

واسنجی و ارزیابی مدل‌های مختلف نفوذ آب در خاک (مطالعه موردی: سه منطقه در غرب کشور)

یاسر سبزواری^۱، عباس پارسائی^۲، امیر حمزه حقی آبی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۲۵

چکیده

مدل‌های نفوذ آب به خاک نقش مهمی را در طراحی و ارزیابی سیستم‌های آبیاری سطحی ایفا می‌کنند. هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی، مقایسه و واسنجی مدل‌های نفوذ آب در برخی از مناطق غرب کشور شامل مناطق داوود رشید و هونام در استان لرستان و کلات در استان ایلام است. در این پژوهش مدل‌های نفوذ شامل مدل کاستیاکوف، کاستیاکوف اصلاح شده، ناول، فیلیپ، هورتون و SCS مورد بررسی قرار گرفتند. برای ارزیابی دقت مدل‌ها، شاخص‌های خطاسنجی شامل RMSE، MAE، MR، PE و R^2 استفاده شدند. واسنجی مدل‌ها با استفاده از Solver نرم‌افزار اکسل انجام شد. بررسی شاخص‌های ارزیابی نشان داد مدل نفوذ ناول با مقادیر متوسط RMSE، MAE، MR، PE و R^2 به ترتیب برابر ۰/۰۲، ۰/۰۱، ۰/۹۹، ۰/۱۳ و ۰/۹۷ دارای عملکرد بهتری نسبت به پنج مدل دیگر در تمام محدوده مطالعاتی است. در طرف مقابل مدل SCS با مقادیر متوسط به ترتیب برابر ۰/۰۷، ۰/۰۵۷، ۱/۰۷، ۷/۸۶ و ۰/۸۰ دارای نامناسب‌ترین عملکرد بود. در حالی که تجزیه واریانس مدل‌های مختلف بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین مقادیر محاسباتی و اندازه‌گیری شده بود. در بررسی منطقه‌ای این مدل‌ها نیز مدل ناول مناسب‌ترین مدل برای هر سه منطقه داوود رشید، هونام و کلات انتخاب شد. بررسی عملکرد مدل‌ها در بافت‌های مختلف خاک حاکی از حساسیت کمتر مدل‌های هورتون، ناول، کاستیاکوف و کاستیاکوف اصلاح شده نسبت به تغییرات بافت خاک، عملکرد بهتر مدل SCS در بافت‌های سنگین و عملکرد بهتر مدل فیلیپ در بافت‌های سبک‌تر بود. بنابراین می‌توان از مدل ناول در برآورد نفوذ تحت شرایط مختلف بافت خاک و همچنین در شرایط مشابه منطقه مطالعاتی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، واسنجی، ناول، نفوذپذیری

مقدمه

نفوذ جلب شده است (Vand et al., 2018). نفوذپذیری خاک به عواملی مانند: مقدار رطوبت اولیه خاک، بافت خاک، تراکم و ساختمان خاک وابسته است (Angelaki et al., 2013). مدل‌های مختلفی از جمله کاستیاکوف، کاستیاکوف اصلاح‌شده، فیلیپ، هورتون برای تخمین نفوذ توسعه داده شده‌اند. جوادی و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف نفوذ (کاستیاکوف اصلاح‌شده، فیلیپ و هورتون) در آبیاری سطحی با استفاده از مدل HYDRUS پرداختند. نتایج نشان داد مدل‌های تجربی (کاستیاکوف اصلاح‌شده و هورتون) عملکرد بهتری نسبت به مدل فیزیکی (فیلیپ) داشته است. یونگ-یونگ و همکاران چهار مدل نفوذ (کاستیاکوف، کاستیاکوف اصلاح‌شده، فیلیپ و هورتون) در توصیف نفوذ در جویچه‌های آبیاری را مقایسه کردند. نتایج نشان داد که مدل کاستیاکوف اصلاح‌شده، رابطه بین نفوذ تجمعی و زمان را بهتر از سایر مدل‌ها نشان می‌دهد (Yongyong et al., 2012). ذوالفقاری و همکاران به بررسی عملکرد هفت مدل نفوذ (کاستیاکوف، کاستیاکوف اصلاح‌شده، کاستیاکوف لویز اصلاح‌شده، فیلیپ، هورتون، SCS و

کشور ایران دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک است که بر اساس شاخص‌های مختلف از جمله: شاخص فالکن مارک، شاخص سازمان ملل و شاخص مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، با بحران آب مواجه است. با توجه به این موضوع صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی اهمیت می‌یابد. لازمه‌ی این امر طراحی و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری است که به فاکتورهای مهمی از جمله تخمین دقیق نفوذ آب به خاک بستگی دارد (جوادی و همکاران، ۱۳۹۶). آگاهی از وضعیت نفوذپذیری، همچنین در مطالعات ارزیابی هیدرولوژیکی، نقش بسزایی ایفا می‌کند (Pedretti et al., 2012). به دلیل نقش اساسی در فرآیندهای هیدرولوژیکی، توجه محققان حوزه آب و خاک به مفهوم

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان

۲- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان

(Email: haghiahi.a@lu.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش برای ارزیابی و دقت مدل‌های نفوذ آب در خاک از اطلاعات منتشر شده توسط (Sihag et al., 2019) استفاده شد. آن‌ها در آزمایش‌های خود از روش حلقه‌های مضاعف استفاده کردند. مطالعات صحرائی آن‌ها در مناطق داوود رشید و هونام در استان لرستان و منطقه کلات در استان ایلام انجام شد. در منطقه کلات ۴ ایستگاه، در منطقه هونام ۳ ایستگاه و در منطقه داوود رشید ۹ ایستگاه به صورت تصادفی در منطقه انتخاب گردید که نقاط انتخابی در کلات دارای کاربری مرتع و در هونام و داوود رشید شامل کاربری‌های مرتع، جنگل و کشاورزی هستند. داوود رشید در مختصات $37^{\circ}41'34''/21^{\circ}$ شرقی و $33^{\circ}33'30''/31^{\circ}$ شمالی با متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۵۷۸ متر با سازند آبرفتی و گورپی، منطقه هونام در مختصات $48^{\circ}16'41''/97^{\circ}$ شرقی و $33^{\circ}47'20''/01^{\circ}$ شمالی با متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۶۰۰ متر با سازند آهکی و آبرفتی و منطقه کلات در مختصات $47^{\circ}50'38''/97^{\circ}$ شرقی و $32^{\circ}38'26''/37^{\circ}$ شمالی با متوسط ارتفاع از سطح دریا ۸۸۰ متر با سازند گورپی و پابده واقع شده‌اند. شکل ۱ نشان‌دهنده موقعیت محدوده مطالعاتی است.

روش پژوهش

سیه‌هاگ و همکاران برای محاسبه نفوذ از روش حلقه‌های مضاعف برای همه‌ی ایستگاه‌ها استفاده کردند (Sihag et al., 2019). همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در این آزمایش از حلقه‌های مضاعف استفاده شد (Sihag et al., 2019). مشاهدات اولیه آزمایش، سرعت نفوذ پایه و مشخصات خاک در همه‌ی ایستگاه‌ها در جدول ۱ آورده شده است. برای اندازه‌گیری نفوذ، نمونه خاک به منظور تعیین خصوصیات خاک، از محلی نزدیک به ایستگاه آزمایش برداشت شد.

