

تعیین ضرایب برخی مدل‌های نفوذ آب در دو خاک آهکی منطقه باجگاه در استان فارس

عبدالمجید ثامنی^۱، مرتضی پاکجو^۲، سید علی اکبر موسوی^{۳*}، علی اکبر کامکار حقیقی^۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۱۳

۱- دانشیار بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۳- دانشیار بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۴- استاد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: aamousavi@gmail.com

چکیده

نفوذ آب به خاک در چرخه آب نقش مهمی داشته و سبب شده پژوهشگران به دنبال ارائه مدل مناسبی برای بیان کمی آن باشند. در این پژوهش، عملکرد مدل‌های نفوذ کوستیاکوف-لوییز، کوستیاکوف، فیلپ، هورتون و حفاظت خاک آمریکا در برآورد نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده با استوانه‌های مضاعف در دو خاک آهکی متفاوت از منطقه باجگاه استان فارس بررسی شد. ضرایب مدل‌ها به روش کمینه مجموع مربعات خطا تعیین شد. جهت بررسی صحت عملکرد مدل‌ها از میانگین خطا، ریشه میانگین خطا، شاخص ویلموت، درصد کارایی مدل، شاخص میانگین درصد خطا و ضریب -تبیین استفاده شد. مدل کوستیاکوف-لوییز با ضریب تبیین ۰/۹۹۸ تا ۰/۹۹۹ بهترین مدل در برآورد میزان نفوذ تجمعی در هر دو خاک بود. مدل‌های کوستیاکوف-لوییز و حفاظت خاک آمریکا با میانگین خطای ۰/۰۱۹ تا ۰/۰۶۴ جزء مدل‌های بیش‌برآوردکننده و مدل‌های فیلپ، کوستیاکوف و هورتون با میانگین خطای ۰/۰۳۳ تا ۰/۰۳۷۷- جزء مدل‌های کم برآوردکننده بودند. به‌طور کلی نتایج نشان داد استفاده از مدل‌ها (و به‌ویژه مدل کوستیاکوف-لوییز) در خاک درشت-بافت مورد مطالعه در مقایسه با خاک ریزبافت و در ابتدای نفوذ منجر به نتایج دقیق‌تری می‌شود که این موضوع می‌تواند در مدل‌سازی نفوذ در خاک‌های آهکی مورد توجه قرار گیرد. البته پیشنهاد می‌شود آزمایش در طیف وسیع‌تری از بافت و شرایط مختلف خاک انجام و بر اساس نتایج حاصل در هر خاک تصمیم‌های مدیریتی متناسب با شرایط خاک اتخاذ شود.

واژه‌های کلیدی: استوانه‌های مضاعف، بافت خاک، خاک آهکی، مجموع مربعات خطا، مدل‌های نفوذ

Determining Coefficients of Some Water Infiltration Models in Two Calcareous Soils of Bajgah Region in Fars Province

AM Sameni¹, M Pakjoo², AA Moosavi^{3*}, AA Kamkar Haghghi⁴

Received: 20 January 2015 Accepted: 3 July 2016

1-Assoc. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agric., Shiraz University, Shiraz, Iran

2-M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Faculty of Agric., Shiraz University, Shiraz, Iran

3-Assoc. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agric., Shiraz University, Shiraz, Iran

4-Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agric., Shiraz University, Shiraz, Iran

*Corresponding Author, Email: aamousavi@gmail.com

Abstract

Water infiltration into soil plays key role in water cycle and its importance forced researchers to introduce appropriate models for its quantitative study. In the present study, the Kostiakov-Lewis, Kostiakov, Philip, Horton, and SCS models were evaluated for estimating measured cumulative infiltration by double rings in two different calcareous soils of Bajgah region in Fars province. Coefficients of the aforementioned models were determined by the least sum of squared error method. Mean of error (*ME*), root mean error (*RME*), Willmot's index of agreement (*W*), efficiency factor (*EF*) of model, index of mean error percentage (*MEP*) and determination coefficient (R^2) were used for evaluation of the models efficiency. The Kostiakov-Lewis with R^2 of 0.998 -0.999 was the most suitable model in estimation of the cumulative infiltration in the studied soils. The Kostiakov-Lewis and SCS with mean errors of 0.0019 to 0.064 overestimated, while Philip, Kostiakov and Horton with mean errors of -0.0033 to -0.0377 underestimated the infiltration. In general, results indicated that using the models (specifically Kostiakov-Lewis) in the studied coarse textured soil in comparison to fine textured soils for short times after beginning of infiltration had more accurate results. This matter should be considered in infiltration modeling in calcareous soils. Of course, it is recommended that the experiments be done in wider ranges of soil textures and conditions and by taking into consideration the circumstances of each soil, appropriate managerial decisions be taken.

Keywords: Calcareous soil, Double rings, Infiltration models, Soil texture, Sum of square error

مقدمه

رشد گیاه و تخمین مقدار آب اضافی مورد نیاز که باید از طریق آبیاری تامین شود و نیز در طراحی سیستم‌های آبیاری، دارای اهمیت می‌باشد. اهمیت نفوذ سبب شده تا مدل‌های فیزیکی و تجربی گوناگونی برای کمی کردن این فرایند ارائه شود (محمدی و رفاهی ۱۳۸۴، آرگروکاسترتیتی و کرکیدس ۲۰۰۳، فیلیپ ۱۹۵۷). به‌طور کلی مدل‌های نفوذ، شامل مدل‌های تخمینی با اصول

نفوذ فرآیند اولیه ورود آب از سطح به داخل ناحیه غیر اشباع خاک می‌باشد. این فرآیند از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژی است. کمی کردن نفوذ آب به خاک در مدیریت حوضه‌های آبخیز از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (موخبیر ۲۰۰۸). همچنین کمی کردن نفوذ برای تعیین میزان آب قابل‌دسترس برای

