

شبیه‌سازی گرفتگی و عملکرد هیدرولیکی در سه نوع پوشش مصنوعی زهکشی به کمک توابع انتقالی

بختیار کریمی*

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲۴

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه کردستان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: bakhtiar.karimi@gmail.com

چکیده

با توجه به اینکه مطالعات صحرایی به‌منظور ارزیابی پوشش‌های زهکشی زمان‌بر و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست، لذا ارزیابی آزمایشگاهی این پوشش‌ها منطقی به‌نظر می‌رسد. هدف اصلی این تحقیق ارائه یک سری روابط تجربی برای تخمین عوامل هیدرولیکی و گرفتگی با استفاده از بار هیدرولیکی و دبی خروجی از زهکش (که اندازه‌گیری آنها آسان است) و حذف تأثیر پیژومترهای نصب‌شده در بدنه نفوذسنج بود. برای انجام این آزمایش، دستگاه نفوذسنج که مطابق با استاندارد ASTM-۵۱۰۱ طراحی و ساخته شده، مورد استفاده قرار گرفت. سه نوع پوشش مصنوعی رایج در پروژه‌های زهکشی شامل PP۴۵۰، PP۷۰۰ و PP۹۰۰ نیز استفاده شدند. خاک مورد استفاده در این تحقیق از یک پروژه زهکشی در شمال خرمشهر و از عمق ۱/۶۵ متری تهیه شد. این تحقیق در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از نفوذسنج و با اعمال چهار بار هیدرولیکی (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ سانتی‌متر) انجام شد. با اندازه‌گیری بار هیدرولیکی، دبی خروجی و قرائت پیژومترهای که در بدنه نفوذسنج نصب شده بود، پارامترهای ویژه (هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش، خاک، پوشش و نسبت گرادیان) محاسبه شد. نتایج حاصل نشان داد که مدل‌های مورد بررسی تخمین دقیقی از عوامل مورد بررسی دارند. ضریب همبستگی روابط ارائه شده برای سه نوع پوشش PP۴۵۰، PP۷۰۰ و PP۹۰۰ برای هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک و هدایت هیدرولیکی پوشش و نسبت گرایان بالا بوده که نشان‌دهنده تخمین دقیق این پارامترها می‌باشد. با استفاده از این روابط می‌توان عملکرد هیدرولیکی و گرفتگی در پوشش‌های زهکشی را در شرایط مختلف طراحی شبیه‌سازی کرد.

واژه‌های کلیدی: پوشش‌های زهکشی، پیش‌بینی گرفتگی، ژئوتکستایل، نسبت گرادیان، نفوذسنج

Simulation of Clogging and Hydraulic Performance in Three Synthetic Envelopes Using Pedotransfer Functions

B Karimi^{1*}

Received: 22 October 2015

Accepted: 14 March 2017

1- Assist. Prof., Water Sciences and Engineering Department, Univ. of Kurdistan, Iran

*Corresponding Author, Email: bakhtiar.karimi@gmail.com

Abstract

Since field researches for evaluating drain envelopes are costly and time consuming, laboratory evaluation of these envelopes is a suitable approach. The main goal of this study was obtaining a set of empirical equations in order to estimate the hydraulic and clogging parameters using hydraulic head and drain outflow (which are easy to measure) and removing the effect of piezometers installed in the permeameter body. To conduct this research, a permeameter was designed and made according to ASTM-5101 standard. Then, three types of commonly used geotextile filters, e.g. PP-450, PP-700 and PP-900 were used. The 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 the laboratory using Permeameter by producing 4 different hydraulic pressure heads (25, 50, 75, 100 cm). Special parameters (envelope hydraulic conductivity, soil hydraulic conductivity, soil-envelope hydraulic conductivity, gradient ratio) were calculated by measurement of hydraulic head, outflow and piezometers installed in the permeameter body. Results showed that these models gave accurate estimation of the assessed parameters. High correlation coefficient values of these equations (for three synthetic envelopes PP450, PP700 and PP900) indicated that they provided an accurate estimation for soil-envelope hydraulic conductivity, soil hydraulic conductivity, envelope hydraulic conductivity and gradient ratio. Using the suggested equations clogging and hydraulic performance of drainage envelopes in different conditions can be simulated.

Keywords: Clogging prediction, Drainage envelopes, Geotextile, Gradient ratio, Permeameter

مقدمه

اطراف لوله‌های زهکشی می‌باشد (کریمی ۱۳۸۷) 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 زیست محیطی (برداشت بی‌رویه شن از بستر رودخانه‌ها باعث تغییر رژیم جریان و فرسایش بستر گردیده و مشکلات زیست محیطی را ناشی می‌شود) و عملیات اجرایی (کنند ترانشه‌های عریض، دانه‌بندی شن و ماسه و غیره) دارند (کریمی ۱۳۸۷). همه این موارد باعث می‌شوند که

بهبودسازی 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 تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه انجام گرفته است. در مطالعات و طراحی شبکه‌های زهکشی به علت عدم توجه کافی به تجارب منطقه‌ای داخل کشور و اتکا به مطالعات و تحقیقات 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