مدل کاستیاکوف (KM)

کاستیاکوف یک مدل تجربی برای محاسبه سرعت نفوذ به صورت زیر ارائه کرد (Kostiakov, 1932):

$$f(t) = mt^{-n} \quad (1)$$

که در آن $f(t)$ نرخ نفوذ (cm/min) به صورت تابعی از زمان، m و n پارامترهای مدل و t نیز زمان (min) است.

مدل کاستیاکوف اصلاح شده (MKM)

مدل کاستیاکوف اصلاح شده برای زمان‌های طولانی به صورت رابطه ۲ است:

(Swartzendruber) در برآورد نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده با استوانه‌های مضاعف در چهار کلاس بافت خاک پرداختند. نتایج نشان داد که مدل کاستیاکوف لوئیز اصلاح شده و مدل SCS در تمام خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب مناسب‌ترین و نامناسب‌ترین مدل‌ها هستند (Zolfaghari et al., 2012). ثامنی و همکاران (۱۳۹۳) کارآیی چند رابطه نفوذ (کاستیاکوف، کاستیاکوف اصلاح شده، فیلیپ، حفاظت خاک آمریکا و هورتون) با کاربرد آب‌های شور و سدیمی مختلف در دو خاک لومرسی و لوم‌شنی را ارزیابی کردند. نتایج نشان از عملکرد مناسب مدل کاستیاکوف اصلاح شده و عملکرد نامناسب مدل حفاظت خاک آمریکا داشت. جوادی و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی معادلات نفوذ آب به خاک (کاستیاکوف، کاستیاکوف اصلاح شده، فیلیپ، حفاظت خاک آمریکا و هورتون) در شرایط تلفیق کیفیت آب آبیاری، رطوبت اولیه خاک و بار آبی ثابت پرداختند. در این مطالعه مدل هورتون مناسب‌ترین و مدل کاستیاکوف نامناسب‌ترین مدل شناخته شدند. واعظی و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی مدل‌های مختلف نفوذ آب در خاک‌های با بافت مختلف تحت مقادیر متفاوت محتوای رطوبت اولیه پرداختند. نتایج نشان داد مدل هورتون مناسب‌ترین مدل و مدل گرین و آمیت نامناسب‌ترین مدل در تخمین نفوذ هستند. میرزایی و همکاران به مقایسه عملکرد ۸ مدل نفوذ (کاستیاکوف، کاستیاکوف اصلاح شده، کاستیاکوف لوئیز اصلاح شده، فیلیپ، هورتون، Swartzendruber، گرین و آمیت و SCS) با روش حداقل مربعات پرداختند. نتایج نشان داد مدل کاستیاکوف لوئیز اصلاح شده برای بافت‌های لومرسی، شنی رسی لومی و لومی و مدل کاستیاکوف اصلاح شده برای بافت‌های سیلتی لومی مناسب‌ترین مدل‌ها می‌باشند (Mirzaee et al., 2014). سیه‌هاگ و همکاران به ارزیابی چهار مدل مختلف نفوذ (کاستیاکوف، کاستیاکوف اصلاح شده، ناول^۱ و SCS) پرداختند. نتایج نشان داد که مدل Novel بهترین عملکرد را نسبت به مدل دیگر داشته است (Sihag et al., 2017). سپهوند و همکاران به ارزیابی عملکرد و مدل‌سازی چهار مدل نفوذ (کاستیاکوف، کاستیاکوف اصلاح شده، ناول و فیلیپ) پرداختند. نتایج ارزیابی نشان از عملکرد مناسب مدل ناول نسبت به سه مدل دیگر داشت (Vand et al., 2018). با توجه به پرهزینه و وقت‌گیر بودن اندازه‌گیری نفوذ و تغییرپذیری نفوذ با تغییر پارامترهای مؤثر در آن، شناسایی و واسنجی کردن مدل نفوذی که آن را به با دقت بالا تخمین بزند، ضروری است. شاهد این امر را می‌توان در پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه یافت. بنابراین هدف از پژوهش حاضر واسنجی و ارزیابی مدل‌های مختلف تجربی و فیزیکی نفوذ آب به خاک در مناطق و بافت‌های خاک مختلفی از استان‌های لرستان و ایلام است.

(min)، S ضریب جذبی خاک است (cm/min^{1/5}) و A پارامتر مربوط به خاک و بیانگر نیروی گرانشی خاک است.

مدل حفاظت خاک آمریکا (SCS)

حفاظت خاک آمریکا بر اساس مدل کاستیاکوف و آزمایش‌ها متعدد رابطه‌ای به صورت زیر ارائه کرد (US Department of Agriculture, 1974):

$$f(t) = mt^n + 0.6985 \quad (۴)$$

که در آن f(t) نرخ نفوذ (cm/min) به صورت تابعی از زمان، t زمان (min)، m و n پارامترهای مدل می‌باشند.

$$f(t) = mt^{-n} + i_c \quad (۲)$$

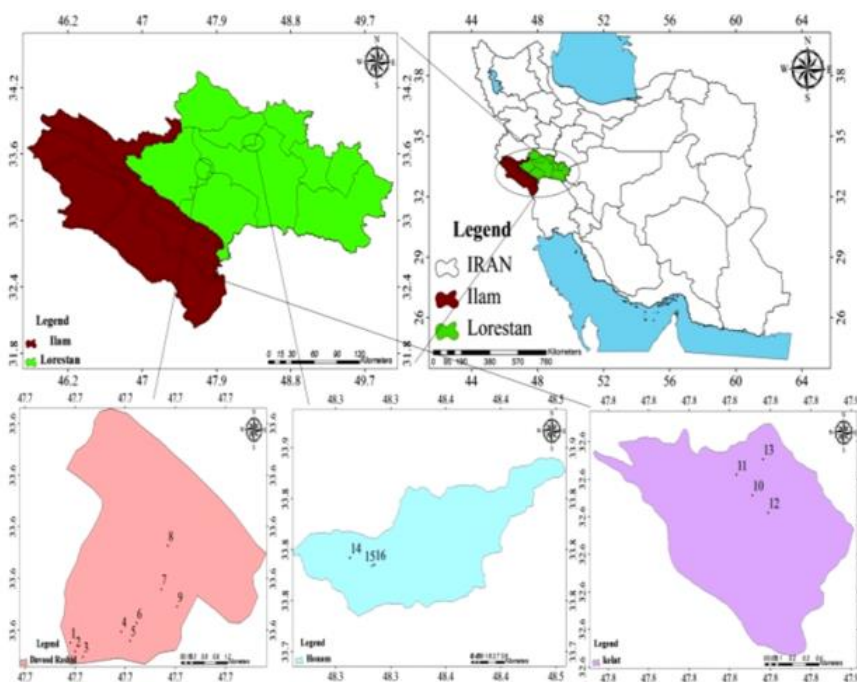
که در آن f(t) نرخ نفوذ (cm/min) به صورت تابعی از زمان، t زمان (min)، m و n پارامترهای مدل و i_c سرعت نفوذ نهایی یا پایه (cm/min) است.