مدل هورتون در بیان کمی نفوذ دارای بهترین عملکرد می‌باشد. همچنین، نوع کاربری اراضی اثر معنی‌داری بر ضرایب مدل‌های مورد بررسی داشت. ترنر (۲۰۰۶) عملکرد مدل‌های نفوذ را به لحاظ توانایی آنها در برآورد سرعت نفوذ اندازه‌گیری شده به‌روش باران مصنوعی در مناطق مالبرو و مرلند در آمریکا مقایسه و گزارش کردند مدل‌های گرین-آمپت، هولتان، فیلیپ، کوستیاکوف و هورتون به‌ترتیب، در رتبه‌های اول تا پنجم قرار گرفتند. نشاط و پاره‌کار (۱۳۸۴) عملکرد مدل‌های نفوذ کوستیاکوف، گرین-آمپت، فیلیپ، هورتون و سازمان حفاظت خاک آمریکا در برآورد نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ اندازه‌گیری شده به‌روش استوانه‌های مضاعف را مقایسه و بیان کردند که مدل کوستیاکوف برای برآورد نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ، مناسب‌ترین مدل می‌باشد. پژوهشگران در مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل‌های نفوذ به نتایج متفاوت و گاهی ضد و نقیض دست یافته‌اند. از دلایل این امر طبیعت تغییرپذیر نفوذ آب به خاک است. به‌گونه‌ای که این عامل سبب تفاوت عملکرد حتی برای یک مدل در دو خاک بسیار مشابه می‌شود (سی ۲۰۰۶). همچنین بسته به‌روش اندازه‌گیری نفوذ، شرایط اولیه و مرزی جریان آب در خاک متفاوت خواهد بود (برداوج و سینگ ۱۹۹۲). دلیل دیگر تفاوت در نتایج، استفاده از آماره‌های متفاوت برای ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های نفوذ می‌باشد. از آنجا که هر آماره بیانگر جنبه خاصی از عملکرد مدل می‌باشد لذا استفاده صرف از یک آماره ممکن است به‌تنهایی برای ارزیابی عملکرد یک مدل مناسب نباشد (بلوچی و همکاران ۲۰۰۲). در برخی از پژوهش‌ها، در برآورد مدل‌های نفوذ به داده‌های اندازه‌گیری، به دامنه معقول فیزیکی ضرایب مدل‌های نفوذ توجهی نشده است. به‌عنوان نمونه صادق‌زاده و همکاران (۲۰۰۷) مقدار ضریب A مدل فیلیپ را منفی گزارش کردند که فاقد توجیه فیزیکی می‌باشد. بنابراین، از آنجا که هر مدل نفوذ بر اساس اطلاعات مربوط به تعداد محدودی نمونه خاک

فیزیکی و مدل‌های تخمینی تجربی می‌باشند (راولز ۱۹۹۳). در مدل‌های فیزیکی (مدل‌های گرین-آمپت و فیلیپ) با تکیه بر مبانی فیزیکی، سعی در ساده‌سازی شرایط اولیه و مرزی در معادله جریان در محیط غیر-اشباع است. این فرضیات، داده‌های فیزیکی مورد نیاز مدل‌ها (ویژگی‌های فیزیکی خاک که در قالب ضرایب به مدل‌ها وارد می‌شوند) را کاهش می‌دهد (هاورکمپ ۱۹۸۷). مدل‌های تجربی بدون در نظر گرفتن فرضیات برای شرایط سطح و نیم‌رخ خاک توسعه یافته‌اند و از این نظر محدودیتی ندارند ولی به شرایطی که برای آن واسنجی شده‌اند، محدود می‌شوند. مدل‌های تجربی بر اساس ضرایبی هستند که از طریق برازش منحنی تعیین شده یا از دیگر روش‌ها تخمین زده می‌شوند (والش و مک‌دونل ۲۰۱۲). از مدل‌های تجربی می‌توان به مدل‌های کوستیاکوف، هورتون، کوستیاکوف-لوپیز و سازمان حفاظت خاک آمریکا^۱ (SCS) اشاره نمود (هاورکمپ ۱۹۸۷).

با توجه به اینکه عوامل متعددی از جمله نوع خاک، بافت، ساختمان و به‌ویژه جرم مخصوص ظاهری خاک، تخلخل (برادی و ویل ۲۰۰۸)، رطوبت خاک (چوداری و همکاران ۲۰۰۶، و لیا و رن ۲۰۰۷)، عملیات کشاورزی (عمادی و همکاران ۲۰۰۸) و میزان ماده آلی خاک (بابالولا و همکاران ۲۰۱۲) بر ظرفیت نفوذ آب به خاک مؤثر می‌باشند و از طرفی فرضیات و ضرایب در مدل‌های نفوذ با هم متفاوت هستند انتظار می‌رود در شرایط معین، مدل خاصی دارای عملکرد بهتری باشد. پژوهش‌هایی در زمینه ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های نفوذ انجام شده است (محمدی و رفاهی ۱۳۸۴، قربانی دشتکی و همکاران ۲۰۰۹، میثرا و همکاران ۲۰۰۳). شوکلا و همکاران (۲۰۰۳) با اندازه‌گیری نفوذ با استوانه‌های مضاعف در منطقه اوهایو در آمریکا، عملکرد ۱۰ مدل نفوذ شامل مدل‌های تجربی و فیزیکی را در کاربری‌های مختلف اراضی بررسی و بیان کردند

1- Soil Conservation Service (SCS)

انتخاب مناسب‌ترین مدل نفوذ آب به خاک در دو سری خاک آهکی.

مواد و روش‌ها

محل انجام آزمایش و اندازه‌گیری ویژگی‌های اولیه خاک

پژوهش حاضر در دو خاک متفاوت شامل سری کوی اساتید (خاک رسوبی آبرفتی واریزه‌ای سنگریزه-دار) و سری دانشکده (خاک آهکی بدون سنگریزه) از اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه در ارتفاع ۱۸۱۰ متری از سطح دریا با مساحت تقریبی به ترتیب ۱۷۶۲ و ۷۴۵ هکتار (به ترتیب حدود ۴۸ و ۲۰ درصد از کل اراضی منطقه) انجام شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد معمول مطابق پژوهش موسوی و سپاسخواه (۲۰۱۲) اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

و یا با در نظر گرفتن فرضیات خاصی به دست آمده، لذا دامنه استفاده از آنها در خاک‌های مختلف چندان مشخص نیست. به همین دلیل، ارزیابی کارایی مدل‌ها در خاک‌های مناطق مختلف ایران از جمله استان فارس که اغلب آهکی می‌باشند و تحقیقات اندکی در این ارتباط در آنها انجام شده ضروری به نظر می‌رسد. همچنین از آنجا که نفوذ جمعی دارای مفهوم فیزیکی روشنی بوده و به راحتی قابل اندازه‌گیری می‌باشد، کمی کردن نفوذ با استفاده از نفوذ جمعی، بیان واقعی‌تری از پدیده نفوذ آب به خاک ارائه می‌دهد. بنابراین هدف-های این تحقیق عبارت بودند از: ۱- تعیین ضرایب مدل-های مختلف نفوذ آب به خاک (فیلیپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز، هورتون و حفاظت خاک آمریکا) در دو سری خاک آهکی ۲- مقایسه کارایی مدل‌های نفوذ و

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

ویژگی‌های خاک	خاک سری دانشکده	خاک سری کوی اساتید
شن (%)	۱۶/۳۴	۴۰/۰۲
سیلت (%)	۵۷/۸۷	۴۶/۹۷
رس (%)	۲۵/۸۱	۱۳/۰۱
کلاس بافت خاک	لوم سیلتی	لوم شنی
قابلیت هدایت الکتریکی (dS m^{-1})	۰/۶۵	۰/۶۹
شاخص اسیدی یا بازی بودن خاک (pH)	۷/۸۴	۷/۶۵
ماده آلی (%)	۲/۲۹	۲/۳۴
ظرفیت تبادل کاتیونی ($\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$)	۴۹/۵۲	۴۳/۴۰
کربنات کلسیم معادل (%)	۴۰/۸۰	۴۰/۷۰
درصد سدیم قابل تبادل	۳/۸۷	۳/۰۵
طبقه‌بندی خاک*	Xerochrepts	Xerorthents

* طبقه‌بندی خاک بر اساس گزارش خاکشناسی ابطحی و همکاران (۱۳۷۰) می‌باشد.

