نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۳، ص. ۹۰۸-۸۹۹

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 5, Nov.-Dec. 2014, p. 899-908

تحلیل حساسیت معادلات نفوذ آب به خاک و ضرایب آنها نسبت به رطوبت اولیه و بار آبی

علی جوادی[۱*]- محمود مشعل[۲]- حامد ابراهیمیان[۳]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۹/۲
تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۷/۷

چکیده

نفوذ آب به خاک فرایند پیچیده‌ای است که با تغییر عواملی مانند رطوبت اولیه خاک و بار آبی روی خاک تغییر می‌یابد. هدف اصلی این تحقیق برآورد ضرایب معادلات نفوذ کوستیاکوف–لوییز، فیلیپ و هورتون و ارزیابی حساسیت این معادلات و ضرایب آنها نسبت به رطوبت اولیه خاک و بار آبی روی سطح خاک بود. بدین منظور نفوذ یک بعدی و دو بعدی با تغییر در رطوبت اولیه خاک و بار آبی سطح خاک از یک آبیاری به آبیاری دیگر با استفاده از حل معادله ریچاردز (مدل HYDRUS) شبیه‌سازی شد. خروجی مدل HYDRUS (نفوذ تجمعی نسبت به زمان) با استفاده از ابزار Solver نرم‌افزار اکسل برای تعیین ضرایب معادلات نفوذ مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه نتایج ارزیابی حساسیت معادلات نفوذ و ضرایب آنها در حالت شبیه سازی یک بعدی و دو بعدی نفوذ نشان داد که حساسیت معادلات نفوذ و ضرایب آنها دارای عملکرد مشابه بودند ولی از لحاظ کمی در اکثر موارد حساسیت معادلات و ضرایب آنها در حالت دو بعدی بیشتر از یک بعدی بود. در هر دو بعد ضرایب جذبی خاک از معادله فیلیپ به عنوان حساس‌ترین ضریب و معادله هورتون نیز به عنوان حساس‌ترین معادله نسبت به رطوبت اولیه و بار آبی مختلف شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: مدل HYDRUS، معادله ریچاردز، معادله فیلیپ، معادله کوستیاکوف–لوییز، معادله هورتون

مقدمه

مهم‌ترین مشخصه خاک از نظر کشاورزی نفوذ می باشد و وارد شدن آب به داخل خاک را نفوذ می‌گویند. نفوذ در آبیاری‌های کرتی و نواری به صورت یک بعدی (حرکت عمودی آب) و در آبیاری شیاری به صورت دو بعدی (حرکت قائم و جانبی آب) اتفاق می‌افتد. نفوذ با تغییر عواملی چون بافت، رطوبت اولیه خاک، مقدار جریان ورودی به مزرعه (بار آبی روی خاک) و عملیات زراعی تغییر می‌یابد. در بین این عوامل، رطوبت اولیه و بار آبی روی سطح خاک دارای تغییرات زیادی در طول فصل زراعی می‌باشند (۶). در نتیجه اندازه‌گیری نفوذ پذیری خاک در یک وضعیت خاص رطوبتی و بار آبی معتبر می‌باشد. مشکلات اندازه‌گیری نفوذ (پر هزینه و وقت گیر بودن آن) و همچنین تغییرپذیری نفوذ با تغییر رطوبت اولیه و بار آبی روی سطح خاک، شناسایی معادله نفوذی که دارای کمترین حساسیت نسبت به تغییرات رطوبت اولیه و بار آبی روی سطح خاک باشد از اهمیت خاصی در مطالعات آب و خاک برخوردار خواهد بود. هولزاپفل و همکاران (۸) به بررسی نفوذ در آبیاری جویچه‌ای پرداختند. نتایج آنها نشان داد که نفوذ آب در جویچه تحت عواملی چون شکل جویچه، اندازه جویچه و سطح تماس آب با خاک قرار می‌گیرد. رضایی‌پور و همکاران (۵) به آنالیز حساسیت ضریب جذب آب معادله فیلیپ نسبت به تغییرات دبی ورودی، سطح مقطع و درصد تغییرات ضرایب نفوذ پرداختند. نتایج آنها نشان داد که در روش‌های یک نقطه‌ای شپارد و ویبو اصلاح شده دبی ورودی و در روش راولز هدایت هیدرولیکی بیشترین تأثیر را روی ضریب جذب آب داشتند. ترنر (۱۶) به بررسی حساسیت ضرایب معادلات مختلف نفوذ نسبت به تغییرات شدت نفوذ پرداخت؛ نتایج نشان داد که ضریب سرعت نهایی نفوذ از معادله هورتون و ضریب جذب آب معادله فیلیپ حساسیت بالایی نسبت به سایر ضرایب این معادلات نسبت به تغییرات شدت نفوذ داشتند. دربندی و همکاران (۴) به بررسی میزان حساسیت ضرایب معادله‌های نفوذ کوستیاکوف، فیلیپ، هورتون، کوستیاکوف اصلاح شده و سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) نسبت به رطوبت اولیه خاک پرداختند. آن‌ها آزمایشات نفوذسنجی را با استفاده از استوانه‌های مضاعف در ۹ رطوبت اولیه مختلف خاک انجام دادند و نشان دادند که ضریب a_2 معادله کوستیاکوف ($Z = a_1 t^{a}_{2}$) و b کوستیاکوف–لوییز و ضریب S معادله فیلیپ حساسیت کمتر و ضرایب f_0 مدل کوستیاکوف–لوییز و k معادله