باشد. نام بردگان در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که پوشش‌های معدنی، هم به لحاظ کارایی و هم از نظر طول عمر، نسبت به پوشش‌های مصنوعی برتری دارند، اما به دلیل مشکلات موجود در طراحی و اجرای این پوشش‌ها، استفاده از پوشش‌های مصنوعی توصیه می‌شود. آگار (۲۰۱۱) عملکرد هیدرولیکی و پتانسیل گرفتگی دو پوشش مصنوعی بافته‌شده و نبافته را در مقایسه با پوشش معدنی را در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از نفوذسنج مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج این تحقیق 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. حسن اقلی و پدرام (۱۳۹۱) 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. کریمی (۱۳۸۷) 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 غیره)، در نهایت پوشش PP۴۵۰ را برای شمال خرمشهر پیشنهاد کردند. زهتابیان و همکاران (۱۳۹۲) سه نوع پوشش زهکشی (ژئوکمپوزیت، PP۴۵۰ و پوشش معدنی) را در شرایط آزمایشگاهی به‌منظور کاهش سطح ایستابی مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج این تحقیق نشان داد که پوشش معدنی عملکرد مناسب‌تری در مقایسه دو پوشش دیگر دارد و همچنین پوشش ژئوکمپوزیت نیز دارای عملکرد بهتری نسبت به PP۴۵۰ می‌باشد. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که هنوز مطالعه جامعی به-

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 محققان در صدد جایگزین نمودن پوشش‌های دیگر که هزینه کمتری دارند بجای پوشش‌های شن و ماسه‌ای برآمده‌اند. پوشش‌های مصنوعی (ژئوتکستایل) 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. حسن اقلی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی کمیت و کیفیت زهاب زهکش‌های زیرزمینی در شرایط استفاده از پوشش معدنی و بدون پوشش در دشت شادگان پرداختند. نتایج نشان داد که زهکش‌های بدون پوشش دارای عملکرد مناسبی در تخلیه زهاب از نیمرخ خاک دارند. رضانی مقدم (۱۳۸۸) عملکرد دو نوع پوشش مصنوعی PP۴۵۰ تولید داخل را در مقایسه با نمونه مشابه هلندی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که پوشش‌های مورد بررسی از لحاظ نفوذپذیری و خصوصیات هیدرولیکی دارای کارایی مناسبی می‌باشد. جعفری تلو کلایی و همکاران (۱۳۹۲) 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 تحقیق در یک فصل کشت کلزا نشان داد که میانگین دبی زهکش با پوشش مصنوعی ۸۸ درصد در مقایسه پوشش معدنی بیشتر است. نتایج بررسی‌های مهدی-نژادیانی (۱۳۸۵) در اهواز که به‌منظور 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. زیرا دارای بیشتر معیارهای طراحی (معیار نگهداری ذرات، معیار جلوگیری از انسداد، معیار هیدرولیکی) و همچنین هدایت هیدرولیکی مناسب می-

عملکرد هیدرولیکی و پتانسیل گرفتگی را در هر گرادیان مشخص و برای هر مقدار دبی خروجی محاسبه نمود.

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). نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی و برخی پارامترهای شیمیایی در جدول ۱ نشان داده شده است.

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 لذا ارائه روابطی به منظور ساده‌سازی روابط مربوط به نفوذسنج 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 می‌توان

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و بعضی پارامترهای شیمیایی نمونه خاک مورد آزمایش.

رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	نوع بافت	گچ (%)	آهک (%T.N.V.)	نسبت جذب سدیم	کربن آلی (%OC)	وزن مخصوص حقیقی (gr cm ⁻³)
۲۳/۷۱	۶۱/۲۹	۵/۰	لومی رسی سیلتی	ندارد	۴۵/۲۵	۸۲/۸۹	۰/۰۵۸۵	۲/۷۹

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 (بی‌نام ۲۰۰۱). این آزمایش برای سه نوع پوشش مصنوعی ژئوتکستایل (PP-۴۵۰، PP-۷۰۰ و PP-۹۰۰) 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 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 برخلاف 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

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. سپس بر اساس جدول تهیه‌شده توسط دفتر عمران اراضی آمریکامحدوده 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. برای انجام این آزمایش از یک دستگاه نفوذسنج^۲ که به منظور تعیین نفوذپذیری مجموعه خاک-ژئوتکستایل و نیز پتانسیل گرفتگی فیزیکی ژئوتکستایل بکار می‌رود استفاده شد. قسمت اصلی این دستگاه، استوانه‌ای شفاف از جنس پلکسی گلاس^۳ به قطر داخلی ۱۰۰ و ضخامت دیواره ۵ میلیمتر می‌باشد که در ترازهای مختلف آن تعدادی پیژومتر جهت بررسی تغییرات شیب هیدرولیکی در

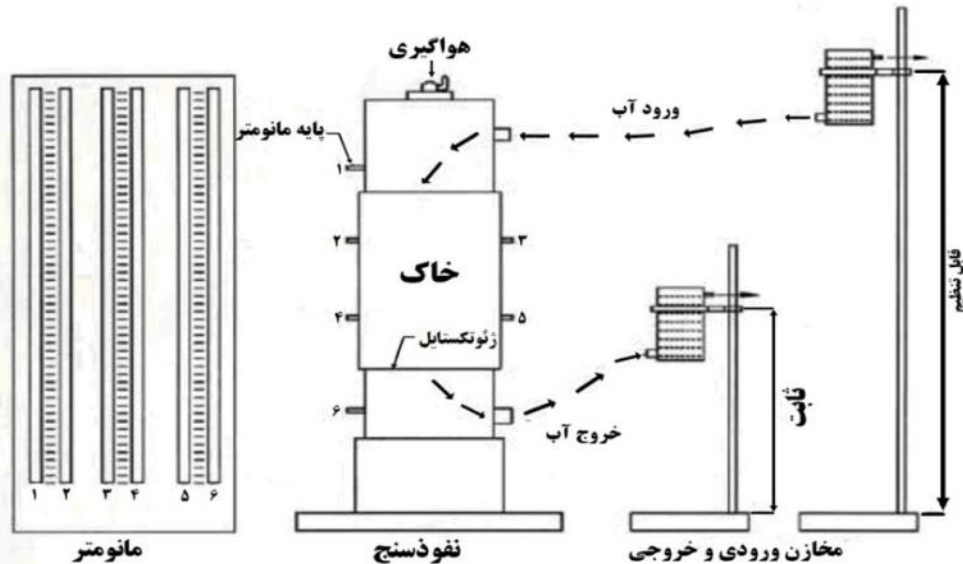
^۱-USBR

^۲ - Permeameter

^۳-Plexiglas

شده است. در فوقانی‌ترین بخش دستگاه شیر تخلیه هوا وجود دارد که در حین عملیات اشباع و راه-

اندازی دستگاه، مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱).