آزمایش‌های نفوذ

آزمایش‌های نفوذ با استوانه‌های مضاعف انجام شد. ابتدا دو استوانه با قطرهای ۶۰ و ۳۰ سانتی‌متر به صورت هم‌مرکز روی سطح زمین هموار قرار داده شد و با استفاده از درپوش و ضربات غیرمستقیم چکش، استوانه‌ها حدود ۱۵ سانتی‌متر در زمین کوبیده شدند.

در فاصله بین دو استوانه و داخل استوانه کوچک، با احتیاط و بدون بر هم زدن خاک، آب معمولی (با dS m^{-1} $\text{EC}=0.5$ و $\text{SAR}=0.5$) ریخته شد. آب موجود بین دو استوانه سبب می‌شود آب مورد نیاز برای جریان جانبی آب در خاک تأمین شده و نفوذ اندازه‌گیری شده در استوانه داخلی تنها نفوذ عمقی و یک‌بعدی باشد. لازم به

آماره ME بیان می‌کند که مدل مورد بررسی، نفوذ آب در خاک را بیشتر از مقدار واقعی (مقادیر مثبت) یا کمتر از مقدار واقعی (مقادیر منفی) برآورد می‌کند. مقادیر کمتر این آماره نشان‌دهنده اطمینان بیشتر از نفوذ برآورد شده می‌باشد. آماره دیگر، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ($NRMSE$) است که به صورت زیر محاسبه می‌شود (شوایپ و لیج ۱۹۹۸ به نقل از موسوی و سپاسخواه، ۲۰۱۲):

$$NRMSE = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (I(m)_j - I(p)_j)^2 \right) / I(\text{mean}) \quad [3]$$

که در آن $I(\text{mean})$ میانگین نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده (سانتی‌متر) می‌باشد. $NRMSE$ که همواره مثبت است خطای برآورد در منحنی نفوذ را نشان می‌دهد و با نزدیک شدن به صفر، عملکرد مدل افزایش می‌یابد.

شاخص کارایی مدل (EF)، شاخص تطابق ویلموت (W) و میانگین درصد خطا (MEP) نیز با استفاده از روابط ۴، ۵ و ۶ محاسبه و برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شدند (بر اساس روابط مورد استفاده در تحقیق قربانی دشتکی و همکاران ۲۰۱۰):

$$EF = \frac{\sum_{j=1}^n (I(m)_j - I(\text{mean}))^2 - \sum_{j=1}^n (I(p)_j - I(m)_j)^2}{\sum_{j=1}^n (I(m)_j - I(\text{mean}))^2} \quad [4]$$

$$W = 1 - \frac{\sum_{j=1}^n (I(m)_j - I(p)_j)^2}{\sum_{j=1}^n (|I(p)_j - \bar{I}(m)_j| + |I(m)_j - \bar{I}(m)_j|)^2} \quad [5]$$

$$MEP = \frac{\sum_{j=1}^n \left| \frac{I(p)_j - I(m)_j}{I(m)_j} \right|}{n} \quad [6]$$

یادآوری است که بایستی با برابر نگه داشتن سطح آب بین دو استوانه و استوانه داخلی از برقراری جریان بین دو استوانه جلوگیری شود. در طول آزمایش، با افزودن آب به داخل استوانه کوچک، ارتفاع سطح آب در داخل آن ثابت نگه داشته شد. مقدار آب افزوده شده به استوانه داخلی در زمان‌های مختلف، برابر با حجم آب نفوذ یافته به خاک است. تا رسیدن به شرایط پایدار، زمان و حجم آب نفوذ یافته به خاک ثبت شد. اندازه گیری‌ها در ۹ نقطه (تکرار) در هر یک از خاک‌ها انجام شد.

تعیین ضرایب مدل‌های نفوذ

به منظور تعیین ضرایب مدل‌های مورد نظر (جدول ۲)، تابع هدف به صورت رابطه ۱ تعریف شد (بر اساس روابط مورد استفاده در تحقیق قربانی دشتکی و همکاران ۲۰۰۹):

$$SSE = \sum_{j=1}^n (I(m)_j - I(p)_j)^2 \quad [1]$$

که در آن SSE : مجموع مربعات خطا (سانتی-مترمربع)، $I(m)_j$: مقدار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده در زمان j ام (سانتی‌متر)، $I(p)_j$: مقدار نفوذ تجمعی برآورد شده برای زمان j ام (سانتی‌متر)، n : تعداد مقایسه‌ها می‌باشد. ضرایب مدل‌ها با کمینه قرار دادن تابع هدف (SSE) و به منظور در نظر گرفتن بهترین برازش بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار Excel تعیین شد.

ارزیابی عملکرد مدل‌های نفوذ

صحت و عملکرد مدل‌های مورد مطالعه با استفاده از آماره‌های زیر و با مقایسه مقادیر نفوذ تجمعی برآورد و اندازه‌گیری شده ارزیابی شد (بر اساس روابط مورد استفاده در تحقیق قربانی دشتکی و همکاران ۲۰۱۰):

$$ME = \frac{\sum_{j=1}^n (I(m)_j - I(p)_j)}{n} \quad [2]$$

3 - Mean error

4 - Normalized root mean square error

5 - Efficiency factor

6 - Willmott's index of agreement

7 - Mean error percentage

2 - Sum of square error

جدول ۲- شرح مدل‌های نفوذ مورد بررسی و ضرایب آنها (*).