مدل فیلیپ (PM)

فیلیپ رابطه‌ای برای محاسبه نفوذ بر اساس خصوصیات فیزیکی خاک و آب در دسترس در خاک، به صورت رابطه ۴ ارائه کرد (Philips, 1957):

$$f(t) = \frac{1}{2} St^{-0.5} + A \quad (۳)$$

که در آن f(t) نرخ نفوذ (cm) به صورت تابعی از زمان، t زمان



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی در لرستان، ایلام و کشور



شکل ۲- حلقه‌های مضاعف آزمایش

جدول ۱- سرعت نفوذ اولیه، نهایی و مشخصات خاک منطقه مورد مطالعه

شماره ایستگاه	نفوذ اولیه در $t=2/5$ (cm/min)	نفوذ پایه (cm/min)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	تراکم (g/cc)	رطوبت خاک (%)
۱	۰/۳۲	۰/۱۵	۱۰	۵۰	۳۸	۱/۴۲۳	۲/۷۳
۲	۰/۳۲	۰/۱۱	۱۲	۵۸	۳۰	۱/۴۲	۳/۰۸
۳	۰/۳۶	۰/۱۴	۱۲	۵۰	۳۸	۱/۷۹	۲/۵۸
۴	۰/۳۶	۰/۱۳	۱۴	۵۰	۳۶	۱/۶۳	۲/۴۹
۵	۰/۶۴	۰/۲۸	۲۶	۴۴	۳۰	۱/۴۴	۲/۳۷
۶	۰/۵۶	۰/۲۰	۲۵	۴۹	۲۶	۱/۴۴۸	۲/۳۷
۷	۰/۶۰	۰/۲۰	۱۶	۵۱	۳۳	۱/۴	۲/۴۸
۸	۰/۱۲	۰/۰۸	۱۸	۶۲	۲۰	۱/۰۸	۳/۸۴
۹	۰/۸	۰/۲۴	۲۸	۵۵	۱۷	۱/۳	۲/۲۴
۱۰	۰/۴۴	۰/۱	۱۶	۶۵	۱۹	۱/۳۷	۱/۶۶
۱۱	۰/۴۴	۰/۱۴	۱۸	۵۳	۲۹	۱/۴	۲/۱۸
۱۲	۰/۷۶	۰/۱۴	۲۰	۵۱	۲۹	۱/۲۴	۱/۷۱
۱۳	۰/۴۸	۰/۱۶	۲۴	۴۹	۲۷	۱/۳۲	۱/۹۵
۱۴	۰/۳۶	۰/۱۲	۵۲	۳۷	۱۱	۱/۵۶	۲/۴۲
۱۵	۱/۴۸	۰/۳۸	۵۰	۴۴	۶	۱/۴۶	۲/۳
۱۶	۱/۵۶	۰/۳۸	۴۲	۳۷	۲۱	۱/۴۸	۲/۳

مدل هورتون (HM)

هورتون پس از بررسی‌های زیاد به این نتیجه رسید که ظرفیت نفوذ آب به خاک با افزایش زمان به شدت و به صورت توانی نسبت به زمان کاهش می‌یابد، به طوری که در ابتدای بارندگی ظرفیت آن حداکثر f_{ini} و در نهایت به مقدار f_0 می‌رسد (Horton, 1941).

$$f(t) = f_0 + (f_{ini} - f_0)e^{-kt} \quad (5)$$

که در آن f_{ini} سرعت نفوذ اولیه (cm/min)، f_0 سرعت نفوذ پایه (cm/min)، t زمان (min)، $f(t)$ نرخ نفوذ (cm/min) و k ثابت هورتون است که به کاربری اراضی و جنبش خاک بستگی دارد (واعظی و همکاران، ۱۳۹۸).

مدل ناول (NM)

سپهاگ و همکاران برای تخمین نفوذ آب به خاک رابطه تجربی به صورت زیر ارائه نمودند (Sihag et al., 2017):

$$f(t) = mt^{-n} + pi_c \quad (6)$$

که در آن $f(t)$ نرخ نفوذ (cm/min) به صورت تابعی از زمان، t زمان (min)، m ، n و p پارامترهای مدل و i_c سرعت نفوذ نهایی (cm/min) است.

تعیین ضرایب مدل‌های مختلف نفوذ

با توجه به اینکه مدل‌های نفوذ دارای ضرایب ثابت و تجربی هستند، لذا استخراج این ضرایب برای تخمین نفوذ توسط مدل، ضروری است. برای ارزیابی و مقایسه مدل‌های مختلف نفوذ، ضرایب

بهینه مدل‌های بکار گرفته شده با استفاده از ابزار Solver اکسل استخراج شد. برای این منظور مقادیر عمق آب نفوذ یافته نسبت به زمان با معادلات مذکور برازش داده شد، این کار طوری انجام شد که شاخص ریشه میانگین مربعات خط حداقل مقدار را داشته باشد.

شاخص‌های ارزیابی

برای ارزیابی عملکرد مدل‌های نفوذ، تعیین معیارهای ارزیابی عملکرد ضروری است. برای دستیابی به مدل مناسب نفوذ، مدل‌های مختلف با شاخص‌های خطا سنجی مبتنی بر پارامترهای آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، درصد خطای تخمین (PE)، نسبت میانگین (MR) و ضریب تبیین (R^2) که به صورت زیر محاسبه می‌شوند، مورد استفاده قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{y}_i)^2}{n}} \quad (7)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{y}_i|}{n} \quad (8)$$

$$PE = \frac{|x_{avg} - y_{avg}|}{y_{avg}} * 100 \quad (9)$$

$$MR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{y_i} \quad (10)$$

تجزیه واریانس از آماره‌های F و P استفاده می‌شود. آماره F با F بحرانی و مقدار P با سطح معنی‌داری α ($=0.05$) مقایسه می‌شود. چنانچه مقدار F بیشتر یا مساوی مقدار بحرانی باشد ($F \leq F$ بحرانی)، فرض صفر رد و چنانچه کمتر از حد بحرانی باشد ($F > F$ بحرانی)، فرض صفر تأیید می‌شود.

نتایج و بحث

برای داشتن تنوع مکانی، آزمایش‌های نفوذ در ۱۶ مکان مختلف داوود رشید، هونام و کلات اجرا شد. مقدار نفوذ اولیه از ۱/۵۶ تا ۰/۱۲ (cm/min) متغیر است و بازه مقدار نفوذ نهایی از ۰/۲۸ تا ۰/۰۸ (cm/min) است. مقدار رطوبت نمونه‌های خاک گرفته‌شده از ایستگاه‌ها از ۱/۶۶ تا ۳/۸۴ درصد متغیر است. در این پژوهش مدل‌های نفوذ کاستیاکوف، کاستیاکوف اصلاح‌شده، ناول، فیلیپ، هورتون و SCS برای محاسبه میزان نفوذ آب در منطقه مطالعاتی انتخاب شدند. برای بررسی کردن این مدل‌ها از اطلاعات نفوذ میدانی استفاده شد. تلاش بر این بود تا این مدل‌ها با مشاهدات آزمایشی ارزیابی شده و مقادیر عددی مناسبی برای پارامترهای معادلات ارائه شود. مقادیر ضرایب مدل‌های نفوذ مورد استفاده بعد از عمیات واسنجی در جدول ۲ آورده شده است.

