

مقایسه کارایی مدل‌های نفوذ آب به خاک در خاک‌های ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول

حسین مرادی باصری^۱، شجاع قربانی دشتکی^{۲*}، حبیب خداوردی‌لو^۳، بیژن خلیل مقدم^۴ و جواد گیوی^۵

چکیده

در این پژوهش، کارایی مدل‌های کوستیاکف، کوستیاکف-لوییس، هورتون، SCS و فیلیپ در برآورد نفوذ تجمعی در خاک‌های ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول با دو کاربری مرتع و گندم در شرایط رطوبتی اولیه زیاد و کم ارزیابی شد. بدین منظور، نفوذ آب به خاک در اراضی انتخابی به روش تک‌استوانه‌ای اندازه‌گیری شد. پارامترهای هر مدل به روش بهینه‌سازی حداقل مربعات تعیین گردید. به‌منظور ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های مورد بررسی از آماره‌های میانگین خطا، میانگین قدر مطلق میانگین خطا، ریشه میانگین مربعات خطا، انحراف معیار ریشه میانگین مربعات خطا، شاخص کارایی مدل و شاخص ویلموت استفاده شد. در رطوبت اولیه کم، مدل کوستیاکف-لوییس در خاک‌های غیر ورتی‌سول با کاربری مرتع دارای بیشترین دقت در برآورد نفوذ تجمعی بود. همچنین، مدل‌های فیلیپ و کوستیاکف دارای بیشترین خطای برآورد بودند. در رطوبت اولیه زیاد خاک، مدل هورتون در مقایسه با سایر مدل‌های مورد بررسی در کاربری‌های گندم و مرتع بیشترین دقت را در برآورد نفوذ تجمعی داشت. همچنین مدل‌های فیلیپ و SCS دارای بیشترین خطای برآورد بودند. در مجموع، مدل‌های کوستیاکف-لوییس و کوستیاکف مدلهایی بیش‌برآوردگر و مدل‌های هورتون، SCS و فیلیپ کم‌برآوردگر بودند. در شرایط رطوبت اولیه زیاد، مدل هورتون در هر دو کاربری بهترین عملکرد (RMSE=۰/۰۷۸۳) را در بیان فرایند نفوذ آب به خاک‌های ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول داشت. با این حال، در شرایط رطوبتی اولیه کم، مدل کوستیاکف-لوییس (RMSE=۰/۰۵۹۶) بیشترین کارایی را در بیان نفوذ آب به خاک‌های غیر ورتی‌سول نشان داد.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی، مدل‌های نفوذ آب به خاک، ورتی‌سول.

ارجاع: مرادی باصری ح. قربانی دشتکی ش. خداوردی‌لو ح. خلیل مقدم ب. و گیوی ج. ۱۳۹۰. مقایسه کارایی مدل‌های نفوذ آب به خاک در خاک‌های ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول. مجله پژوهش آب ایران. ۵(۸): ۱۸۷-۱۹۶.

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

^۲ - استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

^۳ - استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

^۴ - استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.

^۵ - دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

* نویسنده مسئول: Shoja2002@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۵/۱۰

مقدمه

نفوذ آب به خاک فرایندی مهم در علوم خاک، آبیاری، هیدرولوژی، کشاورزی و محیط‌زیست بوده (والیانتراس، ۲۰۱۰) و نقشی حیاتی در چرخه آبی طبیعت ایفا می‌کند. برای دستیابی به مدیریت صحیح آبیاری، ذخیره رطوبتی مطلوب خاک در مناطق خشک، عملکرد زراعی قابل قبول و سامانه‌ی پایدار حفاظت خاک باید نفوذپذیری خاک مد نظر قرار گیرد. شناخت کمی این پدیده، برای جلوگیری از فرسایش اراضی و منابع خاک و آب ضروری است (قربانی دشتکی و همکاران، ۱۳۸۷). نفوذ آب به خاک همانند دیگر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک به شدت از ویژگی‌های ذاتی خاک تأثیر می‌پذیرد. از آنجا که ویژگی‌های ذاتی خاک بسته به نوع خاک، دارای تغییرات مکانی و زمانی هستند، انتظار می‌رود تغییرپذیری و الگوی نفوذ آب به خاک در خاک‌های مختلف، متفاوت باشد (بوما، ۱۹۸۳). خاک‌های درز و ترک‌دار از جمله خاک‌هایی هستند که دارای شرایط ویژه بوده و تغییرات مکانی و زمانی در آنها دارای الگویی متفاوت از دیگر انواع شناخته شده خاک است. یکی از شناخته‌ترین خاک‌های دارای درز و ترک، خاک‌های ورتی‌سول هستند که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای دارند. در این خاک‌ها، در فصول خشک، به سبب انقباض رس‌های ۲:۱ شکاف‌های عمیقی در سطح خاک ایجاد می‌شود. در چنین شرایطی اگر این زمین‌ها آبیاری شوند، تمامی آب وارد شکاف‌ها شده و در سطح خاک آبی برای استفاده گیاه باقی نمی‌ماند. در فصول مرطوب، به علت انبساط رس‌ها، تخلخل‌های درشت کاهش یافته و آب‌گذری در این خاک‌ها به حداقل کاهش می‌یابد و

تقریباً همه آب باران به شکل رواناب جاری می‌شود. بنابراین، به دلیل وابستگی ضرایب معادلات نفوذ به نوع خاک و شرایط سطحی زمین، آزمایش‌هایی میدانی برای اندازه‌گیری مقدار نفوذ، تعیین مدلی مناسب برای بیان کمی آن و همچنین تعیین ضرایب آن در شرایط ویژه هر منطقه ضروری است (حیدری و همکاران، ۲۰۰۸؛ کریس مانو و همکاران، ۲۰۰۷). مدل‌های مختلفی برای کمی کردن فرایند نفوذ آب به خاک وجود دارد که برخی از آنها بر مبنای ویژگی‌های فیزیکی خاک بنا شده‌اند و برخی دیگر معادلاتی تجربی هستند که بر شکل منحنی سرعت نفوذ-زمان تحمیل شده‌اند و پایه فیزیکی ندارند (گرین و امپت، ۱۹۱۱؛ هورتون، ۱۹۴۰؛ کاو و هانت، ۱۹۹۶؛ کوستیاکف، ۱۹۳۲؛ فیلیپ، ۱۹۵۷). از جمله مدل‌های فیزیکی می‌توان به مدل گرین و امپت (۱۹۱۱) و مدل فیلیپ (۱۹۵۷) اشاره کرد. مدل گرین و امپت (۱۹۱۱) بر اساس همگنی خاک، ثابت بودن رطوبت اولیه خاک، خطی و مستقیم بودن جبهه رطوبتی و مجزا شدن ناحیه اشباع و غیراشباع بنا شده است. مدل‌های تجربی نفوذ نیز با توجه به آزمایش‌های نفوذ، آمار و ارقام به دست آمده و با استفاده از همبستگی یا برازش یک منحنی بر داده‌های تجربی به دست می‌آیند. لذا اثر کلیه عوامل شناخته شده و ناشناخته در ضرایب آنها منعکس می‌شود. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل کوستیاکف (۱۹۳۲) و مدل هورتون (۱۹۴۰) اشاره کرد. خلاصه‌ای از مدل‌های مورد استفاده و پارامترهای مربوطه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مدل‌های نفوذ مورد بررسی و پارامترهای برازشی آنها