۱- دانشجوی دکتری گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: (Email: ali.javadi@ag.iut.ac.ir
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۳- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

هورتون حساسیت بیشتری به تغییرات رطوبت اولیه خاک داشتند. نهایتاً معادله فیلیپ کمترین حساسیت و مدل کوستیاکوف اصلاح شده بیشترین حساسیت را به تغییرات رطوبت اولیه خاک داشتند. سپهوند و همکاران (۶) به ارزیابی حساسیت معادله‌های نفوذ نسبت به تغییرپذیری رطوبت خاک پرداختند. نتایج نمایانگر آن بود که در مجموع معادله کوستیاکوف دقیق‌ترین برآوردها و معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا ضعیف‌ترین برآوردها را ارائه نمود. تحقیقات انجام یافته در مورد شبیه‌سازی حرکت آب در خاک با استفاده از HYDRUS نشان داده است که HYDRUS توانایی بالایی در شبیه‌سازی حرکت آب در خاک دارد (۷ ، ۱۰ و ۱۵).

مطالعه تحقیقات ارائه شده نشان‌دهنده کاستی‌هایی از جمله: تعداد کم حالت‌های بررسی حساسیت معادلات و ضرایب آنها (نسبت به بافت، رطوبت و بار آبی)، عدم بررسی هم‌زمان حساسیت معادلات و ضرایب آنها نسبت به رطوبت و بار آبی در طی آبیاری‌های مختلف و عدم بررسی حساسیت معادلات و ضرایب آنها در دو حالت نفوذ یک بعدی و دو بعدی بود. هدف این پژوهش، بررسی و مطالعه کاستی‌های ذکر شده و شناسایی معادلات و ضرایب حساس به تغییرات رطوبت اولیه و بار آبی روی سطح خاک از یک آبیاری به آبیاری دیگر بود.

مواد و روش‌ها

معادلات نفوذ کوستیاکوف–لوییز، فیلیپ و هورتون به همراه ضرایب آنها در جدول ۱ آورده شده است. در این تحقیق، نفوذ تجمعی یک بعدی و دو بعدی با تغییر رطوبت اولیه خاک و بار آبی سطح خاک از یک آبیاری به آبیاری دیگر، با استفاده از حل معادله ریچاردز (مدل HYDRUS) شبیه‌سازی گردید؛ یعنی در طی یک آبیاری بار آبی سطح خاک ثابت و رطوبت اولیه کل خاک در شروع آبیاری یکسان و بین آبیاری‌ها رطوبت و بار آبی متغیر بود. فرض شد که خروجی مدل HYDRUS (نفوذ تجمعی نسبت به زمان) همان نفوذ تجمعی که در واقعیت اتفاق می‌افتد، می‌باشد (بدون انجام کار مرزعه‌ایی). از خروجی مدل HYDRUS (نفوذ تجمعی نسبت به زمان) و ابزار Solver نرم-افزار اکسل برای تعیین ضرایب معادلات کوستیاکوف–لوییز (۱۱)، فیلیپ (۱۲) و هورتون (۹) استفاده شد. سپس ارزیابی حساسیت معادلات و ضرایب کوستیاکوف–لوییز، فیلیپ و هورتون نسبت به رطوبت اولیه و بار آبی روی سطح خاک در برآورد نفوذ تجمعی انجام گردید.

مدل HYDRUS

مدل HYDRUS به طور قابل توجهی برای مدل‌سازی جریان آب، در مناطق اشباع و غیراشباع مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل در آزمایشگاه شوری خاک آمریکا، در دانشگاه کالیفرنیا طراحی شده است. در این تحقیق برای مدل سازی یک بعدی فرآیند نفوذ از مدل HYDRUS-1D نسخه ۴/۱۵ (۱۴) و برای مدل سازی دو بعدی فرآیند نفوذ مدل HYDRUS (2D/3D) نسخه ۱/۱۱ (۱۳) استفاده گردید. پنج بافت خاک برای شبیه‌سازی نفوذ در نظر گرفته شد. پارامترهای هیدرولیکی هر بافت خاک براساس پایگاه داده مدل HYDRUS برای شبیه‌سازی نفوذ انتخاب گردید (جدول ۲). مدل هیدرولیکی برای شبیه‌سازی، مدل ون گنوختن–معلم بدون در نظر گرفتن پدیده پسماند بود. مدل ون گنوختن–معلم به صورت معادلات ۱ و ۲ که در آن h بار فشار آب در خاک (cm)، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع (min/cm)، θ_s رطوبت اشباع (بی بعد)، θ_r رطوبت باقیمانده (بی بعد)، α (1/cm)، n (بی بعد) و l (بی بعد) ضرایب مربوط به توابع هیدرولیکی خاک بودند، تعریف گردید (۱۳).

