.* 24: 1. 11-20.
- Hassanoghli, A. 1997. The evaluation of geotextile drain pipe filters performance in soil (laboratory experiment). M.Sc. thesis, college of Agriculture, University of Tehran. (In Persian)
- Hassanoghli, A., and Pedram, A.Sh. 2013. Assessment of Clogging Potential of Three Different Synthetic Drainage Envelopes in Application of Saline Water and Soil by Permeability Test. *J. Water Soil.* 26: 6. 1395-1409.

8. Homae, M., Direksen, C., and Feddes, R.A. 2002. Simulation of root water uptake: I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. *J. Agric. Water Manage.* 57: 89-109.
9. Jafari Talukolaee, M., Shahnazari, A., and Ziatabar-Ahmadi, M.Kh. 2013. An Investigation of the Effect of Two Drainage Envelope Types on Subsurface Drainage Flow Rates in Paddy Fields of Mazandaran Province. *J. Water Soil.* 27: 1. 123-130.
10. Karimi, B. 2008. Evaluation of three synthetic drain envelope performances as compared with conventional gravel envelope in laboratory experiment. M.Sc. thesis, University of Tehran. (In Persian)
11. Mehdinejadani, B. 2007. Laboratory evaluation of synthetic envelope application in subsurface drainage and compared with conventional envelopes. M.Sc. thesis, Irrigation Engineering Dept, University of Ahvaz. (In Persian)
12. Ramezanimoghadam, J., Hooshmand, A.R., Naseri, A.A., and Nasrollahi, A.H. 2013. Simulation of hydraulic performance in synthetic envelope and mineral envelope using Permeameter in laboratory condition. *J. Water Engin. Sci.* 36: 1. 69-79.
13. Zarei, Gh., Homae, M., and Liaghat, A.M. 2008. Estimation of unsteady evaporation from bare soils based on different soil retention curve models. *Iran. J. Irrig. Drain.* 2: 61-71.
14. Zehtabian, M., Ghobadina, M., and Hassanoghli, A. 2014. Laboratory evaluation of the performance Geocomposite drainage filter in lowering the groundwater table. The first national conference in drainage and sustainable agriculture, Tehran, 27 Feb. 2014: 1-8.

Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(1), 2016*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Simulation of hydraulic performance in synthetic envelope pp450 and mineral envelope using Permeameter in laboratory condition**

**\*B. Karimi**

Assistant Prof., Dept. of Water Engineering and Science, University of Kurdistan

Received: 01/05/2015; Accepted: 07/12/2015

### **Abstract**

**Background and Objectives:** The effect of mineral clogging by soil particles is one of the main factors affecting the performance of drainage systems. Many drainage systems designs do not pay attention to laboratory and local studies on certain important parameters and some of them use to be specific for a given conditions. Several studies carried out in The Netherlands have shown that nearly 80% of drainage projects' failure happens as a result of inappropriate performance of drain filters. Since field studies in order to evaluate drain envelopes is not economical from viewpoint of time and cost. Therefore laboratory evaluation is proper for envelopes. The main goal of this study was obtaining a set of empirical equations in order to estimate hydraulic and clogging parameters using hydraulic head and discharge through drains which are easy to measure. Removing the effect of piezometers installed the Permeameter was another goal.

**Materials and Methods:** To conduct this research, The Permeameter which designed and was made according to ASTM-5101 standard, was used PP-450 and gravel envelope were evaluated according to USBR standard. Required soil for this experiment was collected from a drainage project in the north of Khorramshahr at 1.65 m depth. The test was conducted in laboratory using Permeameter by producing 4 different hydraulic pressure head (25, 50, 75, 100 cm). In this study, special parameters (envelope hydraulic conductivity, soil hydraulic conductivity, soil-envelope hydraulic conductivity, gradient ratio) were calculated by measurement of outflow changes in soil envelope system and hydraulic pressure head of manometer.

**Results:** After the tests were completed, the values of hydraulic conductivity for soil-envelope system, soil and geotextile envelope were estimated as functions of hydraulic head and outflow values. Furthermore, other relations were proposed for gradient ratio. The relations between different parameters were analyzed by Sigma Plot software and proper relations were proposed. The errors of the fitting equations and the difference between measured and estimated values were analyzed using the statistic indices. Results showed that these models are accuracy estimation of assessed parameters.

**Conclusion:** Correlation coefficient of these equations for pp450 envelope for soil-envelope hydraulic conductivity, soil hydraulic conductivity, envelope hydraulic conductivity and gradient ratio are 0.96, 0.96, 0.62 and 0.96 respectively and for gravel envelope for soil-envelope hydraulic conductivity, soil hydraulic conductivity and envelope hydraulic conductivity are 0.98, 0.98 and 0.63 respectively. Low correlation coefficient for estimation of envelope hydraulic conductivity is related to envelope clogging during experiment time. Using of proposed equations can be estimate clogging and hydraulic performance of drainage envelopes in different conditions.

**Keywords:** Envelope clogging, Geotextile, Clogging prediction, Gradient ratio, Optimization

---

\* Corresponding Author; Email: bakhtiar.karimi@gmail.com