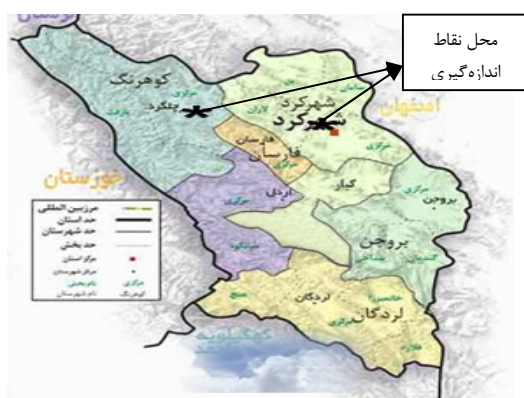
معادله	پارامترها	نام مدل
$I = St^{1/2} + k_s t$	I نفوذ تجمعی، t زمان، S ($LT^{1/2}$) ضریب جذبی خاک (تابع مکش خاک) و k_s ضریبی که بیانگر هدایت آبی اشباع خاک است.	فیلیپ
$I = kt^b$	I نفوذ تجمعی، t زمان و k و b ضرایبی تجربی هستند.	کوستیاکف
$I = kt^b + A$	I نفوذ تجمعی، t زمان و k و A ضرایبی تجربی هستند.	کوستیاکف-لوییس
$I = Ct + m(1 - e^{-at})$	I نفوذ تجمعی و C ، a ، m ضرایبی تجربی هستند.	مدل هورتون
$I = at^b + 0.6985$	I نفوذ تجمعی، ضرایب a و b تابعی از شماره منحنی‌های نفوذی است که با انجام آزمایش‌های فراوان برای خاک‌های آمریکا به دست آمده است.	SCS

(قربانی دشتکی و همکاران، ۲۰۰۹؛ میشار و همکاران، ۲۰۰۳). از این رو پژوهش‌هایی پرشمار در زمینه ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های نفوذ صورت گرفته است.

از آنجا که فرضیات و پارامترهای به کار رفته در مدل‌های نفوذ باهم متفاوت است، انتظار می‌رود در یک شرایط معین، مدلی خاص دارای عملکرد بهتری در مقایسه با بقیه باشد

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مورد داده‌های مربوط به سری خاک‌های با درجات مختلف درز و ترک در دشت زرین، واقع در شهرستان کوهرنگ استان چهارمحال و بختیاری و پردیس دانشگاه شهرکرد انجام شد. خاک‌های مورد مطالعه دشت زرین در رده ورتی‌سول قرار داشته و نوع کاربری اراضی نیز شامل گندم و مرتع بوده و خاک‌های واقع در پردیس دانشگاه شهرکرد در رده انتی‌سول (غیر ورتی‌سول) قرار داشته و نوع کاربری آنها مرتع بود. محل تقریبی نقاط مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- محل تقریبی نقاط مورد مطالعه واقع در استان چهارمحال و بختیاری

داده‌های مربوط به نفوذپذیری خاک با استفاده از استوانه تک‌حلقه در ۳۳ نقطه (۲۵ نقطه در خاک‌های ورتی‌سول و ۸ نقطه در خاک‌های انتی‌سول) در دو حالت رطوبت اولیه کم (خاک خشک) و رطوبت اولیه زیاد (خاک مرطوب) به دست آمد. رطوبت اولیه خاک به روش وزنی، جرم ویژه ظاهری به روش سیلندری (بلیک وهارتج، ۱۹۸۶)، فراوانی نسبی ذرات به روش هیدرومتر (جی و بادر، ۱۹۸۶) و ماده‌آلی به روش اکسیداسیون تر (نلسون و سامرز، ۱۹۹۶) اندازه‌گیری شد. برای تعیین پارامترهای مدل‌های نفوذ از نرم‌افزار اکسل و روش بهینه‌سازی مربعات خطا مطابق تابع هدف زیر استفاده شد (قربانی دشتکی و همکاران، ۲۰۰۹):

$$SSE = \sum_{i=1}^n (I(m)_j - I_p(t, \beta)_j)^2 \quad (1)$$

که در آن، SSE مجموع مربعات خطا (cm^2)، $I(m)_j$ مقدار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده در زمان $I_p(t, \beta)_j$ (cm)