مدل	ضرایب	معادله
فیلیپ	A و S	$I = St^{0.5} + At$
کوستیاکوف	b و k	$I = kt^b$
کوستیاکوف-لوییز	A' و $b' k'$	$I = k't^{b'} + A't$
هورتون	a و m, C	$I = Ct + m(1 - e^{-at})$
حفاظت خاک آمریکا	a' و b'	$I = a't^{b'} + 0.6985$

* I: نفوذ تجمعی (سانتی‌متر) و t: زمان (دقیقه) می‌اشد

ضرایب مدل کوستیاکوف با مدل کوستیاکوف-لوییز، نشان داد که اختلاف ناچیزی بین این دو مدل وجود دارد. به طوری که در بیشتر مقالات نوع نگارش مدل‌های کوستیاکوف و کوستیاکوف-لوییز به گونه‌ای است که نشان می‌دهد مدل کوستیاکوف-لوییز همان کوستیاکوف با عبارت اضافه شده At است (نشاط و پاره‌کار ۱۳۸۴، هولزاپفل و همکاران ۲۰۰۴، سپاسخواه و افشار ۲۰۰۲). اما قربانی دشتکی و همکاران (۲۰۰۹) و پرچمی عراقی و همکاران (۱۳۸۹) نشان دادند که این دو مدل کاملاً از یکدیگر متفاوت می‌باشند. لذا آنان پیشنهاد کردند که در نگارش و کاربرد این دو مدل از ضرایب مشابه استفاده نشود. زیرا که حاصل آن افزایش مقدار خطا در برازش به هنگام استفاده از مدل خواهد بود. بدین معنی که اگر به هنگام کاربرد مدل کوستیاکوف-لوییز، از مقادیر پارامترهای K و b در مدل کوستیاکوف استفاده شود، استفاده از مدل کوستیاکوف-لوییز مزیتی بر مدل کوستیاکوف نخواهد داشت. همان‌گونه که در جداول ۳ و ۴ مشاهده می‌شود محدوده پارامترهای این دو مدل نیز با هم متفاوت است. نتایج همچنین نشان می‌دهد ضرایب مذکور نسبت به بافت خاک حساس هستند و در دو نوع بافت مختلف مورد استفاده، محدوده این ضرایب با هم متفاوت است. ضرایب a' و b' مدل SCS، در واقع ضرایب تجربی هستند که به نوع خاک وابسته هستند و همان‌گونه که در جداول ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، دامنه تغییرات آنها در دو کلاس بافت خاک کاملاً متفاوت است که نشان‌گر وابستگی آنها به

شاخص کارایی بین صفر تا ۱ متغیر است و گاهی اوقات به صورت درصد بیان می‌شود. زمانی که EF برابر ۱ باشد نفوذ تجمعی برآورد شده با اندازه‌گیری شده برابر خواهد بود. شاخص ویلموت از صفر تا ۱ متغیر بوده و مقدار ۱ بیانگر یکسان بودن مقادیر برآورد و اندازه‌گیری شده است. میانگین درصد خطای نزدیک به صفر نشان‌دهنده خطای کمتر است. با توجه به آنچه گفته شد، مدلی که ME ، $RMSE$ و MEP کمتر ولی EF ، R^2 و W بیشتری داشته باشد، کارایی بیشتری در برآورد نفوذ خواهد داشت. با توجه به هر یک از آماره‌های ارزیابی محاسبه شده به هر مدل رتبه‌ای اختصاص داده شد (به این ترتیب که به مناسب‌ترین مدل رتبه ۱ و به نامناسب‌ترین مدل رتبه ۵ اختصاص داده شد) و از رتبه‌های اختصاص داده شده به طور معمول (میانگین حسابی) میانگین‌گیری شده و میانگین رتبه‌ها به عنوان رتبه نهایی مدل در نظر گرفته شد و با استفاده از رتبه نهایی، مدل‌ها بر حسب کارایی و عملکرد از رتبه ۱ تا ۵ مرتب شدند.

نتایج و بحث

ضرایب مدل‌های نفوذ مورد مطالعه

برخی ویژگی‌های معمول آماری ضرایب معادلات نفوذ برازش داده شده به داده‌های اندازه‌گیری شده برای خاک‌های سری دانشکده و سری کوی اساتید به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. مقایسه

دانشکده و کوی اساتید به ترتیب ۰/۲۵ و ۰/۳۰ می‌باشد.

نوع خاک است. به طوری که میانگین ضریب تغییرات ضرایب مدل‌های نفوذ مورد مطالعه در خاک‌های سری

جدول ۳- برخی ویژگی‌های آماری ضرایب مدل‌های نفوذ مورد بررسی در خاک سری دانشکده.

مدل	ضرایب مدل	کمینه	بیشینه	میانگین	ضریب تغییرات
حفاظت خاک آمریکا	a'	۰/۱۱۰۲	۰/۸۰۰۶	۰/۳۵۶۴	۰/۲۶
	b'	۰/۵۵۹۰	۰/۸۳۲۱	۰/۷۰۹۰	۰/۲۰
فیلیپ	S	۰/۳۹۰۷	۱/۲۳۹۵	۰/۶۵۸۶	۰/۱۱
	A	.	۰/۰۸۸۴	۰/۰۳۲۱	۰/۳۶
کوستیاکوف	K	۰/۳۴۴۹	۱/۰۸۵۷	۰/۶۴۲۲	۰/۱۶
	b	۰/۴۱۱۸	۰/۶۴۲۱	۰/۵۶۸۰	۰/۲۷
کوستیاکوف-لوییز	k'	۰/۳۹۰۱	۱/۱۷۲۵	۰/۷۳۷۱	۰/۲۴
	b'	۰/۳۵۳۱	۰/۵۴۶۹	۰/۴۵۳۲	۰/۱۶
هورتون	A'	.	۰/۰۶۵۸	۰/۰۳۰۵	۰/۳۰
	C	۰/۰۲۲۰	۰/۱۷۱۲	۰/۰۷۲۸	۰/۲۲
	m	۱/۳۷۰۹	۴/۳۹۰۴	۲/۴۵۰۶	۰/۱۷
	a	۰/۱۴۳۰	۰/۲۱۷۲	۰/۱۶۵۶	۰/۲۳

جدول ۴- برخی ویژگی‌های آماری ضرایب مدل‌های نفوذ مورد بررسی در خاک سری اساتید.

مدل	ضرایب مدل	کمینه	بیشینه	میانگین	ضریب تغییرات
حفاظت خاک آمریکا	a'	۰/۶۶۹۱	۱/۰۷۰۸	۰/۸۹۳۸	۰/۲۰
	b'	۰/۵۲۰۷	۰/۶۳۶۷	۰/۵۹۵۰	۰/۰۳
فیلیپ	S	۱/۰۴۹۸	۱/۴۷۴۹	۱/۲۵۶۱	۰/۱۷
	A	.	۰/۰۵۲۳	۰/۰۲۱۱	۰/۹۹
کوستیاکوف	K	۱/۰۱۱۹	۱/۴۹۵۲	۱/۲۶۲۸	۰/۱۵
	b	۰/۴۵۷۹	۰/۵۷۵۱	۰/۵۳۶۷	۰/۰۴
کوستیاکوف-لوییز	k'	۱/۰۸۷۹	۱/۵۱۳۶	۱/۲۹۹۴	۰/۱۴
	b'	۰/۴۴۷۸	۰/۵۴۱۴	۰/۴۹۸۳	۰/۰۷
هورتون	A'	.	۰/۰۳۵۱	۰/۰۱۵۰	۱/۱۷
	C	۰/۰۸۱۴	۰/۱۶۳۸	۰/۱۰۷۱	۰/۴۰
	m	۳/۶۸۰۲	۴/۶۱۳۷	۴/۲۸۳۵	۰/۱۱
	a	۰/۱۴۳۱	۰/۱۸۵۸	۰/۱۶۵۶	۰/۱۰