شکل ۱- دستگاه نفوذسنج جهت آزمون پوشش‌های ژئوتکستایل به همراه ضمامن آن (حسن اقلی ۱۳۷۵، مهدی نژادیانی ۱۳۸۵، کریمی ۱۳۸۷).

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 میزان جریان خروجی، هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش، هدایت هیدرولیکی پوشش و هدایت هیدرولیکی خاک بدست آمد. به منظور راه‌اندازی این آزمایش ابتدا با ایجاد جریان از پایین به بالا (به منظور جلوگیری از ورود حباب هوا) و سپس با افزایش تدریجی بار آبی کل، خاک اشباع شد. آنگاه مجموعه به مدت 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 پیزومترهای 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 اجرای آزمایش کاملاً غیر ارادی است)، لذا هدف اصلی این تحقیق ارائه روابطی است که مستقل از پیزومترهای نصب شده در بدنه نفوذسنج نصب می‌باشد (مطابق شکل پیزومترهای ۲، ۳، ۴، ۵ که در بدنه نفوذسنج قرار گرفته‌اند) و نهایتاً ارائه توابع انتقالی به کمک پارامترهای زود یافت (بار آبی هیدرولیکی و دبی خروجی از زهکش) به منظور پیش‌بینی رفتار هیدرولیکی و گرفتگی پوشش زهکشی می‌باشد.

نسبت گرادیان (GR)

نسبت گرادیان از تقسیم گرادیان (شیب) هیدرولیکی سیستم خاک- پوشش بر گرادیان هیدرولیکی خاک با رابطه زیر به دست می‌آید:

$$GR = \frac{i_{se}}{i_s} \quad [1]$$

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

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad [۶]$$

که در آن P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد نمونه‌های به‌کار رفته و \bar{O} بیان‌گر مقادیر متوسط اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. کمینه مقدار ME ، $RMSE$ و CD صفر است. بیشینه مقدار EF برابر یک می‌باشد. EF و CRM می‌توانند مقدار منفی داشته باشند مقادیر زیاد ME نشان‌گر بدترین حالت کارکرد مدل است، در حالی که مقدار زیاد $RMSE$ نشان‌دهنده کارایی نامناسب مدل می‌باشد. 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. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی این آماره‌ها برابر با صفر، صفر، یک، صفر و صفر خواهد شد. CRM ، EF ، CD ، $RMSE$ ، ME به ترتیب مقادیر

نتایج و بحث

پس از انجام آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌های لازم (دبی خروجی، دمای آزمایش و قرائت مانومترها) پردازش داده‌ها در برنامه آماری برازش نمودار^۶ به انجام رسید. با توجه به برازش مدل‌های مختلف آماری برای پوشش $PP450$ مشخص شد که رابطه بین مقادیر هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش و دبی خروجی از زهکش به صورت معادله درجه یک است. همچنین رابطه این نسبت با بار هیدرولیکی به صورت درجه ۲ می‌باشد که با در نظر گرفتن تأثیر همزمان دو پارامتر دبی خروجی و بار 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

گرادین هیدرولیکی خاک می‌باشد. در این حالت اگر نسبت گرادین بزرگ‌تر از یک باشد، پوشش مستعد گرفتگی معدنی تشخیص داده می‌شود (مهدی‌نژادیانی ۱۳۸۵، کریمی ۱۳۸۷). در این تحقیق پس از انجام آزمایشات مربوطه مطابق با استاندارد موجود مقادیر هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک، هدایت هیدرولیکی پوشش و نسبت گرادین برحسب بار هیدرولیکی و مقدار دبی خروجی از زهکش ارائه گردید و این کار برای هر سه 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، بیشینه خطا^۱، ریشه دوم میانگین مربعات خطا^۲، ضریب تبیین^۳، کارایی مدل^۴ و ضریب باقیمانده‌هستند که تعریف ریاضی این آماره‌ها به صورت زیر است (همایی ۲۰۰۲).

$$ME = \max |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad [۲]$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad [۳]$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad [۴]$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad [۵]$$

^۱ - ME

^۲ -RMSE

^۳ -CD

^۴ -EF

^۵ - CRM

^۶ - Sigma plot

می‌توان اینگونه استنباط کرد که با تغییر پوشش مورد نظر و گرایان در پوشش PPV۰۰ نیز مشاهده گردید که این نسبت با نسبت هدایت هیدرولیکی پوشش به هدایت هیدرولیکی خاک رابطه دارد (معادله ۱۷). روابط مربوط به PPV۰۰ پیش‌بینی پارمترهای مختلف به صورت زیر می‌باشد.

$$K_{s,se,e} = y_0 + aH + bQ + cH^2 + eQ^2 \quad [13]$$

$$K_{se} = -2.9464 \times 10^{-5} H^2 + 0.0016H + 4.1593Q - 0.0057 \quad [14]$$

$$K_s = -2.4572 \times 10^{-5} H^2 + 0.0015H + 3.0273Q - 0.0152 \quad [15]$$

$$K_e = 2.2824 \times 10^{-5} H^2 - 0.006H + 8.8344Q + 0.2843 \quad [16]$$

$$GR = 0.7323 - 0.0397 \ln \left(\frac{K_e}{K_s} - 1.931 \right) \quad [17]$$

نتایج نشان می‌دهد که با تغییر در خصوصیات فیزیکی خاک ضرایب این فرمول‌ها نیز تغییر می‌کند. همچنین برای تخمین نسبت برای پوشش PP۹۰۰ نیز چنین روندی انجام گرفت، که شکل نهایی این توابع انتقالی در معادلات ۱۸ تا ۲۲ آورده شده است.