سپاسخواه و همکاران (۲۰۰۲) با تعیین پارامترهای معادله کوستیاکف-لوییس برای استفاده در آبیاری جوی و پشته‌ای بیان داشتند که برای استفاده از این معادله در برنامه‌ریزی‌های آبیاری جوی و پشته‌ای اعمال اصلاحات انجام شده توسط این پژوهشگران ضروری است. نشاط و پاره‌کار (۲۰۰۷) عملکرد مدل‌های نفوذ کوستیاکف، گرین و امپت، فیلیپ، هورتون و سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) را در برآورد نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ مقایسه کرده و دریافتند که مدل کوستیاکف مناسب‌ترین مدل برای این منظور است. با این حال، دوان و همکاران (۲۰۱۰) در مقایسه کارایی مدل‌های کوستیاکف، کوستیاکف-لوییس، فیلیپ، SCS و هورتون در برآورد نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ، مدل کوستیاکف-لوییس و هورتون را دقیق‌تر یافتند. بررسی پژوهش‌های صورت گرفته حاکی از آن است که پژوهشگران مختلف در مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف نفوذ به نتایج متفاوت و گاهی ضد و نقیض دست یافته‌اند. یکی از دلایل این امر طبیعت تغییرپذیر فرایند نفوذ آب به خاک است که موجب می‌شود تا حتی یک مدل نفوذ در دو خاک که به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی بسیار مشابهی دارند، کارایی متفاوتی داشته باشد (قربانی دشتکی و همکاران، ۲۰۰۹؛ سای، ۲۰۰۶). همچنین، بسته به روش اندازه‌گیری نفوذ، شرایط اولیه و شرایط مرزی جریان آب در خاک متفاوت خواهد بود که می‌توان دست‌کم بخشی از تفاوت در نتایج به دست آمده را به این امر نسبت داد (بردواج و سینگ، ۱۹۹۲). از آنجا که مدل‌های یاد شده هرکدام براساس اطلاعات مربوط به تعداد محدودی از خاک‌ها به دست آمده‌اند، دامنه کاربردی آنها مشخص نیست. از سوی دیگر، بررسی منابع نشان می‌دهد تاکنون مدل‌های ارائه شده نفوذ در خاک‌های ورتی‌سول مورد ارزیابی قرار نگرفته‌اند. با توجه به رفتار ویژه‌ای که خاک‌های ورتی‌سول به هنگام جذب و دفع آب از خود نشان می‌دهند، ارزیابی کارایی این مدل‌ها در خاک‌های ورتی‌سول ضروری به نظر می‌رسد. از این‌رو، هدف از این پژوهش ارزیابی کارایی مدل‌های نفوذ فیلیپ، کوستیاکف، کوستیاکف-لوییس، هورتون و SCS در تعیین فرایند نفوذ آب به خاک در خاک‌های ورتی‌سول تحت دو کاربری گندم و مرتع و مقایسه‌ی آن با خاک‌های غیر ورتی‌سول بود.

منفی می‌شود. در نتیجه مدل مورد نظر کارایی لازم را نخواهد داشت (شوگلا و همکاران، ۲۰۰۳؛ میشار و سینگ، ۱۹۹۹). دیگر شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی مدل‌های مورد بررسی در برآورد نفوذ تجمعی، شاخص بازنگری شده ویلموت (W) بود (ویلموت و همکاران، ۱۹۸۵). مقدار این شاخص از صفر تا یک متغیر است و مقدار ۱ بیانگر یکسان بودن مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده است. شاخص ویلموت بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده نفوذ تجمعی به شکل زیر محاسبه شد:

$$W_i = 1 - \frac{\sum_{j=1}^n [I(m)_j - I(p)_j]^2}{\sum_{j=1}^n \left[|I(p)_j - \overline{I(m)}_j| + |I(m)_j - \overline{I(m)}_j| \right]^2} \quad (7)$$

همچنین، آماره‌ی میانگین قدرمطلق میانگین خطاهای (MAME) برآورد نفوذ تجمعی برای ارزیابی مدل‌های نفوذ در خاک‌های مختلف به کار رفت. تفاوت این آماره با آماره میانگین MEها آن است که خطای ناشی از سرشکن شدن خطاهای برآورد در خاک‌های مختلف، وارد فرایند ارزیابی مدل‌ها نمی‌شود و مقدار آن متأثر از مقادیر مثبت و منفی خطای برآورد در تک تک خاک‌ها نخواهد بود. با توجه به آنچه گفته شد، مدلی که میانگین قدرمطلق ME و میانگین RMSE کمتر و شاخص کارایی مدل و شاخص ویلموت بالاتری داشته باشد، کارایی بیشتری در برآورد نفوذ تجمعی خواهد داشت. برای یافتن رفتار کلی هر مدل در تک تک خاک‌های مورد مطالعه، می‌توان مقادیر قدر مطلق میانگین MEها را با میانگین MEها مقایسه کرد. اگر این دو مقدار مساوی یا نزدیک به هم باشند، بیان این نکته است که مدل مورد نظر درصد بالاتری از مقادیر نفوذ تجمعی را بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده و خنثی شدن خطای مثبت و منفی در این مدل دیده نشده است. از آنجاکه انحراف معیار یک آماره بیانگر پراکنش داده‌ها حول مقدار میانگین آن است، از انحراف معیار آماره‌ی RMSE نیز برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شد. میانگین آماره‌های فوق برای رتبه‌بندی نهایی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به هر یک از آماره‌ها رتبه‌ای به مدل‌های مورد بررسی داده شد که میانگین این رتبه‌ها، به‌عنوان رتبه نهایی هر یک از مدل‌ها در نظر گرفته شد.

مقدار نفوذ برآورد شده برای زمان λ_m (cm) و β پارامترهای مدل می‌باشند.

آماره‌های ارزیابی یاد شده از طریق مقایسه مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده نفوذ تجمعی محاسبه شد. صحت مدل‌ها در برآورد نفوذپذیری برای هر خاک با محاسبه آماره‌های میانگین خطا (ME) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) تعیین شد. آماره‌های مورد نظر به صورت زیر محاسبه می‌شود (قربانی دشتکی و همایی، ۲۰۱۰):

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

مقدار آماره ME_i (cm) بیان کننده آن است که مدل مورد بررسی نفوذ آب را در خاک i بیشتر از مقدار واقعی (مقادیر مثبت) یا کمتر از آن (مقادیر منفی) برآورد می‌کند. هر چه مقدار این آماره کمتر باشد نشان‌دهنده اطمینان نفوذ برآوردی است.

آماره دیگر، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$RMSE_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n [I(p)_j - I(m)_j]^2}{n}} \quad (3)$$

مقدار RMSE همواره مثبت بوده و با نزدیک شدن آن به صفر، عملکرد مدل مورد بررسی افزایش می‌یابد. مقدار RMSE خطای برآورد شده را در کل منحنی نفوذ بیان می‌کند.

شاخص دیگر، درصد کارایی مدل (EF%) است که برای ارزیابی مدل‌های مورد بررسی استفاده شد. این شاخص با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید:

$$EF_i = \left(1 - \frac{D_1}{D_0}\right) * 100 \quad (4)$$

$$D_1 = \sum_{i=1}^n [I(m)_j - I(p)_j]^2 = SSE \quad (5)$$

$$D_0 = \sum_{i=1}^n [I(m)_j - \overline{I(m)}_j] \quad (6)$$

که در آنها $\overline{I(m)}_j$ میانگین نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده است. درصد کارایی مدل بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است. زمانی که درصد کارایی مدل برابر با ۱۰۰ باشد مقدار نفوذ تجمعی برآورد شده برابر با مقدار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده خواهد بود. اگر D_1 بزرگتر از D_0 باشد مقدار این شاخص