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (11)$$

که در این روابط x_i و y_i به ترتیب مقدار اندازه‌گیری شده و نتایج حاصل از مدل‌ها، همچنین x_{avg} و y_{avg} به ترتیب میانگین مقدار اندازه‌گیری شده و میانگین نتایج حاصل از مدل‌ها است. مقادیر آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق همواره مثبت بوده و بهترین حالت عملکرد زمانی است که مقدار به صفر نزدیک شود. مقدار مثبت آماره درصد خطای تخمین بیان‌گر آن است که مدل مورد بررسی نفوذ تجمعی را بیشتر برآورد کرده و مقدار منفی آن بیانگر آن است که مدل مقدار نفوذ را کمتر برآورد می‌کند. شاخص نسبت میانگین به منظور بیش برآوردی یا کم‌برآوردی مدل‌ها نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده، مورد استفاده قرار گرفت.

تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA)

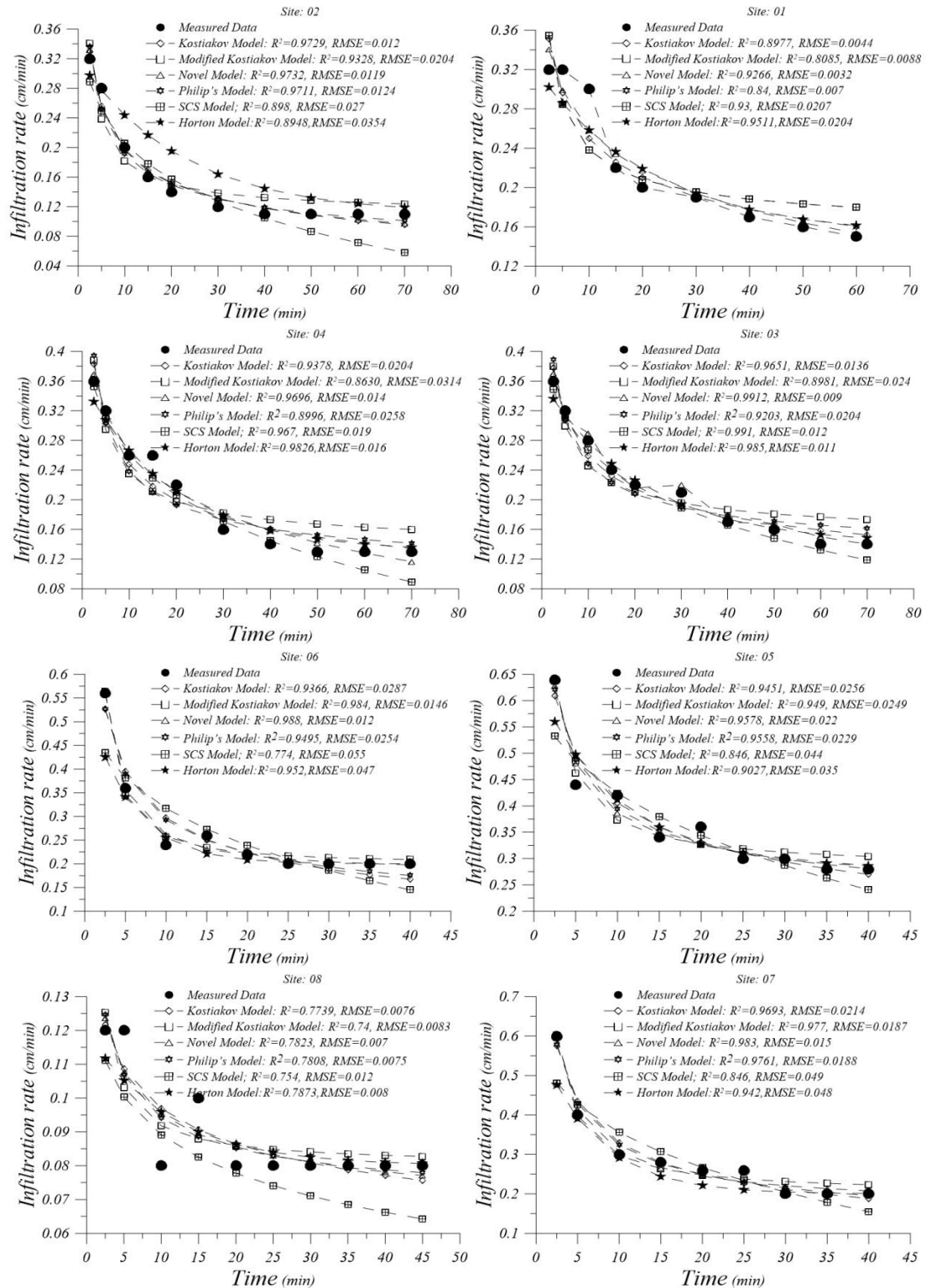
از آنالیز واریانس یک‌طرفه برای تعیین اینکه آیا بین میانگین دو یا چند گروه مستقل تفاوت معنی‌داری وجود دارد یا خیر، استفاده می‌شود. فرض صفر (H_0) در این آزمون، یکسان بودن میانگین همه نمونه‌ها است:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \dots = \mu_k \quad (12)$$