دانشکده می‌تواند ناشی از درشت‌تر بودن بافت خاک (جدول ۱) و ناهمگنی بیشتر خاک کوی اساتید در

بیشتر بودن میانگین ضریب تغییرات ضرایب مدل‌ها در خاک کوی اساتید در مقایسه با خاک سری

است و در صورتی که این دو آماره برابر یک باشند در واقع مدل کارآمد و مقادیر نفوذ برآورد شده با مقادیر نفوذ تجمعی برابر است. بنابراین انتخاب مدل مناسب با توجه به آماره‌ها و بر این اساس است که مدلی که $NRMSE$ ، ME کمتر و EF و R^2 بیشتر نسبت به سایر مدل‌ها داشته باشد، به‌عنوان پایدارترین و بهترین مدل شناخته می‌شود. مقادیر آماره‌های ارزیابی و رتبه‌بندی عملکرد هر یک از مدل‌های نفوذ مورد بررسی به تفکیک کلاس‌های بافت خاک مورد مطالعه در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است.

در جداول مذکور اعداد داخل پرانتز، نشان دهنده رتبه هر مدل بر اساس آماره مربوطه می‌باشد. نتایج آماره میانگین خطا (ME) مربوط به خاک سری کوی اساتید (با بافت شنی‌تر) نشان می‌دهد که مدل‌های کوستیاکوف-لوییز و حفاظت خاک آمریکا جزء مدل‌های بیش برآوردکننده و مدل فیلیپ جزء کم برآوردکننده‌ها می‌باشند (جدول ۵). در حالی که بر اساس همین آماره مدل حفاظت خاک آمریکا و کوستیاکوف-لوییز برای پیش‌بینی مقدار نفوذ در خاک سری دانشکده (با بافت رسی‌تر) جزء مدل‌های بیش برآوردکننده و مدل هورتون جزء مدل‌های کم برآوردکننده است (جدول ۶). بنابراین مدل کوستیاکوف، فیلیپ و هورتون در هر دو خاک مورد بررسی، مقدار نفوذ تجمعی را کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده برآورد نموده‌اند. مقادیر آماره $NRMSE$ نشان می‌دهد که مدل کوستیاکوف-لوییز در مقایسه با سایر مدل‌ها در خاک‌های مورد مطالعه، مقدار نفوذ تجمعی را با خطای کمتری برآورد می‌نماید. مقدار این آماره در مدل حفاظت خاک آمریکا در خاک-های مورد بررسی، به بیشینه مقدار خود رسیده که نشان‌دهنده خطای زیاد در برآورد نفوذ تجمعی می‌باشد.

مقایسه با خاک دانشکده باشد. نتایج همچنین نشان داد در هر دو خاک بیشترین ضریب تغییرات مربوط به ضریب A' مدل کوستیاکوف-لوییز و ضریب A مدل فیلیپ می‌باشد. ضرایب مذکور تقریباً همجنس بوده و کسری از ضریب آبگری اشباع خاک می‌باشند و با توجه به وابستگی شدید ضریب آبگری به موقعیت مکانی خاک و تغییرات مکانی زیاد ضریب آبگری، مقدار ضریب تغییرات زیاد ضرایب مذکور مدل‌های نفوذ قابل توجه و پیش‌بینی می‌باشد. همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد به‌طور کلی مدل‌های کوستیاکوف-لوییز و فیلیپ از نظر ساختاری تقریباً به هم مشابه هستند. حال چنانچه ضریب b' در مدل کوستیاکوف-لوییز برابر ۰/۵ باشد سبب می‌شود دو مدل با یکدیگر تفاوتی نداشته باشند هرچند که تعریف ضرایب آنها تاحدودی با یکدیگر متفاوت است. نتایج نشان می‌دهد ضریب b مدل کوستیاکوف-لوییز تقریباً نزدیک به عدد ۰/۵ است و حاکی از آن است که ضریب S مدل فیلیپ با ضریب K کوستیاکوف-لوییز تقریباً برابر است و به‌همین ترتیب ضریب A مدل‌های فیلیپ و کوستیاکوف-لوییز نیز تقریباً با یکدیگر برابرند.

ارزیابی عملکرد مدل‌های نفوذ

در این پژوهش از آماره‌ها، جهت ارزیابی مدل‌های نفوذ استفاده شد. مقادیر نفوذ برآورد شده به وسیله مدلی که دارای ضریب تبیین (R^2) زیاد باشد نزدیکی بیشتری با مقادیر نفوذ اندازه‌گیری شده دارد. همچنین آماره $NRMSE$ مقدار خطای برآورد شده در کل منحنی نفوذ را نشان می‌دهد بنابراین مدلی که $NRMSE$ (مقدار آن همیشه مثبت است) نزدیک به صفر داشته باشد، دقت زیادی خواهد داشت. مقادیر منفی‌تر آماره ME بیان‌گر این است که نفوذ برآورد شده با اطمینان بیشتری حاصل شده است. آماره‌های EF و W نیز هر چه به عدد یک نزدیک باشند، بیان‌گر این واقعیت است که مدل دارای کارایی بیشتر و مقادیر نفوذ تجمعی برآورد شده به مقادیر نفوذ اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر

جدول ۵- شاخص‌های آماری محاسبه شده برای ارزیابی دقت مدل‌های نفوذ مورد بررسی در خاک سری کوی اسانید.

مدل/رتبه										
حفاظت خاک										
آماره	کوستیاکوف-لوییز		کوستیاکوف		فیلیپ		هورتون		آمریکا	
ارزیابی*	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه
R^2	۱	۰/۹۹۹۵	۲	۰/۹۹۹۴	۳	۰/۹۹۹۱	۴	۰/۹۹۶۹	۵	۰/۹۹۷۴
ME	۴	۰/۰۰۲۵	۳	-۰/۰۰۳۳	۳	-۰/۰۲۲۵	۱	-۰/۰۳۷۷	۱	۰/۰۶۰۰
$NRMSE$	۱	۰/۰۷۱۱	۲	۰/۰۸۷۱	۳	۰/۱۱۷۴	۴	۰/۲۲۳۰	۵	۰/۲۱۲۹
W	۱	۰/۹۹۹۸	۲	۰/۹۹۹۸	۳	۰/۹۹۹۵	۴	۰/۹۹۹۱	۵	۰/۹۹۹۱
EF	۱	۰/۹۹۹۵	۲	۰/۹۹۹۴	۳	۰/۹۹۸۲	۴	۰/۹۹۶۵	۵	۰/۹۹۶۷
MEP	۱	۰/۰۱۴۱	۲	۰/۰۱۶۳	۳	۰/۰۲۵۸	۴	۰/۰۵۹۲	۵	۰/۰۳۸۴
رتبه نهایی	۱		۲		۳		۴		۵	

*. R^2 , ME , $NRMSE$, W , EF و MEP به ترتیب عبارتند از: ضریب تبیین (بدون واحد)، میانگین خطا (سانتی‌متر)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (بدون واحد)، شاخص کارایی مدل (بدون واحد)، شاخص تطابق ویلموت (بدون واحد) و میان درصد خطا (بدون واحد).