نتایج و بحث

و در خاک‌های غیر ورتی‌سول در کلاس‌های بافتی رسی تا لوم سیلتی قرار داشتند. میزان متوسط نفوذ تجمعی در خاک‌های ورتی‌سول ۹ سانتی‌متر و در خاک‌های غیر ورتی‌سول ۸ سانتی‌متر بود. دامنه تغییرات پارامترهای حاصل از برازش مدل‌های نفوذ به داده‌های اندازه‌گیری شده در رطوبت اولیه زیاد و رطوبت اولیه کم به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

میانگین رطوبت حجمی اولیه در شروع آزمایش نفوذ در حالت رطوبت اولیه زیاد و رطوبت اولیه کم در خاک ورتی‌سول به ترتیب ۱۷ و ۳ درصد و در خاک غیر ورتی‌سول به ترتیب ۱۵ و ۵ درصد بود. میانگین جرم ویژه ظاهری در خاک‌های ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول به ترتیب ۱/۱۹ و ۱/۲۷ گرم بر سانتیمتر مکعب و مواد آلی به ترتیب ۱/۹ و ۱/۰۳ درصد بود. دامنه تغییرات فراوانی نسبی ذرات نشان داد که خاک‌های ورتی‌سول در کلاس‌های بافتی رسی تا لوم سیلتی

جدول ۲- دامنه تغییرات پارامترهای مدل‌های نفوذ مورد بررسی در خاک‌های ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول (رطوبت اولیه زیاد)

نام مدل	پارامترهای مدل	خاک ورتی‌سول			خاک غیر ورتی‌سول		
		حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین
فیلیپ	S	۰/۲۹	۰/۸۶	۰/۴۹	۰/۵۰	۱/۰۵	۰/۷۴
	K	۰/۰۷۰	۰/۰۰۵	۰/۰۳۰	۰/۰۲۶	۰/۰۵۱	۰/۰۳۷
کوستیاکف	K	۰/۶۴	۱/۱۹	۰/۸۵	۰/۷۴	۱/۰۹	۰/۹۱
	B	۰/۴۴	۰/۶۶	۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۶۵	۰/۵۷
کوستیاکف- لوییس	K	۰/۶۰	۱/۲۲	۰/۸۴	۰/۶۳	۰/۹۲	۰/۷۴
	B	۰/۴۲	۰/۶۷	۰/۵۴	۰/۵۸	۰/۷۴	۰/۶۴
	A	۱/۰۳	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۱۳
هورتون	C	۰/۰۴	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۲۱	۰/۱۴
	M	۱/۶۷	۳/۶۷	۲/۵۸	۱/۶۸	۲/۶۵	۲/۱۰
	A	۰/۱۱	۰/۴۱	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۵۶	۰/۳۶
SCS	A	۰/۱۵	۰/۴۴	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۴۴	۰/۳۵
	B	۰/۷۷	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۸۱

جدول ۳- دامنه تغییرات پارامترهای مدل‌های نفوذ مورد بررسی در خاک‌های غیر ورتی‌سول (رطوبت اولیه کم)

نام مدل	پارامترهای مدل	خاک ورتی‌سول			خاک غیر ورتی‌سول		
		حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین
فیلیپ	S	-	-	-	۰/۵۲	۰/۹۴	۰/۷۵
	K	-	-	-	۰/۰۲۸	۰/۰۵۵	۰/۰۳۸
کوستاکف	K	-	-	-	۰/۸۸	۱/۱۳	۱/۰۳
	B	-	-	-	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۵۳
کوستاکف- لوییس	K	-	-	-	۰/۹۲	۱/۱۶	۱/۰۵
	B	-	-	-	۰/۲۴	۰/۴۷	۰/۳۹
	A	-	-	-	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۰۷
هورتون	C	-	-	-	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۱۳
	M	-	-	-	۱/۵۳	۲/۴۷	۲/۱۹
	A	-	-	-	۰/۳۲	۰/۸۲	۰/۴۶
SCS	A	-	-	-	۰/۳۲	۰/۶۳	۰/۵۴
	B	-	-	-	۰/۶۵	۰/۷۷	۰/۶۹

خاک‌های ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول، است. با توجه به مقادیر MME این مدل، در کاربری گندم مقدار نفوذ را بیشتر و در کاربری مرتع کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده است.

مقایسه آماره‌های مختلف در خاک‌های ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول نشان داد که مدل فیلیپ در رده آخر قرار دارد. به طوری که عملکرد این مدل در دو کاربری مورد اشاره، پایداری کمتری نسبت به دیگر مدل‌ها داشت. همچنین، بررسی مقادیر آماره MME در تمامی کاربری‌های مورد بررسی نشان داد که مدل‌های کوستیاکف-لوییس، بیش‌برآوردگر و SCS و فیلیپ کم‌برآوردگر بودند. همچنین، مدل کوستیاکف در خاک‌های غیر ورتی‌سول و مدل هورتون در خاک‌های ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول با کاربری مرتع کم‌برآوردگر بودند. با توجه به یکسان بودن مقادیر قدر مطلق آماره MME و آماره MAME برای مدل‌های کوستیاکف-لوییس و فیلیپ، در کاربری گندم و مرتع، می‌توان نتیجه گرفت که این دو مدل به‌طور سیستماتیک بیش‌برآوردگر و کم‌برآوردگر بوده‌اند. بر این اساس، مدل هورتون در کاربری مرتع به‌طور سیستماتیک کم‌برآوردگر بوده است. همچنین بررسی شاخص کارایی مدل (EF) و شاخص ویلموت (W) در تمامی کاربری‌ها نشان داد که مدل هورتون نسبت به سایر مدل‌ها در برآورد نفوذ تجمعی کارآمدتر بود و مدل فیلیپ کارایی کمتری داشت. در رطوبت اولیه کم به دلیل نرخ بالای جریان ترجیحی در درز و ترک‌های باز، اندازه‌گیری نفوذ در خاک‌های ورتی‌سول در دو کاربری گندم و مرتع امکان‌پذیر نبود.