که در آن μ میانگین گروه و k تعداد گروه است. برای تحلیل

جدول ۲- ضرایب مدل‌های نفوذ بعد از واسنجی

شماره ایستگاه	مدل کاستیاکوف		مدل کاستیاکوف اصلاح‌شده		مدل ناول		مدل فیلیپ		SCS		هورتون
	n	m	n	m	n	m	A	S	n	m	
۱	۰/۲۴۶۷	۰/۴۴۰۵	۰/۶۰۶۷	۰/۳۵۶۷	۰/۰۰۸۰	۷/۴۹۳۹	۰/۱۱۷۴	۰/۷۷۱۶	۰/۱۳۶۴	۰/۳۱۷۷	۰/۰۴۵۱
۲	۰/۳۷۱۹	۰/۴۶۴۴	۰/۸۴۵۱	۰/۵۰۰۴	۰/۴۰۵۸	۰/۴۵۸۶	۰/۰۴۶۳	۰/۹۱۷۷	۰/۱۳۶۵	۰/۳۵۳۶	۰/۰۲۷۸
۳	۰/۲۷۲۰	۰/۴۸۴۵	۰/۵۹۱۷	۰/۴۱۳۳	۰/۰۰۳۷	۱۸/۷۰۹۸	۰/۱۰۸۴	۰/۸۸۶۶	۰/۱۵۵	۰/۲۹۵۵	۰/۰۴۶۸
۴	-/	۰/۵۱۰۷	۰/۶۴۶۱	۰/۴۶۶۲	۰/۰۰۵۹	۱۳/۰۸۰۰	۰/۰۸۲۵	۰/۹۸۵۶	۰/۱۷۲۹	۰/۲۸۸	۰/۰۵۲۱
۵	۰/۲۹۳۵	۰/۷۹۷۱	۰/۹۷۲۶	۰/۸۷۲۶	۰/۶۴۲۷	۰/۷۳۹۸	۰/۱۶۷۴	۱/۴۳۲۶	۰/۳۷۷۹	۰/۱۱۱۴	۰/۱۰۰۵
۶	۰/۴۱۳۴	۰/۷۶۸۵	۰/۳۳۲۵	۱/۲۳۳۷	۰/۱۱۱۴۴	۱/۰۵۴۷	۰/۰۵۸۳	۱/۴۸۰۷	۰/۲۷۳۵	۰/۱۹۸۶	۰/۱۸۷۵
۷	۰/۴۰۲۶	۰/۸۳۱۴	۰/۰۲۸۳	۱/۰۳۳۰	۰/۷۶۲۹	۰/۸۸۶۰	۰/۰۶۷۷	۱/۶۱۶۱	۰/۳۳۹۶	۰/۱۵۲۸	۰/۱۴۷۵
۸	۰/۱۶۴۸	۰/۱۴۱۶	۰/۹۷۱۸	۰/۱۱۰۵	۰/۳۷۵۳	۰/۰۹۹۳	۰/۰۶۳۵	۰/۱۹۳۵	۰/۰۲۷	۰/۵۶۴۲	۰/۰۹۲۴
۹	۰/۴۶۶۷	۱/۰۰۹۷	۰/۵۲۱۳	۲/۲۳۶۲	۰/۹۸۵۸	۲/۱۶۴۶	۰/۰۴۰۱	۲/۱۳۳۳	۰/۴۵۴۶	۰/۰۹۸۱	۰/۱۴۸۳
۱۰	۰/۵۶۷۳	۰/۷۳۳۰	۰/۰۸۳۳	۰/۹۴۳۰	۰/۶۲۸۵	۰/۷۴۴۹	۰/۰۲۵۳	۱/۴۴۱۹	۰/۲۳۹	۰/۲۶۵۸	۰/۱۰۸۷
۱۱	۰/۴۱۷۳	۰/۶۱۱۱	۰/۰۶۵۴	۰/۷۹۶۵	۰/۹۴۱۲	۰/۷۳۴۱	۰/۰۴۲۸	۱/۱۸۶۵	۰/۱۹۹۵	۰/۳۷۸۵	۰/۱۱۲۷
۱۲	۰/۷۲۰۷	۱/۳۴۹۵	۰/۷۰۶۰	۲/۹۲۳۲	۰/۹۱۵۸	۳/۴۸۰۹	۰/۰۸۸۳	۲/۳۴۵۵	۰/۳۸۵۴	۰/۱۵۱۵	۰/۱۵۸۷
۱۳	۰/۴۴۳۳	۰/۶۴۳۳	۰/۹۲۹۶	۱/۸۷۱۲	۰/۹۹۱۹	۱/۹۶۹۰	۰/۰۳۵۷	۱/۲۲۰۵	۰/۱۸۸	۰/۲۸۹۲	۰/۱۷۲۵
۱۴	۰/۳۹۵۱	۰/۴۶۹۰	۰/۲۸۲۲	۰/۷۶۳۹	۰/۳۳۹۷	۰/۷۹۹۵	۰/۰۴۲۶	۰/۹۰۱۸	۰/۱۳۸۶	۰/۳۵۹۶	۰/۱۳۲۱
۱۵	۰/۴۹۲۶	۲/۲۵۸۸	۰/۰۱۶۹	۲/۸۲۵۳	۰/۶۰۴۵	۲/۲۹۸۷	۰/۰۱۵۵	۴/۴۹۱۳	۰/۲۴۰۷	۷/۱۸۳	۰/۱۰۲۴
۱۶	۰/۵۳۸	۲/۷۹۹۹	۰/۹۱۳۲	۳/۱۲۰۷	۰/۲۹۱۵	۳/۱۴۶۳	۰/۰۸۵	۵/۷۰۸۱	۰/۱۵۱۴	۳/۹۰۶	۰/۰۸۵۹



شکل ۳- نمودار مقایسه‌ای نتایج مشاهداتی نفوذ و نتایج مدل‌های نفوذ در ایستگاه‌های مختلف

شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین، مدل ناول در همه‌ی ایستگاه‌ها دارای بهترین عملکرد نسبت به سایر مدل‌هاست. مدل‌های نفوذ با استفاده از میانگین خطای مطلق، درصد خطای

نتایج حاصل از مقادیر نفوذ میدانی و مقادیر نفوذ محاسبه‌شده با دیگر مدل‌ها با شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به این نمودارها و

ارزیابی آزمایش است. بر اساس این شاخص‌ها نیز، مدل ناول بیشترین دقت و مدل SCS کم‌ترین دقت را نسبت به داده‌های مشاهداتی و سایر مدل‌های تجربی داشته‌اند.

تخمین و نسبت میانگین هم مورد ارزیابی قرار گرفتند. بهترین مدل بر اساس حداقل مقادیر میانگین خطای مطلق، درصد خطای تخمین و نسبت میانگین انتخاب شد. جدول ۳ دربردارنده مقادیر شاخص‌های

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل‌های موردبررسی در ایستگاه‌های مختلف

ردیف	شاخص	کاستیاکوف اصلاحی	ناول	فیلیپ	SCS	هورتون	ردیف	شاخص	کاستیاکوف اصلاحی	ناول	فیلیپ	SCS	هورتون
1	MAE	۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۰۱	9	MR	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	MR	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	9	MR	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	PE	۰/۱۶	۲/۱۳۳۱	۰/۱۳۵۹	۰/۱۵۳	۵/۲۲	۰/۹۸۳۸	9	PE	۰/۱۶	۲/۱۳۳۱	۰/۱۳۵۹	۰/۱۵۳
2	MAE	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	10	MR	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	MR	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	10	MR	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	PE	۰/۰۵	۳/۴۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۸/۸۴	۱۳/۲۶	10	PE	۰/۰۵	۳/۴۵	۰/۰۰	۰/۰۰
3	MAE	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	11	MR	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	MR	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	11	MR	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹
	PE	۰/۱۹	۱/۴۰	۱/۴۴	۰/۰۱	۴/۲۳	۰/۳۳	11	PE	۰/۱۹	۱/۴۰	۱/۴۴	۰/۰۱
4	MAE	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	12	MR	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	MR	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۷	12	MR	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۷
	PE	۰/۳۶	۲/۸۲	۰/۴۹	۰/۰۲	۶/۰۳	۰/۰۷	12	PE	۰/۳۶	۲/۸۲	۰/۴۹	۰/۰۲
5	MAE	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	13	MR	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	MR	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	13	MR	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹
	PE	۰/۰۹	۰/۲۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۸۴	۰/۵۵	13	PE	۰/۰۹	۰/۲۳	۰/۰۰	۰/۰۰
6	MAE	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	14	MR	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	MR	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	14	MR	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹
	PE	۰/۵۳	۱/۲۹	۰/۰۰	۰/۰۱	۳/۸۴	۸/۱۱	14	PE	۰/۵۳	۱/۲۹	۰/۰۰	۰/۰۱
7	MAE	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	15	MR	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	MR	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	15	MR	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹
	PE	۰/۲۵	۰/۹۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۳/۶	۱۰/۵۵	15	PE	۰/۲۵	۰/۹۸	۰/۰۰	۰/۰۰
8	MAE	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	16	MR	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	MR	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	16	MR	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹
	PE	۰/۰۰	۱/۳۶	۰/۰۰	۰/۰۲	۱۱/۸۳	۰/۱۳	16	PE	۰/۰۰	۱/۳۶	۰/۰۰	۰/۰۲