$$K_{s,se,e} = y_0 + aH + bQ + cH^2 + eQ^2 \quad [18]$$

$$K_{se} = 2.6849 \times 10^{-5} H^2 - 0.0057H + 2.6997Q + 0.2362 \quad [19]$$

$$K_s = 2.1791 \times 10^{-5} H^2 - 0.0046H + 1.9415Q + 0.1909 \quad [20]$$

$$K_e = 7.1239 \times 10^{-5} H^2 - 0.0102H + 6.925Q + 0.3237 \quad [21]$$

$$GR = 0.7320 - 0.0397 \ln \left(\frac{K_e}{K_s} - 1.9758 \right) \quad [22]$$

زیر آمده است که معادله‌های آنها در ۹ تا ۱۱ ارائه شده است. همچنین مشخص شد که نسبت گرایان با هیچ کدام 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 به صورت لگاریتمی رابطه دارد (رابطه ۸) و شکل نهایی آن در معادله ۱۲ ارائه شده است. روابط مربوط به PP۴۵۰ و پیش‌بینی پارامترهای مختلف به صورت زیر می‌باشد.

$$K_{s,se,e} = y_0 + aH + bQ + cH^2 \quad [7]$$

$$GR = z_0 + d \ln \left(\frac{K_e}{K_s} - x_0 \right) \quad [8]$$

$$K_{se} = 6.4032 \times 10^{-6} H^2 - 0.0021H + 3.9375Q + 0.0883 \quad [9]$$

$$K_s = 1.05 \times 10^{-6} H^2 - 0.0011H + 2.9277Q + 0.0472 \quad [10]$$

$$K_e = 0.0001H^2 - 0.0195H + 3.2301Q + 1.0949 \quad [11]$$

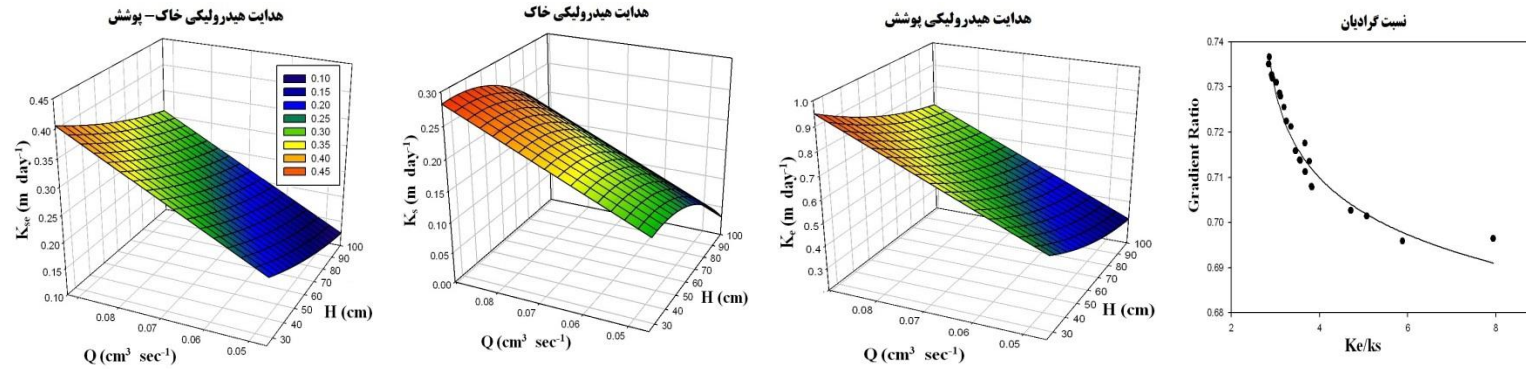
$$GR = 0.7138 - 0.0137 \ln \left(\frac{K_e}{K_s} - 2.6726 \right) \quad [12]$$

همین عملیات برای پوشش‌های PPV۰۰ نیز به انجام رسید و مشخص شد مشابه با پوشش PP۴۵۰، 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 به صورت درجه دوم می‌باشد (رابطه ۱۳ و ۱۸). شکل کلی معادلات مربوط به پوشش PPV۰۰ و برای پارامترهای هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک و هدایت هیدرولیکی پوشش به ترتیب در معادلات ۱۴ تا ۱۶ آورده شده است.