$$\theta(h)=\begin{cases}\theta_r+\dfrac{\theta_s-\theta_r}{\left(1+|\alpha h|^n\right)^m} & h<0\\ \\ \theta_s & h\geq 0\end{cases}\qquad m=1-\frac{1}{n} \qquad (۱)$$

جدول ۱ - معادلات نفوذ به کار رفته در این تحقیق

نام معادله نفوذ	پارامترها	معادله
کوستیاکوف–لوییز	Z نفوذ تجمعی (cm)، t زمان (min)، f_0 نفوذ نهایی (cm/min) و a (cm/min^b) و b ضرایب تجربی (–)	$Z=at^b+f_0t$
فیلیپ	Z نفوذ تجمعی (cm)، t زمان (min)، S ضریب جذبی خاک (cm/min$^{0.5}$) و k_s ضریب هدایت هیدرولیکی منطقه انتقال (cm/min)	$Z=S\sqrt{t}+k_st$
هورتون	Z نفوذ تجمعی (cm)، t زمان (min)، f_i سرعت اولیه نفوذ (cm/min)، f_f سرعت نهایی نفوذ (cm/min) و k ثابت تناسب (–)	$Z=f_ft+\left(\frac{f_i-f_f}{k}\right)\left(1-e^{-kt}\right)$

جدول ۲- پارامترهای هیدرولیکی بافتهای مختلف خاک

بافت خاک	پارامترهای هیدرولیکی مدل ون گنختن-معلم					
	l (-)	K_s (min.cm^{-1})	n (-)	α (cm^{-1})	θ_s (-)	θ_r (-)
رس	۰/۵	۰/۰۰۳۳	۱/۰۹	۰/۰۰۸	۰/۳۸	۰/۰۶۸
لوم‌رسی	۰/۵	۰/۰۰۴۳	۱/۳۱	۰/۰۱۹	۰/۴۱	۰/۰۹۵
لوم	۰/۵	۰/۰۱۷۳	۱/۵۶	۰/۰۳۶	۰/۴۳	۰/۰۷۸
لوم‌شنی	۰/۵	۰/۰۷۳۶	۱/۸۹	۰/۰۷۵	۰/۴۱	۰/۰۶۵
شن	۰/۵	۰/۴۹۵۰	۲/۶۸	۰/۱۴۵	۰/۴۳	۰/۰۴۵

$$k(h) = K_s S_e^{l}\left[1-\left(1-S_e^{\frac{1}{m}}\right)^{m}\right]^2 \qquad (۲)$$

برای شبیه‌سازی فرآیند نفوذ تجمعی توسط مدل HYDRUS، ستون خاک همگن (تک‌لایه) به عمق ۱۰۰ سانتی‌متر، عرض ستون خاک برابر ۱۰۰ سانتیمتر (برای حالت دو بعدی)، شرط اولیه رطوبت حجمی یکسان در کل ستون خاک، شرط مرزی بار آبی ثابت در سطح خاک، شرط مرزی زهکشی آزاد در پایین ستون خاک، شرط مرزی بدون شدت جریان در طرفین ستون خاک (در حالت دو بعدی) و مدت مدل‌سازی ۷۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد. در این تحقیق، چهار بار آبی ثابت روی سطح خاکها (۲/۵، ۵/۰، ۱۰/۰ و ۲۰/۰ سانتی‌متر) در طول مدت مدل‌سازی در نظر گرفته شد. شرایط اولیه نیز پنج مقدار رطوبت اولیه بین محدوده نقطه پژمردگی گیاهی تا ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد (۱). در کل ۱۰۰ حالت (۵ بافت × ۵ رطوبت اولیه × ۴ بار آبی) شبیه‌سازی شد.

تعیین ضرایب معادلات نفوذ مختلف

پس از اینکه مدل سازی در شرایط مختلف رطوبتی و بار آبی ثابت انجام گرفت؛ داده‌های خروجی مدل (عمق آب نفوذ یافته نسبت به زمان) با استفاده از ابزار Solver نرم افزار اکسل ۲۰۱۳ با معادلات نفوذ کوستیاکوف-لوییز، فیلیپ و هورتون برازش داده شد؛ این کار طوری انجام شد که شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) حداقل مقدار را داشت. شاخص آماری RMSE بصورت زیر تعریف گردید (۲):

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

که در آن P_i مقدار برازش داده شده، O_i مقدار مدل سازی شده و n تعداد داده‌های مدل‌سازی شده می‌باشد.