جدول ۵ آماره‌های محاسبه شده و رتبه عملکرد برای ارزیابی مدل‌های نفوذ مورد بررسی در خاک‌های غیر ورتی‌سول با کاربری مرتع را در رطوبت اولیه کم نشان می‌دهد. در این جدول، اعداد داخل پرانتز بیانگر رتبه هر مدل براساس آماره مربوطه است. براساس این جدول مقایسه، مقادیر آماره‌های ارزیابی مدل‌ها نشان می‌دهد که مدل کوستیاکف-لوییس از عملکرد پایداری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. مقایسه مقادیر آماره میانگین ریشه مربعات خطا و شاخص کارایی مدل حاکی از آن است که مدل کوستیاکف بهترین و مدل فیلیپ بدترین برآورد را نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی داشته است. همچنین، بررسی مقادیر آماره MME

در جدول ۲، محدوده پارامترهای مورد بررسی براساس نوع خاک ارائه شده است. مقایسه مقادیر پارامترهای مدل کوستیاکف با مدل کوستیاکف-لوییس، نشان داد که اختلاف ناچیزی بین این دو مدل وجود دارد. به طوری که در اکثر مقالات نوع نگارش مدل‌های کوستیاکف و کوستیاکف-لوییس به گونه‌ای است که نشان می‌دهد مدل کوستیاکف-لوییس همان مدل کوستیاکف با عبارت اضافه شده At است (محمدی و رفاهی، ۱۳۸۴؛ سپاسخواه و افشار چمن‌آباد، ۲۰۰۲؛ هولزافل و همکاران، ۲۰۰۴). اما پژوهش‌های انجام شده توسط قربانی دشتکی و همکاران (۲۰۰۹) و پرچی عراقی و همکاران (۱۳۸۸) نشان داد که این دو مدل کاملاً متفاوت از هم می‌باشند. لذا، این پژوهشگران پیشنهاد کردند که در نگارش و کاربرد این دو مدل از پارامترهای مشابه استفاده نشود. چرا که حاصل آن افزایش مقدار خطا در برازش به‌هنگام استفاده از مدل خواهد بود. همان‌گونه که در جدول ۳ آمده است، در رطوبت اولیه کم به دلیل بالا بودن جریان ترجیحی در درز و ترک‌های باز، اندازه‌گیری نفوذ در خاک‌های ورتی‌سول با استفاده از نفوذسنج تک حلقه امکان‌پذیر نبود. مقایسه مقادیر پارامترهای مدل کوستیاکوف با مدل کوستیاکف-لوییس، نشان داد که اختلاف چشمگیری بین این دو مدل وجود دارد.

جدول ۴ آماره‌های محاسبه شده و رتبه کارایی برای ارزیابی مدل‌های نفوذ مورد بررسی در خاک‌های ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول را در کاربری گندم‌زار و مرتع در شرایط رطوبت اولیه زیاد نشان می‌دهد. در این جدول، اعداد داخل پرانتز بیانگر رتبه هر مدل براساس آماره مربوطه می‌باشد. براساس جدول ۴، مقادیر آماره‌های ارزیابی مدل‌ها در خاک‌های ورتی‌سول با کاربری گندم‌زار نشان می‌دهد که مدل هورتون از کارایی پایداری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. بدین معنی که، با تغییر نوع خاک (ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول)، عملکرد آن یکسان بود. همچنین، در کاربری مرتع در خاک‌های ورتی‌سول و خاک‌های غیر ورتی‌سول مدل هورتون از عملکرد پایداری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. با توجه به مقایسه مقادیر آماره میانگین ریشه مربعات خطا (MRMSE)، مدل هورتون در دو کاربری مرتع و گندم دارای کمترین خطا در برآورد نفوذ تجمعی بوده و در برآورد مقدار نفوذ تجمعی حائز رتبه یک در

در این پیش‌برآوردگری یا کم‌برآوردگری در تمامی خاک‌های مورد مطالعه عملکردی پایدار داشته‌اند. همان‌گونه که شکل ۲ نشان می‌دهد مدل‌های کوستیاکف و SCS به لحاظ بیش‌برآوردگری یا کم‌برآوردگری در همه خاک‌ها عملکرد پایداری ندارند. این دو مدل در برخی موارد خاک‌ها بیش‌برآوردگر و در برخی دیگر کم‌برآوردگر هستند. در مجموع مقایسه مقادیر ME حاکی از آن است که مدل‌های هورتون، فیلیپ و SCS مدل‌هایی کم‌برآوردگر و مدل‌های کوستیاکف و کوستیاکف-لوویس مدل‌هایی بیش‌برآوردگر هستند. شکل ۲ نیز بیش یا کم‌برآوردی مدل‌ها را به‌خوبی نشان می‌دهد.

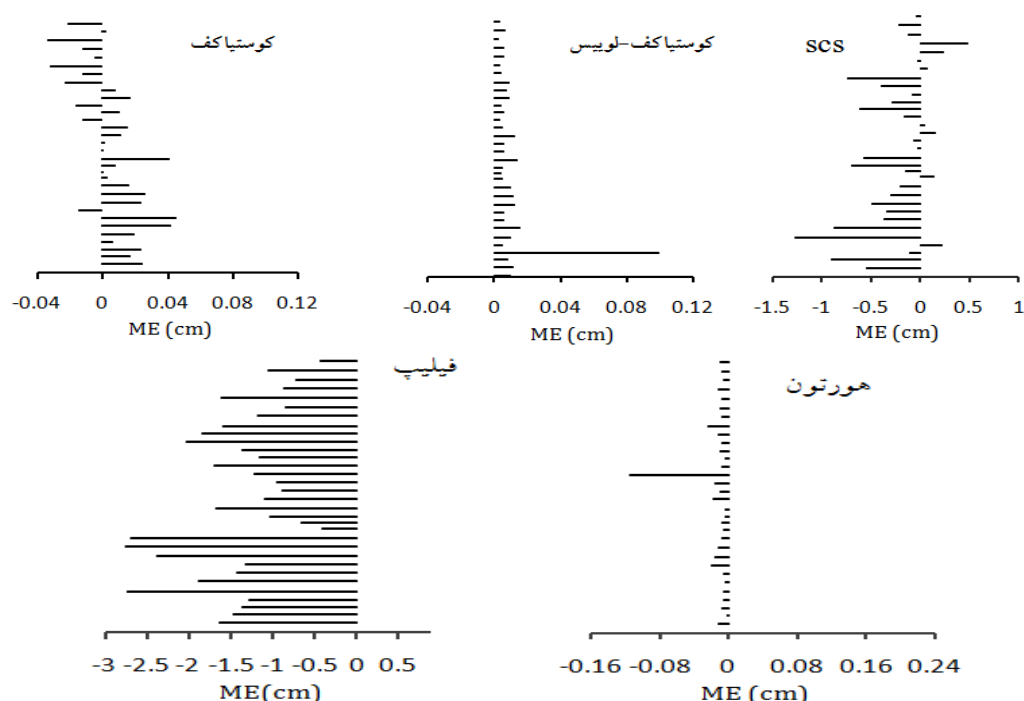
نشان داد که مدل‌های کوستیاکف-لوویس و SCS بیش‌برآوردگر و مدل‌های کوستیاکف، هورتون و فیلیپ کم‌برآوردگر بوده‌اند. همچنین مقایسه عملکرد شاخص کارایی مدل و شاخص ویلموت در رطوبت اولیه کم نشان داد که مدل کوستیاکف-لوویس نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی از کارایی بالاتری برخوردار بوده است. خطای برآورد مدل‌ها در بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی مقدار نفوذ تجمعی در رطوبت اولیه زیاد در شکل ۲ ارائه شده است. در این شکل، مقادیر آماره ME برآورد نفوذ تجمعی، توسط مدل‌های مورد بررسی برای تمامی داده‌های حاصل از آزمایش نفوذپذیری صورت گرفته، ترسیم شده است. براساس این شکل مدل کوستیاکف-لوویس در تمامی خاک‌ها بیش‌برآوردگر بوده و مدل فیلیپ مدلی کم‌برآوردگر است و