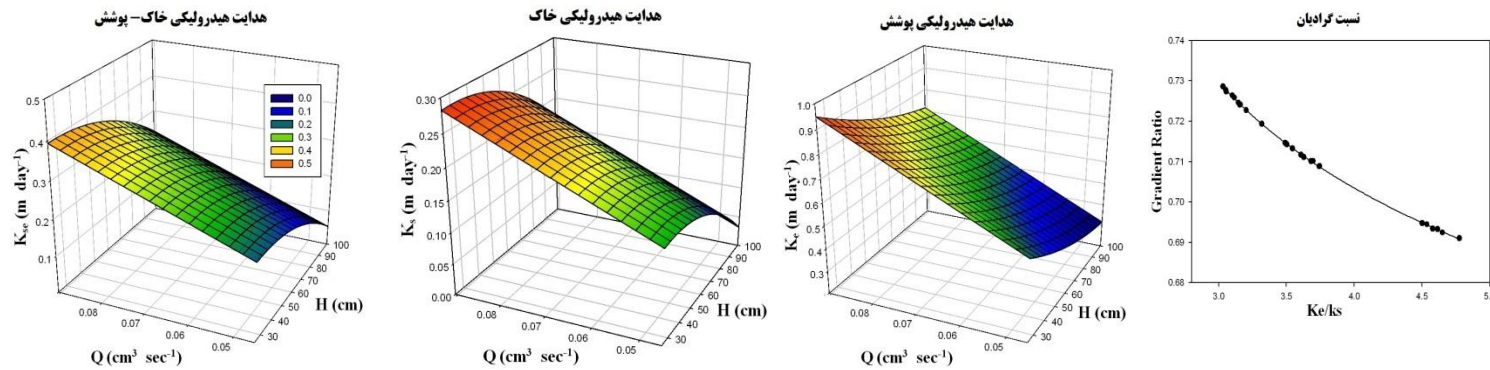
مشاهده می‌شود که این مقدار در اوایل آزمایش که نسبت هدایت هیدرولیکی پوشش به هدایت هیدرولیکی خاک کم است، بیشترین مقدار خود را دارد و پتانسیل گرفتگی نیز بالاست اما به مرور زمان و با افزایش نسبت هدایت هیدرولیکی، مقدار نسبت گرادیان کمتر می‌شود و متناسب با آن پتانسیل گرفتگی نیز کم می‌شود و این نیز شاید به دلیل تحکیم خاک و جلوگیری از نشست ذرات بر روی پوشش می‌باشد.

که در آنها K_e , K_s , 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 (متر مکعب بر ثانیه)، H : بار آبی (سانتی-متر)، y_0 , a , b , c , e : ضرایب مربوط به معادلات هدایت هیدرولیکی و x_0 , d , z_0 : ضرایب مربوط به معادلات نسبت گرادیان می‌باشند. نتیجه این تحقیق نشان داد که با تغییر در نوع پوشش شکل کلی معادلات تغییری حاصل نمی‌شود و فقط ضرایب معادلات تغییر می‌کنند. استنباط بر این است که به منظور استفاده از این روابط در شرایط مختلف (تغییر خصوصیات فیزیکی خاک و تغییر نوع پوشش) فقط ضرایب این معادلات واسنجی شوند. همچنین پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی سه نوع پوشش در شکل‌های ۲ تا ۴ نشان می‌دهد که در هر سه نوع پوشش 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 آزمایشات 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.

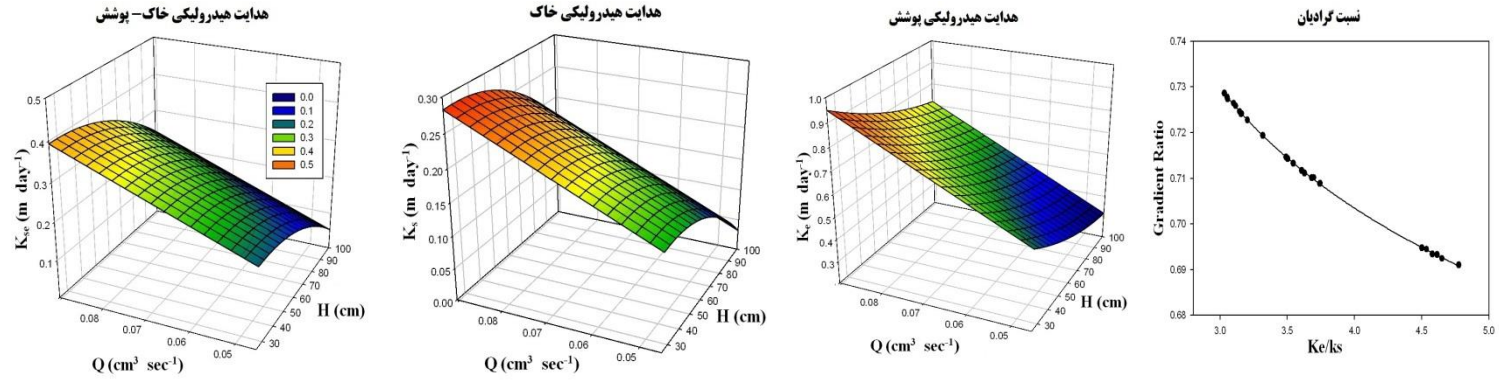
پس از روی اشکال می‌توان این استنباط را کرد که در گرادیان‌های پایین هدایت هیدرولیکی بیشتر است و بتدریج با افزایش گرادیان احتمال کنده شدن ذرات خاک (و گرفتار شدن ذرات در پوشش و گرفتگی پوشش) وجود دارد. با توجه به این شکل مشخص می‌شود حساس‌ترین بار هیدرولیکی که در آن هدایت هیدرولیکی پوشش کمترین مقدار می‌باشد مربوط به افزایش تدریجی بار از ۴۰ تا ۶۰ سانتیمتر می‌باشد که در این حالت تغییرات کاهش هدایت هیدرولیکی زیاد می‌باشد. همچنین از مشاهده نمودار مربوط به نسبت گرادیان



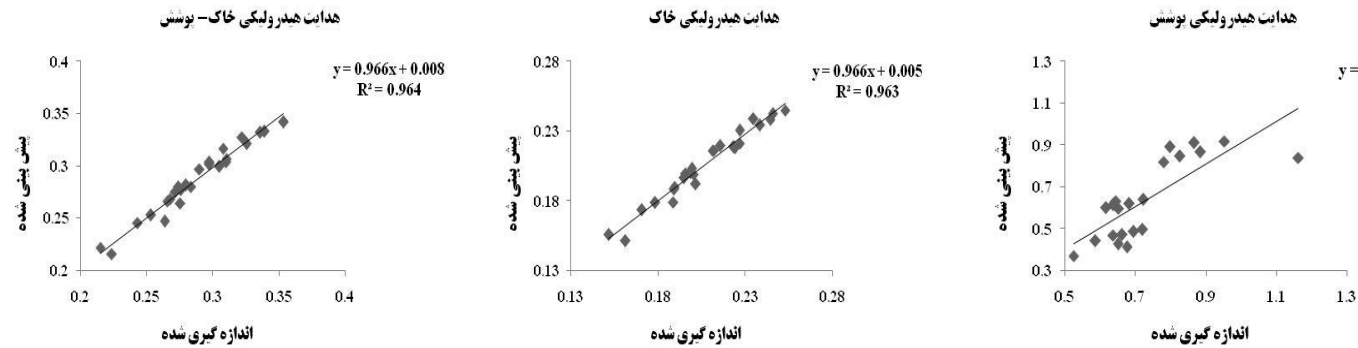
شکل ۲- مقادیر پیش‌بینی شده هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک و نسبت گرادیان در پوشش PP450.