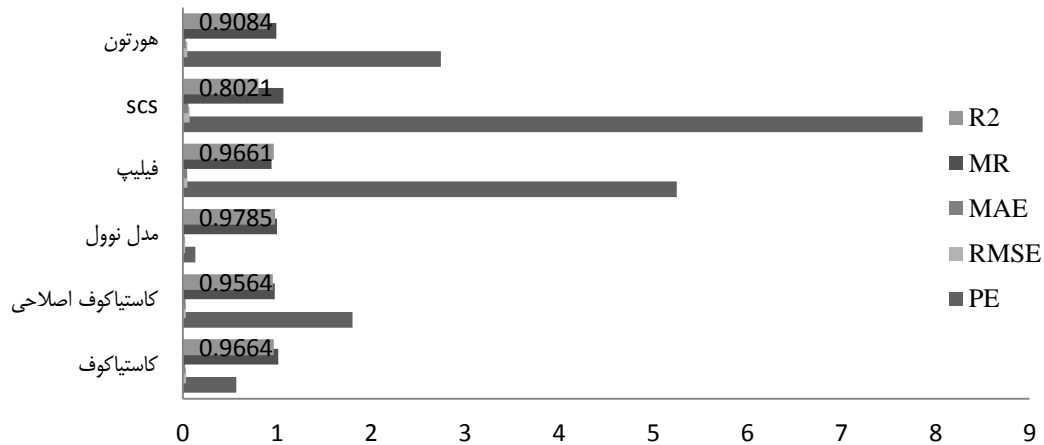
SCS از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. مقایسه شاخص‌های ارزیابی مدل‌های نفوذ نشان از عملکرد بهتر مدل ناول نسبت به مدل‌های دیگر دارد و این مدل می‌تواند در مناطقی با خصوصیات مشابه محدوده مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد. (Sihag et al., 2017) و سپهوند و همکاران (۲۰۱۸) نیز در پژوهش خود به نتیجه مشابه دست یافتند. در طرف مقابل، مدل SCS دارای کمترین دقت برازش نفوذ در محدوده مطالعاتی است. (Zolfaghari et al., 2012) و ثامنی و همکاران (۱۳۹۳) نیز در پژوهش خود مدل SCS را نامناسب‌ترین مدل معرفی کردند. بعد از مدل ناول، مدل هورتون در همه ایستگاه‌ها دارای دقت مناسبی بوده است.

واسنجی منطقه‌ای مدل‌های نفوذ

در این قسمت مدل‌های مختلف نفوذ آب به خاک برای هر سه منطقه کلات، داوود رشید و هونام مورد ارزیابی و ضرایب مناسب هر مدل برای این مناطق ارائه گردید. شکل ۵ نشان‌دهنده نمودار برازش مدل‌های مختلف نفوذ به داده‌های مشاهداتی در سه منطقه مورد مطالعه است. جدول ۵ در بردارنده ضرایب کالیبره شده مدل‌های مورد استفاده در مناطق داوود رشید، هونام و کلات است.

شکل ۴ دربردارنده مقادیر متوسط شاخص‌های مدل‌های موردبررسی است. مقدار متوسط شاخص RMSE برای KM، MKM، NM، PM، HM و SCS به ترتیب برابر ۰/۰۳۱، ۰/۰۳۲، ۰/۰۲۲، ۰/۰۴۸، ۰/۰۴۷ و ۰/۰۷ (cm/min)، مقادیر برابر ۰/۰۲۵، ۰/۰۲۵، ۰/۰۴۳/۰۱۷، ۰/۰۳ و ۰/۰۵۷۵ (cm/min)، مقادیر MR برابر ۱/۰۱، ۰/۹۷۶، ۰/۹۹۹، ۰/۹۴۸، ۰/۹۹۴ و ۱/۰۷ درصد، مقادیر PE برابر ۰/۵۷، ۱/۸، ۰/۱۳، ۵/۲۵، ۲/۷۴ و ۷/۸۶ درصد و مقادیر R² به ترتیب برابر ۰/۹۶۶، ۰/۹۵۶، ۰/۹۷۸، ۰/۹۶۶ و ۰/۹۰۸ و ۰/۸۰۲ است. بر این اساس مدل ناول دارای کمترین خطا (RMSE، MAE و PE) و بیشترین دقت (R²) نسبت به سایر مدل‌ها است. با توجه به شاخص MR نیز مدل ناول با مقدار ۰/۰۰۱ درصد کم-برآوردی بیشترین دقت را نسبت به مقادیر مشاهده‌ای داشته است. این در حالی است که مدل فیلیپ ۰/۰۶ درصد، مدل کاستیاکوف اصلاح‌شده ۰/۰۳ و مدل هورتون ۰/۰۰۶ درصد کم-برآوردی و مدل‌های کاستیاکوف و SCS به ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۰۷ درصد بیش برآوردی را نسبت به مقادیر مشاهده‌ای داشته‌اند.

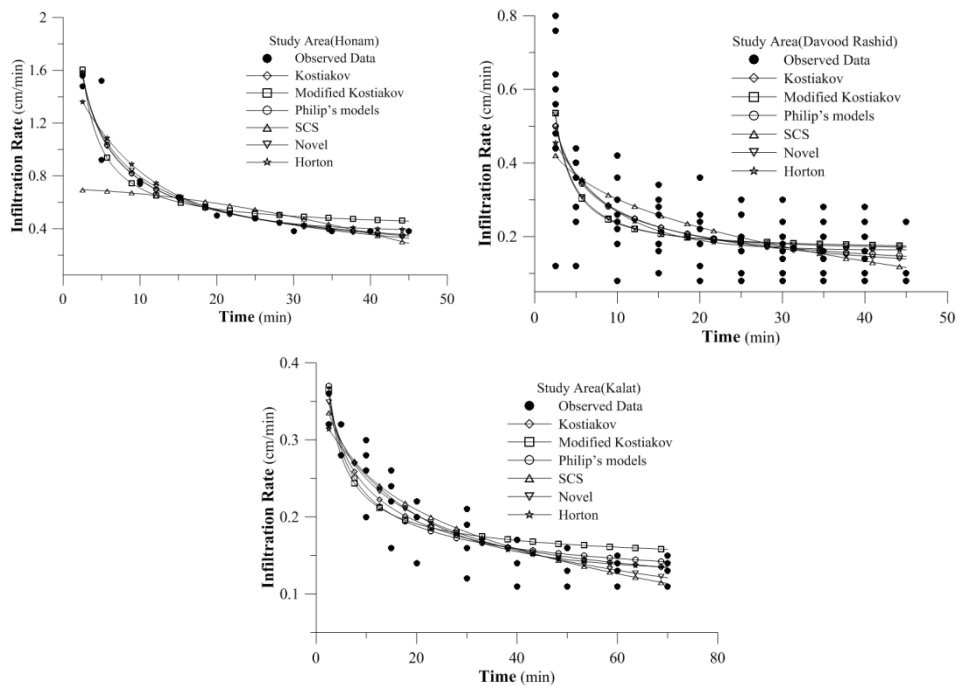
جدول ۴ نشان‌دهنده تجزیه واریانس یک‌طرفه مدل‌های نفوذ مورد ارزیابی است. بر اساس نتایج این آزمون، بین مقادیر میدانی نفوذ و مقادیر تخمینی توسط مدل‌های KM، MKM، NM، PM، HM و