جدول ۶- شاخص‌های آماری محاسبه شده برای ارزیابی دقت مدل‌های نفوذ مورد بررسی در خاک سری دانشکده.

مدل/رتبه										
حفاظت خاک										
آماره	کوستیاکوف-لوییز		کوستیاکوف		فیلیپ		هورتون		آمریکا	
ارزیابی*	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه
R^2	۱	۰/۹۹۸۶	۲	۰/۹۹۷۳	۳	۰/۹۹۶۲	۴	۰/۹۹۶۵	۵	۰/۹۹۰۹
ME	۴	۰/۰۰۱۹	۳	-۰/۰۱۸	۱	-۰/۰۳۲	۲	-۰/۰۲۰۰	۵	۰/۰۶۴۰
$NRMSE$	۱	۰/۰۶۴۲	۲	۰/۱۲۱۹	۳	۰/۱۲۸۷	۴	۰/۱۴۴۳	۵	۰/۲۱۲۱
W	۱	۰/۹۹۹۷	۲	۰/۹۹۹۴	۳	۰/۹۹۸۲	۴	۰/۹۹۹۲	۵	۰/۹۹۶۸
EF	۱	۰/۹۹۹۰	۲	۰/۹۹۷۹	۳	۰/۹۹۲۳	۴	۰/۹۹۶۸	۵	۰/۹۸۸۳
$MAPE$	۱	۰/۰۳۱۰	۲	۰/۰۵۰۰	۳	۰/۰۵۸۰	۴	۰/۰۵۸۵	۵	۰/۰۹۰۸
رتبه نهایی	۱		۲		۳		۴		۵	

*. R^2 , ME , $NRMSE$, W , EF و MEP به ترتیب عبارتند از: ضریب تبیین (بدون واحد)، میانگین خطا (سانتی‌متر)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (بدون واحد)، شاخص کارایی مدل (بدون واحد)، شاخص تطابق ویلموت (بدون واحد) و میان درصد خطا (بدون واحد).

نشان داد مدل کوستیاکوف-لوییز و کوستیاکوف از کارایی زیادتری در مقایسه با سایر مدل‌ها برای برآورد میزان نفوذ تجمعی برخوردار هستند. بر اساس شاخص میانگین درصد خطا (MEP) در هر دو کلاس بافتی مورد مطالعه، مقدار خطای برآورد نفوذ تجمعی در مدل کوستیاکوف-لوییز و کوستیاکوف نسبت به

بررسی مقادیر R^2 نیز حاکی از آن است که در هر دو کلاس بافتی خاک مورد مطالعه، مدل کوستیاکوف-لوییز و کوستیاکوف، برآزش بهتری بر داده‌های آزمایش نفوذپذیری داشته‌اند. همچنین بررسی مقادیر آماره‌های درصد کارایی مدل (EF) و شاخص ویلموت (W) نیز در هر دو کلاس بافتی مورد مطالعه

سایر مدل‌های مورد بررسی کمتر بود. میانگین رتبه‌های اختصاص داده شده به مدل‌های مورد مطالعه برای برآورد میزان نفوذ تجمعی در خاک‌های سری دانشکده و کوی اساتید نیز به ترتیب در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده است.

همان‌گونه که ذکر شده مدلی که دارای میانگین رتبه کمتری باشد به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای برآورد نفوذ تجمعی معرفی شد. نتایج به‌دست آمده از ارزیابی عملکرد مدل‌های نفوذ فیلپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز، هورتون، حفاظت خاک آمریکا نشان داد رتبه نهایی مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش در دو کلاس بافت خاک مورد مطالعه یکسان است. هرچند استفاده از مدل‌ها (و به‌ویژه مدل کوستیاکوف-لوییز) در خاک درشت‌بافت مورد مطالعه در مقایسه با خاک ریزبافت و در ابتدای نفوذ منجر به نتایج دقیق‌تری شد که این موضوع می‌تواند در مدل‌سازی نفوذ در خاک‌های آهکی مورد توجه قرار گیرد. با این وجود، در مقایسه با سایر مدل‌ها، نحوه برآورد نفوذ تجمعی در مدل کوستیاکوف-لوییز از روند پایدارتری برخوردار بود و در هر دو سری خاک مورد بررسی حایز رتبه نخست ارزیابی گردید. این نتایج با نتایج پارالانگ و هاورکمپ (۱۹۸۹) و قربانی دشتکی و همکاران (۲۰۰۹) نیز مطابقت دارد. ذوالفقاری و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند در خاک‌های با بافت لومرسی و لوم-سیلتی مورد مطالعه مدل کوستیاکوف-لوییز مدل مناسب برای تخمین نفوذ تجمعی آب به خاک بود. درحالی‌که در خاک‌های لوم و لومرسی‌سیلتی مدل‌های کوستیاکوف و کوستیاکوف-لوییز مدل‌های مناسب بودند. آنان همچنین بیان کردند که بافت خاک می‌تواند بر کارایی مدل‌های نفوذ آب به خاک مؤثر باشد. از آنجا که روش تعیین پارامترهای مدل‌های یاد شده روشی برازشی بود، یکی از دلایل برتری مدل کوستیاکوف-لوییز بیشتر بودن تعداد پارامترهای آن نسبت به مدل‌های حفاظت خاک آمریکا، کوستیاکوف و فیلپ می-