شکل ۳- مقادیر پیش‌بینی شده هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک و نسبت گرادیان در پوشش PP700.



شکل ۴- مقادیر پیش بینی شده هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک و نسبت گرادیان در پوشش PP۹۰۰.



شکل ۵- ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک، هدایت هیدرولیکی پوشش در پوشش PP۴۵۰.

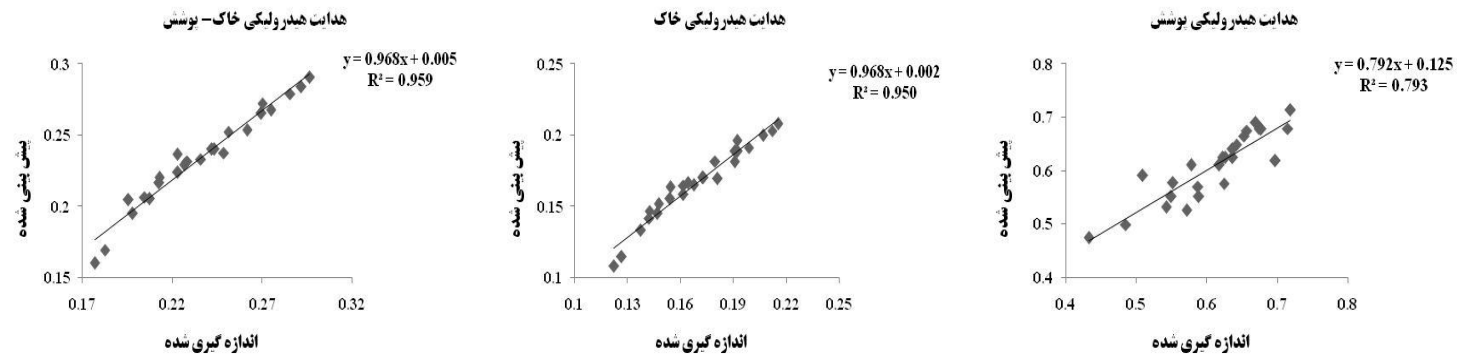
مربوط به تخمین نسبت گرادیان برای سه نوع پوشش PP۴۵۰، PP۷۰۰، PP۹۰۰ به ترتیب مقادیر ۰/۹۶، ۰/۹۹ و ۰/۹۹ می‌باشد که این مقادیر نشان دهنده عملکرد خوب این مدلها می‌باشد و می‌توان به نتایج حاصل از پیش‌بینی این مدلها اعتماد کرد و در طراحی و ارزیابی این پوشش‌ها از آن استفاده نمود. همچنین در این جدول‌ها (جدول ۲ و ۳) اعداد داخل پرانتز مربوط به خطای هر یک از ضرایب معادلات می‌باشد. در نهایت به منظور ارزیابی مدل‌های ارائه شده پارامترهای آماری خطا (جدول ۴) مورد ارزیابی قرار گرفت که مقادیر آن در دامنه قابل قبولی بود که نشان‌دهنده کارایی بالای این مدل‌ها در پیش‌بینی رفتار پوشش‌های زهکشی دارد.

همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه-گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده برای پوشش PP۴۵۰ و برای هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش، خاک و پوشش به ترتیب ۰/۹۶۴، ۰/۹۶۳، ۰/۶۲۱ می‌باشد (شکل ۵) و برای پوشش PP۷۰۰ نیز این مقادیر به ترتیب ۰/۹۵۹، ۰/۹۵، ۰/۷۹۳ (شکل ۷) و برای پوشش PP۹۰۰ نیز این مقادیر به ترتیب ۰/۹۷۴، ۰/۹۰۵ می‌باشد (شکل ۷) 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 ۳ مشخص می‌شود که ضریب همبستگی

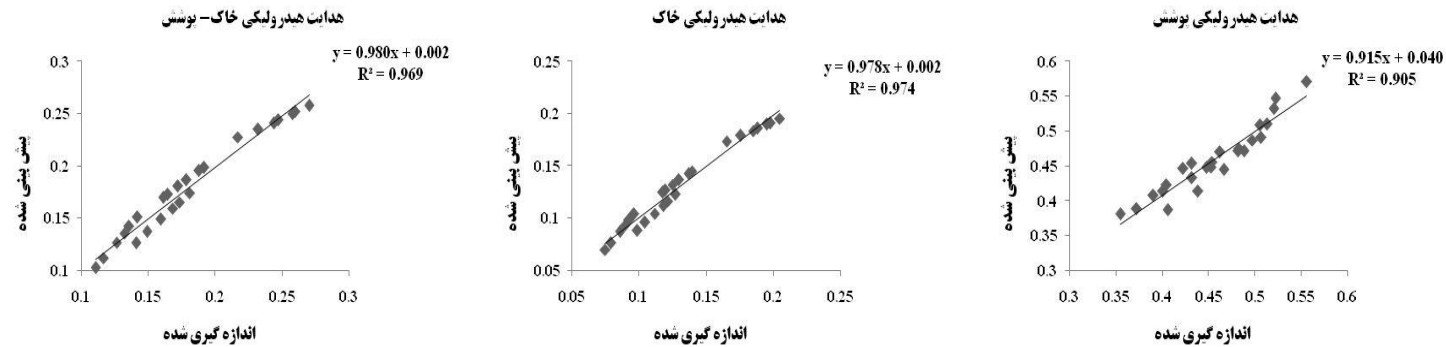
جدول ۲- مقادیر تعیین‌شده ضرایب و خطای مربوط به هر کدام و ضریب همبستگی در تعیین هدایت هیدرولیکی.