جدول ۴- شاخص‌های ارزیابی مدل‌های مورد بررسی در خاک‌های مورد مطالعه براساس نوع کاربری اراضی (رطوبت اولیه زیاد)

نام مدل						کاربری اراضی	
فیلیپ	SCS	هورتون	کوستیاکف-لوویس	کوستیاکف	آماره ارزیابی		
-۱/۴۲۴۰	-۰/۳۲۷۷	۰/۰۰۵۲	۰/۰۱۳۸	۰/۰۲۵۹	MME (cm)	گندم	
۱/۴۲۴۰ (۵)	۰/۴۲۹۲ (۴)	۰/۰۲۱۵ (۲)	۰/۰۱۳۸ (۱)	۰/۰۲۷۷ (۳)	MAME (cm)		
۱/۵۶۷۳ (۵)	۰/۶۲۷۱ (۴)	۰/۰۸۳۱ (۱)	۰/۲۵۹۷ (۳)	۰/۱۵۱۶ (۲)	MRMSE (cm)		
۰/۶۷۶۱ (۵)	۰/۳۱۰۸ (۴)	۰/۱۰۵۳ (۳)	۰/۰۶۴۲ (۱)	۰/۰۷۷۵ (۲)	SDRMSE (cm)		
۵۱/۲۹ (۵)	۹۱/۲۴ (۴)	۹۹/۷۲ (۱)	۹۸/۴۴ (۳)	۹۹/۴۶ (۲)	EF		
۰/۹۸۰۵ (۵)	۰/۹۹۶۵ (۴)	۰/۹۹۹۸ (۱)	۰/۹۹۹۴ (۳)	۰/۹۹۹۷ (۲)	W		
۴	۳	۱	۲	۲	رتبه نهایی	مرتع	
-۱/۸۱۰۸	-۰/۲۵۱۲	-۰/۰۲۱۲	۰/۰۰۶۸	۰/۰۰۸۱	MME(cm)		
۱/۸۱۰۸ (۵)	۰/۲۶۱۶ (۴)	۰/۰۲۱۲ (۳)	۰/۰۰۶۸ (۱)	۰/۰۱۵۰ (۲)	MAME(cm)		
۱/۹۷۶۲ (۵)	۰/۴۸۴۳ (۴)	۰/۰۷۵۶ (۱)	۰/۲۳۹۳ (۳)	۰/۱۳۶۶ (۲)	MRMSE(cm)		
۰/۶۲۴۷ (۵)	۰/۲۲۱۷ (۴)	۰/۰۴۴۸ (۲)	۰/۰۷۲۱ (۳)	۰/۰۴۴۴ (۱)	SDRMSE(cm)		
۲۶/۰۴ (۵)	۹۴/۸۲ (۴)	۹۹/۸۶ (۱)	۹۸/۹۰ (۳)	۹۹/۶۳ (۲)	EF		
۰/۹۷۱۵ (۵)	۰/۹۹۷۹ (۴)	۰/۹۹۹۹ (۱)	۰/۹۹۹۵ (۳)	۰/۹۹۹۸ (۲)	W		
۵	۴	۱	۳	۲	رتبه نهایی	مرتع	
-۱/۰۳۵۰	-۰/۰۴۳۹	-۰/۰۱۰۱	۰/۰۰۴۹	-۰/۰۱۶۷	MME(cm)		
۱/۰۳۵۰ (۵)	۰/۲۳۹۳ (۴)	۰/۰۱۰۱ (۲)	۰/۰۰۴۹ (۱)	۰/۰۱۷۳ (۳)	MAME(cm)		
۲/۷۹۱۳ (۵)	۰/۳۴۵۴ (۴)	۰/۰۷۰۷ (۱)	۰/۱۳۶۷ (۳)	۰/۱۳۵۶ (۲)	MRMSE(cm)		
۳/۸۴۲۷ (۴)	۰/۲۸۲۴ (۳)	۰/۰۵۱۱ (۱)	۰/۰۷۲۱ (۲)	۰/۰۷۲۱ (۲)	SDRMSE(cm)		
۷۶/۶۴ (۵)	۹۷/۱۸ (۴)	۹۹/۸۷ (۱)	۹۹/۵۶ (۳)	۹۹/۵۷ (۲)	EF		
۰/۹۹۰۰ (۴)	۰/۹۹۹۰ (۳)	۰/۹۹۹۹ (۱)	۰/۹۹۹۸ (۲)	۰/۹۹۹۸ (۲)	W		
۵	۴	۱	۳	۲	رتبه نهایی		

خاک‌های ورتی‌سول

خاک‌های غیر ورتی‌سول



شکل ۲- پراکنش میانگین خطای (ME) برآورد نفوذ تجمعی (سانتی‌متر) به‌وسیله مدل‌های نفوذ برای تمامی داده‌های حاصل از آزمایش‌ها نفوذپذیری در رطوبت اولیه مرطوب

معیار RMSEها (SDRMSE) نشان‌دهنده خطای برآورد حول میانگین RMSEها است، مقایسه مقادیر آماره‌ی SDRMSE بیانگر آن است که مدل کوستیاکف، نفوذ تجمعی در خاک‌های مختلف را با دقت یکسان‌تری نسبت به دیگر مدل‌ها برآورد کرده است. همچنین مدل‌های هورتون، کوستیاکف-لوئیس، SCS و فیلیپ در رتبه‌های بعدی ارزیابی قرار گرفتند.