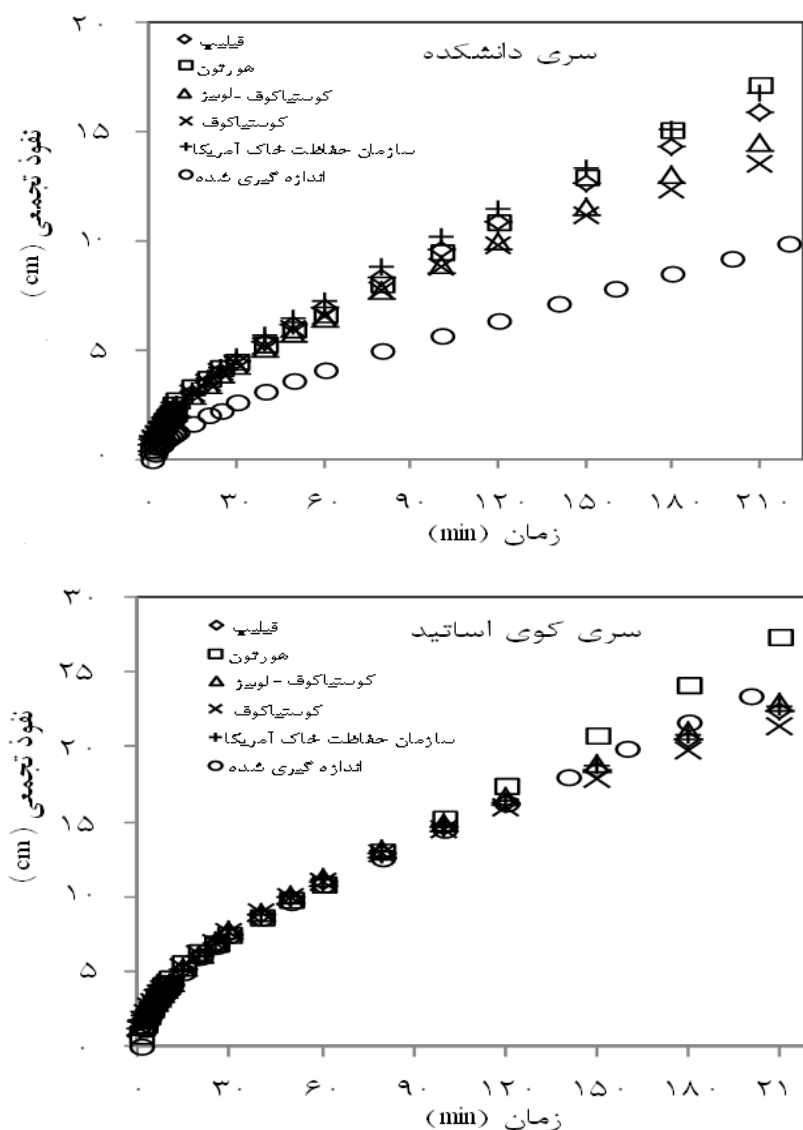
باشد. این ویژگی سبب انعطاف‌پذیری بیشتر این مدل به هنگام تعیین پارامترها شد. همچنین، مدل نظری فیلپ در رتبه‌های میانی قرار گرفت. دلیل این امر آن است که این مدل جزء مدل‌های نظری بوده و در پی‌ریزی این مدل برخی محدودیت‌ها شامل ایجاد شرایط مرزی و اولیه برای حل معادله ریچاردز و همگن فرض کردن خاک اعمال شده که با شرایط طبیعی سازگاری کافی ندارد. لیکن در پی‌ریزی مدل‌های تجربی این گونه محدودیت‌ها اعمال نمی‌شود و هدف از استخراج مدل‌های تجربی آن بوده که این مدل‌ها به بهترین شکل بر داده‌های آزمایشی برازش یابند. از آنجا که در این پژوهش، پارامترهای مدل نظری فیلپ مشابه با مدل‌های تجربی از طریق برازش بر داده‌های آزمایشی تعیین گردید، لذا این پارامترها مفهوم فیزیکی نخستین خود را از دست داده‌اند. نتایج همچنین نشان داد در هر دو خاک مورد مطالعه مدل‌های حفاظت خاک آمریکا و هورتون از نظر کارایی در مقایسه با سایر مدل‌ها در رتبه‌های آخر بودند. ذوالفقاری و همکاران (۲۰۱۲) نیز در خاک‌های مورد مطالعه به نتایج مشابهی دست یافتند. آنان همچنین بیان کردند مدل‌های تجربی کوستیاکوف و کوستیاکوف-لوییز به دلیل عدم استفاده از فرضیات و وابستگی به داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه از دقت و کارایی بیشتری در برآورد نفوذ تجمعی برخوردار می‌باشند.

در خاک‌های مورد مطالعه تفاوت بین نفوذ تجمعی اندازه‌گیری و برآورد شده با مدل‌های مختلف و همچنین تفاوت بین نفوذ تجمعی برآورد شده با استفاده از مدل‌های مختلف با گذشت زمان (پس از شروع فرایند نفوذ) افزایش یافت (شکل ۱).

به‌عبارتی کمترین و بیشترین مقدار تفاوت‌های ذکر شده به ترتیب در ابتدا و انتهای نفوذ حاصل شد. مظلوم و فولادمند (۲۰۱۳) نیز پس از ارزیابی مدل‌های کوستیاکوف و فیلپ در یک خاک لومرسی در رطوبت-های اولیه متفاوت، نتایج مشابهی گزارش کردند. به-

داشت). بنابراین می‌توان گفت استفاده از مدل‌های نفوذ به‌ویژه مدل کوستیاکوف در خاک‌های درشت بافت نسبت به خاک‌های ریزبافت منجر به نتایج دقیق‌تری خواهد شد. مقادیر نفوذ در خاک درشت‌بافت کوی-اساتید بیشتر از خاک ریزبافت دانشکده بود (شکل ۱).

طورکلی نتایج نشان داد تطابق بین مقادیر نفوذ اندازه-گیری شده با نتایج حاصل از مدل‌های مختلف در خاک درشت‌بافت کوی‌اساتید بیشتر از خاک ریزبافت دانشکده است (مدل‌ها نفوذ را در خاک دانشکده بیشتر از مقادیر واقعی برآورد نمودند. البته همان‌گونه که پیشتر گفته شد بیشترین تطابق بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر حاصل از مدل کوستیاکوف-لوپیز وجود



شکل ۱- مقایسه مقادیر نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده و برآورد شده با مدل‌های مختلف در خاک‌های مورد مطالعه.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد رتبه نهایی عملکرد مدل‌های مورد بررسی در هر دو خاک مورد مطالعه یکسان بود.

هرچند مدل‌های مورد بررسی در خاک درشت‌بافت کوی اساتید در مقایسه با خاک ریزبافت دانشکده منجر به نتایج نسبتاً دقیق‌تری شد. با این وجود، برآورد نفوذ

خاک‌های آهکی مورد توجه قرار گیرد. البته پیشنهاد می‌شود در هر منطقه ابتدا مدل‌های نفوذ برای شرایط خاک منطقه ارزیابی شده و مدل مناسب انتخاب و برای برآورد نفوذ در مواردی که نیاز به مدل‌سازی می‌باشد استفاده شود.

سپاس‌گزاری

نویسندگان از بخش علوم خاک و معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شیراز به سبب حمایت‌ها و فراهم آوردن امکانات لازم برای انجام تحقیق سپاس‌گزاری می‌نمایند.