R ²	ضرایب تخمینی					پارامتر	مدل	نوع پوشش
	e	c	b	a	y ₀			
۰/۹۶۴	.	۰/۰۰۰۰۰۶۴۰۳۲	(۰/۱۷۸۴)۳/۹۳۷۵	-۰/۰۰۲۱	-۰/۰۸۸۳	K _{se}	درجه	معادله های مستخرج برای پوشش PP۴۵۰
	.	(۰/۰۰۰۰۰۲۴۷۳۲)		(۰/۰۰۰۰۳)	(۰/۰۱۰۳)		دوم	
۰/۹۶۳	.	۰/۰۰۰۰۰۱۰۵	۲/۹۲۷۷	-۰/۰۰۱۱	-۰/۰۴۷۲	K _s	درجه	معادله های مستخرج برای پوشش PP۴۵۰
	.	(۰/۰۰۰۰۰۱۹۰۵۵)	(۰/۱۳۵۹)	(۰/۰۰۰۰۳)	(۰/۰۰۸)		دوم	
۰/۶۲۱	.	۰/۰۰۰۰۱	۳/۲۳۰۱	-۰/۰۱۹۵	۱/۰۹۴۹	K _e	درجه	معادله های مستخرج برای پوشش PP۷۰۰
	.	(۰/۰۰۰۰۰۳۰۶۰۹)	(۲/۱۸۲۷)	(۰/۰۰۴۱)	(۰/۱۲۷۹)		دوم	
۰/۹۵۹	.	-۰/۰۰۰۰۰۲۹۴۶۴	۴/۱۵۹۳	۰/۰۰۱۶	-۰/۰۰۵۷	K _{se}	درجه	معادله های مستخرج برای پوشش PP۷۰۰
	.	(۰/۰۰۰۰۰۲۳۴۵۶)	(۰/۲۲۳۳)	(۰/۰۰۰۰۳)	(۰/۰۱۲۶)		دوم	
۰/۹۵	.	-۰/۰۰۰۰۰۲۴۵۷۲	۳/۰۲۷۳	۰/۰۰۱۵	-۰/۰۱۵۲	K _s	درجه	معادله های مستخرج برای پوشش PP۹۰۰
	.	(۰/۰۰۰۰۰۱۹۵۴۳)	(۰/۱۸۵۹)	(۰/۰۰۰۰۳)	(۰/۰۱۰۵)		دوم	
۰/۷۹۳	.	۰/۰۰۰۰۰۲۲۸۲	۸/۸۳۴۴	-۰/۰۰۰۶	-۰/۲۸۴۳	K _e	درجه	معادله های مستخرج برای پوشش PP۹۰۰
	.	(۰/۰۰۰۰۰۱۱۱۳۶)	(۱/۰۵۹۹)	(۰/۰۰۱۴)	(۰/۰۵۹۸)		دوم	
۰/۹۶۹	.	۰/۰۰۰۰۰۲۶۸۴۹	۲/۶۹۹۷	-۰/۰۰۵۷	-۰/۲۳۶۲	K _{se}	درجه	معادله های مستخرج برای پوشش PP۹۰۰
	.	(۰/۰۰۰۰۰۳۲۵۱۶)	(۰/۳۴۸۳)	(۰/۰۰۰۰۵)	(۰/۰۱۴۲)		دوم	
۰/۹۷۴	.	۰/۰۰۰۰۰۲۱۷۹۱	۱/۹۴۱۵	-۰/۰۰۴۶	-۰/۱۹۰۹	K _s	درجه	معادله های مستخرج برای پوشش PP۹۰۰
	.	(۰/۰۰۰۰۰۲۴۸۶۴)	(۰/۲۶۶۳)	(۰/۰۰۰۰۴)	(۰/۰۱۰۹)		دوم	
۰/۹۰۵	.	۰/۰۰۰۰۰۷۱۲۳۹	۶/۹۲۵	-۰/۰۱۰۲	-۰/۳۲۳۷	K _e	درجه	معادله های مستخرج برای پوشش PP۹۰۰
	.	(۰/۰۰۰۰۰۶۱۷۶۷)	(۰/۶۶۱۶)	(۰/۰۰۰۰۹)	(۰/۰۲۷)		دوم	

*در جدول فوق اعداد مربوطه ضرایب معادلات و اعداد داخل پرانتز خطای مربوط به آن ضریب می‌باشد.



شکل ۶- ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک، هدایت هیدرولیکی پوشش در پوشش PP۷۰۰.



شکل ۷- ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک، هدایت هیدرولیکی پوشش در پوشش PP۹۰۰.

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

ضرایب تخمینی

R ²	X ₀	d	Z ₀	پارامتر	مدل	نوع پوشش
۰/۹۶	۲/۶۷۲۶ (۰/۰۶۰۷)	-۰/۰۱۳۷ (۰/۰۰۱۵)	۰/۷۱۳۸ (۰/۰۰۱۳)	نسبت گرادیان	لگاریتمی	معادله مستخرج برای PP۴۵۰
۰/۹۹	۱/۹۳۱ (۰/۰۳۷۷)	-۰/۰۲۹۷ (۰/۰۰۱۳)	۰/۷۳۲۳ (۰/۰۰۱۳)	نسبت گرادیان	لگاریتمی	معادله مستخرج برای PP۷۰۰
۰/۹۹	۱/۹۷۵۸ (۰/۰۲۴۷)	-۰/۰۲۹۷ (۰/۰۰۰۹)	۰/۷۳۲ (۰/۰۰۱۳)	نسبت گرادیان	لگاریتمی	معادله مستخرج برای PP۹۰۰

جدول ۴- پارامترهای آماری محاسبه شده برای اعتبار مدل‌ها.