در جدول ۶ میانگین آماره‌های محاسبه شده و رتبه کلی عملکرد هر یک از مدل‌های مورد بررسی به‌ازای تمامی آزمایش‌های نفوذپذیری صورت گرفته در رطوبت اولیه زیاد ارائه شده است. در این جدول، اعداد داخل پرانتز بیانگر رتبه هر مدل براساس آماره موجود می‌باشد. براساس این جدول، مقایسه مقادیر RMSEها نشان می‌دهد که از نظر خطای کل برآورد مدل هورتون کمترین و مدل فیلیپ بیشترین خطای برآورد را داشته‌اند. با توجه به این‌که مقدار انحراف

جدول ۵- شاخص‌های ارزیابی مدل‌های مورد بررسی در خاک‌های غیر ورتی‌سول با کاربری مرتع (رطوبت اولیه کم)

نام مدل					آماره ارزیابی	کاربری اراضی	شاخص‌های غیر ورتی‌سول
فیلیپ	SCS	هورتون	کوستیاکف-لوئیس	کوستیاکف			
-۰/۷۴۲۸	۰/۰۰۸۶	-۰/۱۱۰	۰/۰۰۱۷	-۰/۰۲۰۱	MME (cm)		
۰/۷۴۷۵ (۵)	۰/۰۱۱۱ (۳)	۰/۰۱۱۰ (۲)	۰/۰۰۱۷ (۱)	۰/۰۲۰۱ (۴)	MAME (cm)		
۰/۸۳۹۰ (۵)	۱/۰۲۹ (۳)	۰/۰۹۱۶ (۲)	۰/۰۵۹۶ (۱)	۰/۱۹۱۷ (۴)	MRMSE (cm)		
۰/۵۱۰۵ (۵)	۰/۰۲۰۰ (۱)	۰/۰۳۴۱ (۳)	۰/۰۲۰۶ (۲)	۰/۰۸۵۹ (۴)	SDRMSE (cm)	مرتع	
۸۷/۲۱ (۵)	۹۹/۸۲ (۳)	۹۹/۸۵ (۲)	۹۹/۹۳ (۱)	۹۹/۲۹ (۴)	EF		
۰/۹۹۴۸ (۳)	۰/۹۹۹۹ (۱)	۰/۹۹۹۹ (۱)	۰/۹۹۹۹ (۱)	۰/۹۹۹۷ (۲)	W		
۵	۳	۲	۱	۴	رتبه نهایی		

جدول ۶- مقادیر آماره‌های ارزیابی مدل‌های نفوذ و رتبه‌ی مدل به ازای تمامی داده‌های آزمایش‌های نفوذپذیری در رطوبت اولیه زیاد

آماره	نام مدل				
	کوستیاکف	کوستیاکف-لوییس	هورتون	SCS	فیلیپ
MME (cm)	۰/۰۱۱۳	۰/۰۰۹۹	-۰/۰۰۴۸	-۰/۲۴۰۳	-۱/۴۳۱۷
MAME(cm)	۰/۰۲۲۱ (۳)	۰/۰۰۹۹ (۱)	۰/۰۱۸۷ (۲)	۰/۳۴۲۵ (۴)	۱/۴۳۱۷ (۵)
MRMSE (cm)	۰/۱۴۴۱ (۲)	۰/۲۲۴۹ (۳)	۰/۰۷۸۳ (۱)	۰/۵۲۴۲ (۴)	۱/۹۷۰۳ (۵)
SDRMSE (cm)	۰/۰۶۸۱ (۱)	۰/۰۸۳۵ (۳)	۰/۰۸۱۱ (۲)	۰/۳۰۰۸ (۴)	۱/۹۵۱۱ (۵)
EF	۹۹/۵۳ (۳)	۹۸/۸۳ (۱)	۹۹/۷۹ (۲)	۹۳/۵۵ (۴)	۵۱/۳۱ (۵)
W	۰/۹۹۹۸ (۲)	۰/۹۹۹۵ (۳)	۰/۹۹۹۹ (۱)	۰/۹۹۷۵ (۴)	۰/۹۸۰۶ (۵)
رتبه نهایی	۲	۲	۱	۳	۴

کاربری مرتع نشان داد که مدل کوستیاکف-لوییس حداکثر دقت و مدل فیلیپ کمترین دقت را در برآورد نفوذ آب به خاک دارد. با توجه به نتایج به دست آمده از ارزیابی کلی برآورد نفوذ تجمعی توسط مدل‌های نفوذ مورد بررسی در این پژوهش، در رطوبت اولیه زیاد مدل هورتون در رتبه نخست، مدل‌های کوستیاکف و کوستیاکف-لوییس در رتبه دوم و مدل‌های SCS و فیلیپ در رتبه‌های سوم و چهارم ارزیابی قرار گرفتند. در رطوبت اولیه کم و در خاک‌های غیر ورتی‌سول مدل‌های کوستیاکف-لوییس، هورتون، SCS، کوستیاکف و فیلیپ در رتبه‌های نخست تا پنجم ارزیابی قرار گرفتند. بنابراین، می‌توان از مدل هورتون به عنوان بهترین مدل برای بیان کمی فرایند نفوذ آب به خاک در رطوبت اولیه زیاد خاک‌های ورتی‌سول استفاده کرد. نتایج این پژوهش نشان داد اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک‌های ورتی‌سول در شرایط رطوبتی اولیه کم با استفاده از روش‌های غرقایی امکان‌پذیر نیست. بنابراین، پیشنهاد می‌شود روشی برای اندازه‌گیری فرایند نفوذ آب به خاک‌های ورتی‌سول در شرایط رطوبتی کم معرفی و کارایی مدل‌های نفوذ براساس داده‌های اندازه‌گیری شده به این روش بررسی شود.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از دانشگاه شهرکرد که اعتبار مالی لازم برای انجام این پژوهش را فراهم نمود سپاس‌گزاری مینمایم.

منابع

۱- پرچمی‌عراقی ف. میرلطفی م. قربانی‌دشتکی ش. و مهدیان م. ۱۳۸۹. ارزیابی برخی مدل‌های نفوذ آب به خاک در برخی کلاس‌های بافتی خاک و کاربری‌های اراضی. نشریه

با توجه نتایج به دست آمده در ارزیابی کلی مدل‌های مورد بررسی برای برآورد نفوذ تجمعی در رطوبت اولیه زیاد، مدل‌های هورتون در رتبه اول، کوستیاکف، کوستیاکف-لوییس در رتبه دوم و SCS و فیلیپ به ترتیب در رتبه‌های سوم و چهارم و در رطوبت اولیه کم مدل‌های کوستیاکف-لوییس، هورتون، SCS، کوستیاکف و فیلیپ به ترتیب در رتبه‌های اول تا پنجم قرار گرفتند. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود مدل فیلیپ در رطوبت اولیه زیاد و رطوبت اولیه کم در رده‌ی آخر ارزیابی قرار گرفته است. احتمالاً با سنگین شدن بافت خاک دقت برآورد کاهش می‌یابد که شاید به دلیل افزایش تشکیل ذرات ثانویه و وابستگی فرایند نفوذ به بافت خاک باشد (راولز و برکنسیک، ۱۹۸۵).