شکل ۴- نمودار متوسط شاخص‌های خطا سنجی مدل‌های مورد بررسی

جدول ۴- مقدار آماره‌های تجزیه واریانس مدل‌های مورد بررسی

مدل	P-Value	F	F بحرانی
کاستیاکوف	۰/۹۷۹	۰/۰۰۰۷	۳/۸۷۲
کاستیاکوف اصلاحی	۰/۸۳۵	۰/۰۴۳۵۷	
ناول	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰۰۰۰۰۶	
فیلیپ	۰/۳۷۹	۰/۷۷۶۴	
SCS	۰/۷۲	۰/۱۲۸۴۲	
هورتون	۰/۹۰۳	۰/۰۱۴۸۳	



شکل ۵- نمودار مقایسه‌ای نتایج مشاهداتی نفوذ و نتایج مدل‌های نفوذ در مناطق داوود رشید، هونام و کلات

جدول ۵- ضرایب مدل‌های نفوذ مورد بررسی در مناطق داوود رشید، هونام و کلات

نام منطقه	مدل کاستیاکوف			کاستیاکوف اصلاح شده			مدل ناول			مدل فیلیپ			SCS			هورتون
	n	m	k	n	m	p	n	m	A	S	p	k	n	m		
داوود رشید	۰/۷۵۱	-۰/۴۴۲	۱/۰۸۸	-۱/۱۷۱	۱/۰۲۸	-۱/۰۹۳	۱/۰۹۵۱	۱/۴۶۲	۰/۰۳۷	۰/۳۱۹	۰/۱۳۶	۰/۲۵۵	۰/۱۳۶	۰/۱۳۶	۰/۱۳۶	
هونام	۲/۵۳۱	-۰/۵۱۷	۲/۹۳۳	-۰/۹۵۳	۲/۵۸۴	-۰/۴۰۱	-۰/۶۱۳	۵/۰۹۹	-۰/۰۳۴	-۰/۰۰۰۷	-۰/۱۰۳	۱/۶۵۷	-۰/۱۰۳	-۰/۱۰۳	-۰/۱۰۳	
کلات	۰/۴۷۲	-۰/۲۹۶	۰/۴۲۵	-۰/۶۶۱	۱/۵۶	-۰/۰۴۹	-۸/۸۴	۰/۸۹	۰/۰۸۸	-۰/۳۱۸	-۰/۰۵۳	۰/۱۴۲	-۰/۰۵۳	-۰/۰۵۳	-۰/۰۵۳	

جدول ۶ در بر دارنده شاخص‌های خطا سنجی مدل‌های نفوذ برای هر سه منطقه مورد مطالعه است. بر اساس این جدول مدل ناول برای هر سه منطقه داوود رشید، هونام و کلات با R^2 به ترتیب به مقدار ۰/۸۷۲، ۰/۸۶۶ و ۰/۹۲۶ و RMSE به ترتیب به مقدار ۰/۸۷۵، ۰/۱۷۷ و ۰/۴۷۳ به عنوان مناسب‌ترین مدل معرفی شد.

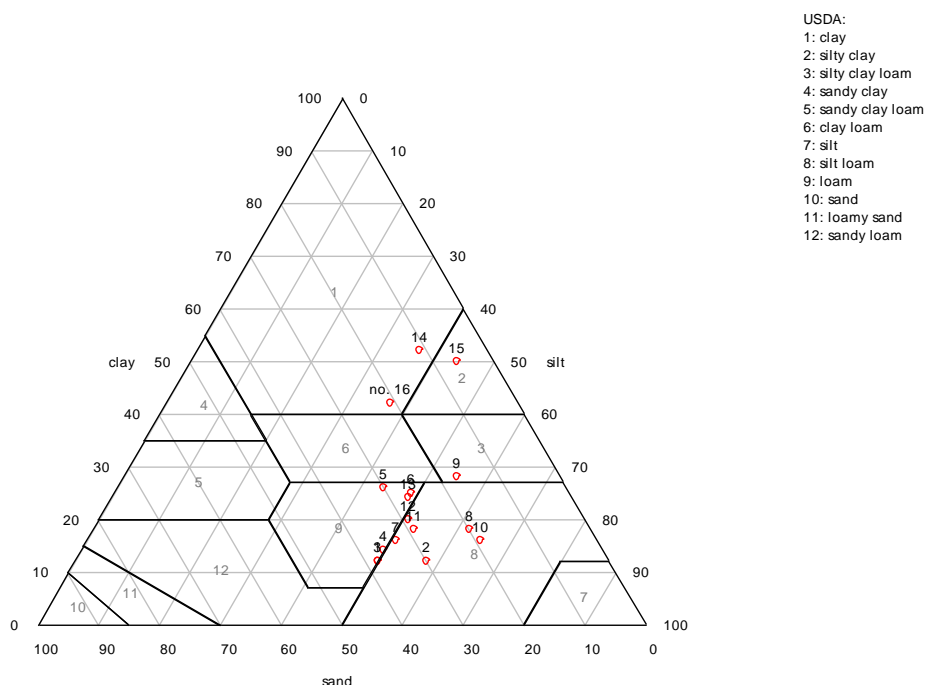
جدول ۶- مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل‌های مورد بررسی در مناطق داوود رشید، هونام و کلات

نام منطقه	مدل کاستیاکوف		کاستیاکوف اصلاح شده		مدل ناول		مدل فیلیپ		SCS		هورتون
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	
داوود رشید	۰/۸۹۹	۰/۵۴۸	۰/۵۷۱	۰/۸۷۵	۰/۸۷۵	۰/۵۷۲	۰/۸۷۵	۰/۵۵۳	۰/۸۹۴	۰/۴۶۱	۰/۹۲۵
هونام	۰/۱۸۲	۰/۸۵۳	۰/۷۸۲	۰/۲۲۷	۰/۸۶۶	۰/۱۷۷	۰/۸۲۳	۰/۲۰۴	۰/۱۸۲	۰/۸۵۸	۰/۱۸۴
کلات	۰/۴۷۹	۰/۹۲۴	۰/۸۷۸	۰/۶۱	۰/۹۲۶	۰/۴۷۳	۰/۹۲۵	۰/۴۷۷	۱/۴۸	۰/۲۸	۰/۵۲۳

عملکرد مدل‌های نفوذ در بافت‌های مختلف

تغییرپذیر بودن عمل نفوذ آب به خاک تحت شرایط متفاوت، منجر به تفاوت رفتار نفوذ در خاک‌های با شرایط فیزیکی مشابه می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود تغییرپذیری الگوی نفوذ آب به خاک در خاک‌های مشابه متفاوت باشد، به طوری که تغییرپذیری فرآیند نفوذ

موجب می‌شود تا یک مدل نفوذ در خاک‌های مختلف، عملکرد متفاوتی داشته باشد (Sy, 2006). این امر لزوم بررسی دقت مدل‌های تجربی مختلف برآورد نفوذ در بافت‌های مختلف خاک را ضروری می‌سازد. طبق جدول مثلث بافت خاک حفاظت خاک آمریکا (شکل ۶)، بافت خاک ایستگاه‌های مختلف به صورت جدول ۷ است.



شکل ۶- مثلث بافت خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۷- بافت خاک ایستگاه‌های مختلف بر اساس مثلث بافت خاک

سایت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
بافت	لوم/لوم سیلت	لوم سیلت	لوم/لوم سیلت	لوم/لوم سیلت	لوم	لوم	لوم سیلت	لوم سیلت	لومی شنی سیلت	لوم سیلت	لوم سیلت	لوم سیلت	لوم	لوم شنی سیلت	لوم شنی سیلت	لوم شنی سیلت

Pedretti, D., Barahona-Palomo, M., Bolster, D., Sanchez-Vila, X. and Fernandez-Garcia, D. 2012. A quick and inexpensive method to quantify spatially variable infiltration capacity for artificial recharge ponds using photographic images. *Journal of Hydrology*. Vol. 430, pp. 118-126.