تجمعی در مدل کوستیاکوف-لوییز در مقایسه با سایر مدل‌ها از روند پایدارتر و نتایج دقیق‌تری برخوردار بود و در هر دو سری خاک آهکی مورد مطالعه مدل کوستیاکوف-لوییز حایز رتبه نخست ارزیابی شد. در این پژوهش مدل‌های کوستیاکوف-لوییز، کوستیاکوف، فیلپ، هورتون، حفاظت خاک آمریکا به ترتیب در رده‌های اول تا پنجم ارزیابی قرار گرفتند. به طور کلی می‌توان گفت که استفاده از مدل‌ها (و به ویژه مدل کوستیاکوف-لوییز) در خاک‌های درشت‌بافت در مقایسه با خاک‌های ریزبافت و در زمان‌های ابتدای نفوذ در مقایسه با انتهای نفوذ منجر به نتایج دقیق‌تری می‌شوند که این موضوع می‌تواند پس از انجام آزمایش در خاک‌های با تنوع بافتی بیشتر در مدل‌سازی نفوذ در

منابع مورد استفاده

- ابطحی ع، کریمیان ن و صلحی م، ۱۳۷۰. گزارش مطالعات خاک‌شناسی نیمه‌تفضیلی اراضی باجگاه - استان فارس. انتشارات دانشگاه شیراز. ۷۳ صفحه.
- پرچی عراقی ف، میرلطیفی م، قربانی ش و مهدیان م، ۱۳۸۹. ارزیابی مدل‌های نفوذ آب به خاک در برخی کلاس‌های بافتی و کاربری‌های اراضی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۲، صفحه‌های ۱۹۳ تا ۲۰۵.
- محمدی م و رفاهی ح، ۱۳۸۴. تخمین پارامترهای معادلات نفوذ توسط خصوصیات فیزیکی خاک. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۶، شماره ۶، صفحه‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۸.
- نشاط ع و پاره‌کار م، ۱۳۸۴. گزارش طرح تحقیقاتی مقایسه روش‌های تعیین سرعت نفوذ عمودی آب در خاک همراه با ارائه نرم‌افزار کامپیوتری. ۱۱۸ صفحه.
- Argyrokastriti I and Kerkides P, 2003. A note to the variable sorptivity infiltration equation. *Water Res Manage* 17: 133-145.
- Babalola OA, Adesodun JK, Olasantan FO and Adekunle AF, 2012. Responses of some soil biological, chemical and physical properties to short-term compost amendment. *Int J Soil Sci* 7: 28-38.
- Bellocchi G, Fila G and Donatelli M, 2002. An indicator of solar radiation model performance based on a fuzzy expert system. *Agron J* 94: 1222-1233.
- Bhardwaj A and Singh R, 1992. Development of a portable simulator infiltrometer for infiltration, runoff and erosion studies. *Agric Water Manage* 22(4): 235-248.
- Brady NC and Weil RR, 2008. *The Nature and Properties of Soils*. 14th Ed., Prentice Hall, New Jersey, USA. 965 P.
- Chowdary VM, Damodhara MR, and Jaiswal CS, 2006. Study of infiltration process under different experimental conditions. *Agric Water Manage* 83: 69-78.
- Emadi M, Emadi M, Baghernejad M, Fathi H, and Saffari M, 2008. Effect of land use change on selected soil physical and chemical properties in North Highlands of Iran. *J App Sci* 8: 496-502.
- Ghorbani Dashtaki S, Homae M and Kouchakzadeh M, 2010. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. *Soil Use Manage* 26: 68-74.
- Ghorbani Dashtaki S, Homae M, Mahdian MH and Kouchakzadeh M, 2009. Site-dependence performance of infiltration models. *Water Res Manage* 23: 1573-1650.
- Haverkamp R, Rendon L and Vachaud G, 1987. Infiltration equations and their applicability for predictive use. Pp. 142-152. In: Fok Y. (ed.). *International Conference on Infiltration Development and Application*, 6- 8 January, Honolulu, Hawaii, USA.

- Holzapfel EA, Jara J, Zuniga Marino MA, Paredes J and Billib M, 2004. Infiltration parameters for furrow irrigation. *Agric Water Manage* 68: 19-32.
- Lai J and Ren L, 2007. Assessing the size dependency of measured hydraulic conductivity using double-ring infiltrometers and numerical simulation. *Soil Sci Soc Am J* 71: 1667-1675.
- Mazloom H and Fooladmand H, 2013. Evaluation and determination of the coefficients of infiltration models in Marvdasht region, Fars province. *Inter J Adv Biol Biomed Res* 1(8): 822-829.
- Mishra SK, Tyagi JV and Singh VP, 2003. Comparison of infiltration models. *Hydrol Process* 17: 2629-2652.
- Moosavi AA and Sepaskhah AR, 2012. Spatial variability of physico-chemical properties and hydraulic characteristics of a gravelly calcareous soil. *Arch Agron Soil Sci* 58: 631-656.
- Mukheibir P, 2008. Water resources management strategies for adaptation to climate-induced impacts in South Africa. *Water Res Manage* 22: 1259-1276.
- Parlange JY and Haverkamp R, 1989. Infiltration and ponding time. Chapter 3, Pp. 95–126. In: Morel-Seytoux H.J. (ed.) *Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling, Theory and Practice*. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- Philip JR. 1957. The theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. *Soil Sci* 83: 345–357.
- Rawls WJ, 1993. Infiltration and soil water movement. Chapter 5, Pp. 5.1- 5.51. In: Maidment D.R. (ed.). *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, New York, USA.
- Sadeghzadeh K, Shirmohamadi AH, Montans J and Felton G 2007. Evaluation of infiltration models in contaminated landscape. *J Environ Sci Health* 42(7): 983-988.
- Sepaskhah AR and Afshar-Chamanabad H, 2002. Determination of infiltration rate for every-other furrow irrigation. *Biosys Eng* 82(4): 479-484.
- Shukla MK, Lal R, Ownes LB and Unkefer P, 2003. Land use and management impacts on infiltration characteristics of soils in north Appalachian of Ohio. *Soil Science* 168(3): 167-177.
- Sy NL, 2006. Modeling the infiltration process with a multi-layer perceptron artificial neural network. *Hydrol Sci J* 51(1): 3-20.
- Turner ER, 2006. Comparison of infiltration equations and their field validation with rainfall simulation. M.Sc. Thesis, University of Maryland, USA. 202 p.
- Walsh E and McDonnell KP, 2012. The influence of measurement methodology on soil infiltration rate. *Int J Soil Sci* 7: 168-176.
- Zolfaghari AA, Mirzaee S, and Gorji M, 2012. Comparison of different models for estimating cumulative infiltration. *Int J Soil Sci* 7: 1-8.