نتیجه‌گیری

ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های مورد بررسی در رطوبت اولیه زیاد در خاک‌های ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول با کاربری گندم و مرتع نشان داد که مدل هورتون حداکثر دقت و مدل فیلیپ کمترین دقت را در برآورد نفوذ آب به خاک دارد. همچنین نتایج نشان داد که عملکرد مدل‌های مورد بررسی در کاربری گندم و مرتع یکسان نیست. با این وجود، نحوه برآورد نفوذ تجمعی در مدل هورتون در مقایسه با سایر مدل‌ها از روند پایدارتری برخوردار بوده و در کاربری‌های مورد بررسی حائز رتبه نخست شد مدل‌های SCS و فیلیپ دارای بیشترین خطای برآورد بودند. همچنین مدل فیلیپ از EF و W کمتر نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی برخوردار بوده است. به دلیل بالا بودن جریان ترجیحی حاصل از باز بودن درز و ترک‌ها اندازه‌گیری نفوذ در خاک‌های ورتی‌سول در رطوبت اولیه کم امکان‌پذیر نبود. در این حالت ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های مورد بررسی در خاک‌های غیر ورتی‌سول در

- ۱۵- Horton R. E. 1940. An approach towards a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 5: 399-417.
- ۱۶- Kao C.S. and Hunt J.R. 1996. Prediction of wetting front movement during one-dimensional infiltration into soils. *Water Resour. Res.* 9(2): 384-395.
- ۱۷- Kostiaikov A. N. 1932. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. *Transactions, 6th Congress of the International Society Soil Science of Russia. Part A:* 17-21.
- ۱۸- Mishra S. K. and Singh V. P. 1999. Another look at SCS-CN method. *J Hydrol Eng ASCE* 4(3): 257-264.
- ۱۹- Mishra S. K. Tyagi J.V. and Singh V.P. 2003. Comparison of infiltration models. *Hydrol. Processes* 17: 2629-2652.
- ۲۰- Nelson D.W. and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Analysis, part 3. Chemical Methods.* SSSA. Madison Wis. 1390 pp.
- ۲۱- Neshat A. and Parehkar M. 2007. The comparison of methods for determining the vertical infiltration rate. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 14(3): 186-195.
- ۲۲- Philip J. R. 1957. The theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. *Soil Sci.* 83: 345-357.
- ۲۳- Rawls W. J. and Brakenseik D. L. 1985. Prediction of soil water properties for hydrologic modeling. In: Jones E. B. and Ward, T. J. (Eds). *Watershed Management in the Eighties. Proceedings of the Symposium, ASCE Convention in Denver, Colorado, USA.*
- ۲۴- Sepaskhah A.R. and Afshar-Chamanabad H. 2002. Determination of infiltration rate for every-other furrow irrigation. *Biosystems Engineering* 82(4): 479-484.
- ۲۵- Shukla M. K. Lal R. and Unkefer P. 2003. Experimental evaluation of infiltration models for different land use and soil management systems. *Soil Sci.* 168(3): 178-191.
- ۲۶- Sy N. L. 2006. Modelling the infiltration process with a multi-layer perceptron artificial neural network. *Hydrol. Sci. J* 51(1): 3-20.
- ۲۷- Valiantzas J. D. 2010. New linearized two-parameter infiltration equation for direct determination of conductivity and sorptivity. *J. Hydrol.* 384(1-2): 1-13.
- ۲۸- Willmott C. J. Ackleson S. G. Davis R. E. Feddema J. J. Klink K. M. Legates. D. R. O'Donnell J. and Rowe C. M. 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. *J. Geophys. Res.* 90(C5): 8995-9005.
- آبیاری و زهکشی ایران. ۴ (۲): ۱۹۳-۲۰۵.
- ۲- قربانی‌دشتکی ش. همایی م. و مهدیان م. ۱۳۸۷. برآورد پارامترهای نفوذ آب به خاک با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. *مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. ۲۳ (۱): ۱۸۵-۱۹۸.
- ۳- محمدی م. و رفاهی ح. ۱۳۸۴. تخمین پارامترهای معادلات نفوذ توسط خصوصیات فیزیکی خاک. *مجله علوم کشاورزی ایران*. ۳۶ (۶): ۱۳۹۱-۱۳۹۸.
- 4- Bhardwaj A. and Singh R. 1992. Development of a portable simulator infiltrometer for infiltration, runoff and erosion studies. *Agricultural Water Management* 22(4):235-248.
- 5- Blake G. R. and Hartge K. H. 1986. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd Ed. Agron. Monogr. 9. ASA. Madison. WI.* 375 pp.
- 6- Bouma J. 1983. Use of soil survey data to select measurement techniques for hydraulic conductivity. *Agricultural Water Management* 6: 177-190.
- 7- Crescimanno D. Santis A. D. and Provenzano G. 2007. Soil structure and bypass flow processes in a Vertisol under sprinkler and drip irrigation. *Geoderma* 138: 110-118.
- 8- Duan R. Fedler C. B. and Borrelli J. 2010. Field evaluation of infiltration models in lawn soils. *Irrig. Sci.* 29: 379-389.
- 9- Gee G. W. and Bauder J. W. 1986. Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed), *Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA. Madison. WI.* 636 pp.
- 10- Ghorbani Dashtaki S. Homae M. and Khodaverdiloo H. 2010. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. *Soil Use and Mange* 26:68-74.
- 11- Ghorbani Dashtaki S. Homae M. Mahdian M. H. and Kouchakzadeh M. 2009. Site-dependence performance of infiltration models. *Water Resour. Manage.* 23: 2777-2790.
- 12- Green W.H. and Ampt G. 1911. Studies of soil physics, Part 1. The flow of air and water through soils. *J. Agric. Sci.* 4: 1-24.
- 13- Heidari A. Mahmoodi Sh. Roozitalab M. H. and Mermut A. R. 2008. Diversity of clay minerals in the Vertisols of three different climatic regions in western Iran. *J. Agric. Sci. Technol.* 10: 269-284.
- 14- Holzapfel E.A. Jara J. Zuniga Marino M.A. Paredes, J. and Billib M. 2004. Infiltration parameters for furrow irrigation. *Agric. Water Manage.* 68: 19-32.