Vand, A. S., Sihag, P., Singh, B. and Zand, M. 2018. Comparative evaluation of infiltration models. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 22(10), 4173-4184.

Angelaki, A., Sakellariou-Makrantonaki, M., and Tzimopoulos, C. 2013. Theoretical and experimental research of cumulative infiltration. *Transport in Porous Media*. 100 (2), 247-257.

Yongyong, Z., Pute, W., Xining, Z. and Ping, L. 2012. Evaluation and modeling of furrow infiltration for uncropped ridge-furrow tillage in Loess Plateau soils. *Soil Research*. 50: 360-370.

Zolfaghari, A., S. Mirzaee., and M. Gorji. 2012. Comparison of different models for estimating cumulative infiltration. *International Soil Science*. 7:108-115.

Mirzaee, S., Zolfaghari, A. A., Gorji, M., Dyck, M., Ghorbani Dashtaki, S. 2014. Evaluation of infiltration models with different numbers of fitting parameters in different soil texture classes. *Archives of Agronomy and Soil Science*. Vol. 60, No. 5, pp. 681-693.

Sihag, P., Tiwari, N. K., and Ranjan, S. 2017. Estimation and intercomparison of infiltration models. *Water Science*. 31 (1), 34-43.

Sihag, P., Singh, V.P., Angelaki, A., Kumar, V., Sepahvand, A. and Golia, E. 2019. Modeling of infiltration using artificial intelligence techniques in semi-arid Iran. *Hydrological Sciences Journal*. 64(13), pp.1647-1658.

Philips, J. R. 1957. The theory of infiltration: The infiltration equation and its solution. *Soil Science*. 83 (5), 345-358.

Horton, R. E. 1941. An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 5, No. C, pp. 399-417.

Kostiakov, 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. *Trans.*

بررسی عملکرد مدل‌ها در بافت‌های مختلف حاکی از حساسیت کمتر مدل‌های هورتون، ناول، کاستیاکوف و کاستیاکوف اصلاح‌شده نسبت به تغییرات بافت خاک است. واعظی و همکاران (۱۳۹۸) نیز در مطالعه خود دریافتند که مدل‌های هورتون، کاستیاکوف و کاستیاکوف اصلاح‌شده حساسیت کمتری به تغییرات بافت خاک دارند. به‌طور کلی عملکرد مدل SCS در بافت‌های سنگین و عملکرد مدل فیلپ در بافت‌های سبک‌تر دارای دقت بیشتری در برآورد نفوذ آب به خاک هستند.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های مقاله و مقایسه مدل‌ها در ایستگاه‌ها و مناطق مختلف، مدل ناول برای ارزیابی میزان نفوذ منطقه مورد مطالعه از بین پنج مدل تجربی دیگر مناسب‌ترین است. مدل نفوذ ناول به‌سادگی مدل اصلاح‌شده کاستیاکوف بوده و از سایر مدل‌های نفوذ برای منطقه مورد مطالعه دقیق‌تر است. این موضوع بیانگر عدم حساسیت مدل ناول نسبت به تغییر بافت خاک است. در طرف مقابل مدل SCS در همه‌ی بافت‌ها و ایستگاه‌ها دارای کم‌ترین دقت در برآورد نفوذ بود.

منابع

ثامنی، ع.، پاکجو، م.، موسوی، س. و کامکار حقیقی، ع. ا. ۱۳۹۳. ارزیابی چند رابطه نفوذ آب به خاک با کاربرد آب‌های شور و سدیمی. *نشریه پژوهش آب در کشاورزی*. ۲۸ (۲)، ۳۹۵-۴۰۸.

جوادی، ع.، مشعل، م. و ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۳. تحلیل حساسیت معادلات نفوذ آب به خاک و ضرایب آنها نسبت به رطوبت اولیه و بار آبی. *نشریه آب و خاک مشهد (علوم و صنایع کشاورزی)*. ۲۸ (۵)، ۸۹۹-۹۰۷.

جوادی، ع.، مصطفی‌زاده‌فرد، ب.، شایان‌نژاد، م. و مصدقی، م. ر. ۱۳۹۶. ارزیابی معادلات نفوذ آب به خاک در شرایط تلفیق کیفیت آب آبیاری، رطوبت اولیه خاک و بار آبی ثابت، *نشریه پژوهش آب در کشاورزی*. ۳۱ (۳).

واعظی، ع. ر.، بهتری، م. و فرومدی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل‌های نفوذ آب در خاک‌های با بافت مختلف تحت مقادیر متفاوت محتوای رطوبت اولیه، *اکوهیدرولوژی*. ۶ (۳)، ۷۱۷-۷۰۷.

Chapter 4.

Sy NL. 2006. Modelling the infiltration process with a multi-layer perceptron artificial neural network. Hydrological sciences journal. ; 51(1):3-20.

Vol. 6, pp. 17-21.

US Department of Agriculture, Natural Resources and Conservation Service. 1974. National Engineering Handbook. Section 15. Border Irrigation. National Technical Information Service, Washington, DC,

Calibration and Evaluation of Different Soil Infiltration Models (Case study: Three Region in West of the Country)

Y. Sabzevari¹, A. Parsaie², A.H. Haghiabi^{3*}

Received: Oct.08, 2019

Accepted: Dec.16, 2019

Abstract

Soil infiltration models play an important role in the design and evaluation of surface irrigation systems. The purpose of this study was to evaluate, compare and calibrate water infiltration models in some areas of western Iran including Davood Rashid and Honam in Lorestan province and Kalat in Ilam province. Influence models including Kostiakov model, Modified Kostiakov model, Novel, Horton, SCS and Philip's models were investigated. To evaluate the accuracy of the models, the calibration indices including RMSE, MAE, MR, PE and R^2 were used. Model calibration was performed using Solver Excel software. Evaluation indices showed that Novel infiltration model with mean values of RMSE, MAE, MR, PE and R^2 had 0.02, 0.01, 0.99, 0.13 and 0.97 respectively. It performs better than the other five models in the whole study area. On the opposite side of the SCS model with mean values of RMSE, MAE, MR, PE and R^2 were 0.07, 0.05, 1.07, 7.86 and 0.80, respectively. It was the most inappropriate performance. Whereas the analysis of variance of the models showed no significant difference between the calculated and measured values. In the regional study of these models, the Novell model was also chosen as the most suitable model for all three regions of Davoodershad, Honam and Kalat. Evaluation of model performance in different tissues indicates less sensitivity of modified Horton, Novel, Kostiakov and modified Kostiakov models to soil texture changes and better SCS model performance in heavy tissues and better model performance Philip was in lighter-textured textures. Therefore, Novell model can be used to estimate infiltration under different soil texture conditions as well as under similar conditions in the study area.

Keywords: Calibration, Novell, Permeability, Soil texture

1- M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Lorestan University

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Shahid Chamran University

3- Professor, Department of Water Engineering, Lorestan University

(*- Corresponding Author Email: haghiabi.a@lu.ac.ir)