ضریب باقیمانده	پارامتر	بیشینه خطا (m day ⁻¹)	میانگین ریشه دوم خطا (m day ⁻¹)	ضریب تبیین	کارآیی مدل- ساز	ضریب باقیمانده
۰/۰۰۳۵۶	K _{se}	۰/۰۱۶۸	۰/۰۲۶۶	۱/۰۳۲	۰/۹۶۳۱	۰/۰۰۳۵۶
۰/۰۰۶۶۷	K _s	۰/۰۱۰۲	۰/۰۲۱۶	۱/۰۲۸۴	۰/۹۶۰۵	۰/۰۰۶۶۷
۰/۱۸۰۵۸	K _e	۰/۳۳۶۹	۰/۷۳۹۴	۰/۳۲۷	-۱/۰۷۵۷	۰/۱۸۰۵۸
۰/۰۰۰۰۰۵	GR	۰/۰۰۵۴	۰/۰۱۰۲	۱/۰۴۲۸	۰/۹۶	۰/۰۰۰۰۰۵
۰/۰۰۹۴	K _{se}	۰/۰۱۷	۰/۰۲۸۴	۱/۰۱۹۱	۰/۹۵۴۸	۰/۰۰۹۴
۰/۰۱۷۶	K _s	۰/۰۱۴۵	۰/۰۲۶۳	۱/۰۰۰۸	۰/۹۳۶۸	۰/۰۱۷۶
۰/۰۰۲۲	K _e	۰/۰۸۱۷	۰/۱۱۳۳	۱/۲۶۴۷	۰/۷۹۳۲	۰/۰۰۲۲
۰/۰۰۰۱	GR	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۷	۱/۰۰۰۹	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۰۱
۰/۰۰۶۴	K _{se}	۰/۰۱۴۷	۰/۰۳۷۷	۱/۰۰۸۸	۰/۹۶۹	۰/۰۰۶۴
۰/۰۰۲۵	K _s	۰/۰۱۰۶	۰/۰۲۸۹	۱/۰۱۷۷	۰/۹۷۴۹	۰/۰۰۲۵
-۰/۰۰۵۴	K _e	۰/۰۲۵۶	۰/۰۶۷۵	۱/۰۷۷۴	۰/۹۰۳۳	-۰/۰۰۵۴
۰	GR	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۲۸	۰/۹۹۸۴	۰/۹۹۹۱	۰

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مدل‌های شبیه‌سازی ارائه شده برای پارامترهای هدایت هیدرولیکی پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی خاک و همچنین نسبت گرادیان (برای سه نوع پوشش PP۴۵۰، PP۷۰۰ و PP۹۰۰) دارای عملکرد مناسبی می‌باشد. همچنین قابل ذکر است به منظور استفاده از این روابط برای شرایط متفاوت (به-ویژه خصوصیات فیزیکی خاک)، با انجام یکسری

آزمایشات نفوذسنجی ضرایب معادلات به سادگی واسنجی می‌شود. از دیگر مزایای این مدل‌ها این است که فقط با اندازه‌گیری پارامترهای زودیافت (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.

منابع مورد استفاده

- Agar AI, 2011. Selection of geo-synthetic filter materials as drain envelopes in clay and silty loam soils to prevent siltation: A case study from Turkey. *African Journal of Agricultural Research* 6(16): 3930-3935.
- Anonymous, 2001. Standard test method for measuring the soil geotextile system clogging potential by the gradient ratio. Designation: ASTM Committee, D 5101-01 under the jurisdiction of ASTM Committee D35 on Geosynthetics.
- 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. *Journal of Water and Soil* 27(1): 123-130.
- Hassanoghli A, 1997. The evaluation of geotextile drain pipe filters performance in soil (laboratory experiment). MSc thesis, College of Agriculture, University of Tehran.
- Hassanoghli A and Pedram Sh, 2013. Assessment of clogging potential of three different synthetic drainage envelopes in application of Saline water and soil by permeability test. *Journal of Water and Soil* 26(6): 1395-1409.
- Hassanoghli A, Esmaeili A and Sakhaeirad H, 2015. Investigation of subsurface drainage water quality and quantity of drains without envelope in comparison with mineral envelope in Shadegan plain. *Journal of Water Research in Agriculture* 29(2): 264-275.
- Homaee M, Direksen, C, and Feddes, RA, 2002. Simulation of root water uptake: I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions *Agricultural Water Management* 57: 89-109.
- Karimi B, 2009. Evaluation of three synthetic drain envelopes performance as compared with conventional gravel envelope in laboratory experiment. MSc thesis, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran.
- Mehdinejadani B, 2007. Laboratory evaluation of synthetic envelope application in subsurface drainage and compared with conventional envelopes. MSc thesis. Faculty of water Engineering and science, University of Ahvaz.
- Ramazani moghadam J, 2010. Laboratory evaluation of artificial envelopes of subsurface drainage Produced in Iran and Comparing with Other Similar Foreign. MSc thesis, Faculty of water Engineering and science, University of Ahvaz.
- Zehtabian M, Ghobadinia M and Hassanoghli A, 2015. Evaluation of three geocomposite envelope-drains in an experimental model. *Journal of Water Research in Agriculture* 29(2): 249-261.