شاخص حساسیت

حساسیت یک مدل نسبت به پارامترهای ورودی به صورت مقدار تغییر در پارامترهای خروجی تعریف می‌شود، در حالی که سایر پارامترها ثابت نگه داشته می‌شود. در این تحقیق حساسیت معادلات نفوذ و ضرایب آنها به وسیله دو رابطه شاخص حساسیت نسبی و مطلق و در دو حالت مورد بررسی قرار گرفت؛ حالت اول، حالتی است که در آن بار آبی سطح خاک ثابت و رطوبت اولیه خاک افزایش می‌یابد و در حالت دوم برعکس این حالت بررسی می‌گردد. شاخص حساسیت نسبی و مطلق از روابط زیر به دست می آیند (۳):

$$SI_r = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\frac{X_i - X_{i-1}}{\frac{X_i + X_{i-1}}{2}}}{\frac{P_i - P_{i-1}}{\frac{P_i + P_{i-1}}{2}}} \qquad (۴)$$

$$SI_a = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{\frac{X_i - X_{i-1}}{\frac{X_i + X_{i-1}}{2}}}{\frac{P_i - P_{i-1}}{\frac{P_i + P_{i-1}}{2}}}\right| \qquad (۵)$$

که در آن n تعداد نقاط پارامترهای خروجی، X_i مقدار جدید پارامتر خروجی با تغییر مقدار پارامتر ورودی از P_{i-1} به P_i، X_{i-1} مقدار قبلی پارامتر خروجی بدون تغییر در پارامتر ورودی (P_{i-1})، SI_r شاخص حساسیت نسبی (بی‌بعد) و SI_a شاخص حساسیت مطلق (بی‌بعد) می‌باشد. هر معادله و یا ضریبی که مقدار شاخص حساسیت آن به صفر نزدیکتر باشد، حساسیت آن کمتر است. در این تحقیق ابتدا شاخص حساسیت چهار بار آبی ثابت (در طول یک آبیاری) که در آن رطوبت اولیه از یک آبیاری به آبیاری دیگر در حال افزایش می‌باشد ($\theta \uparrow$ و $H = c$) با استفاده از روابط بالا محاسبه شد سپس میانگین این چهار حساسیت را با نماد MSI_a (و MSI_r) نشان داده شد و از آن برای آنالیز حساسیت استفاده گردید. همین عمل در مورد پنج رطوبت اولیه ثابت بین آبیاری‌ها که بار آبی آن از یک آبیاری به آبیاری دیگر در حال افزایش است ($\theta = c$ و $H \uparrow$) انجام شد. با استفاده از معیار MSI_r می‌توان فهمید که معادله یا ضریب نفوذ در حالتهای بار آبی ثابت که رطوبت در حال افزایش و یا رطوبت اولیه ثابت که بار آبی در

حال افزایش است چه روندی دارد. اختلاف مقدار قدر مطلق MSI_r و MSI_a سیستماتیک بودن این تغییرات را نشان می‌دهد که اگر اختلاف برابر صفر باشد نشان می‌دهد که تغییرات کاملا سیستماتیک می‌باشد. در این تحقیق برای آنالیز حساسیت معادلات یا ضرایب نفوذ از روش رتبه‌بندی استفاده شد. برای رتبه‌بندی از معیار MSI_a برای حالتهای بار آبی ثابت که رطوبت در حال افزایش و رطوبت اولیه ثابت که بار آبی در حال افزایش است، استفاده گردید. رتبه‌بندی بدین صورت بود که هر ضریبی (و یا معادله‌ای) که بزرگترین مقدار MSI_a را داشت پایین‌ترین رتبه یعنی یک؛ و برای سایر ضرایب (و یا معادلات) برحسب میزان بزرگی معیار ارزیابی رتبه‌های دو الی آخر تعلق گرفت. ضریبی (و یا معادله‌ای) که در یک بافت خاک مجموع رتبه‌های کمتری در دو حالت ارزیابی را داشت به عنوان حساس‌ترین ضریب (و یا معادله) در آن بافت خاک شناسایی شد. در نهایت هر ضریب (و یا معادله) که مجموع رتبه‌های کسب شده کمتری در کلیه بافتهای خاک مورد بررسی در این تحقیق را داشت، کمترین رتبه نهایی به آن تعلق گرفت و به عنوان حساس‌ترین ضریب (و یا معادله) در کلیه بافتهای خاک انتخاب شد.

نتایج و بحث

آنالیز حساسیت ضرایب معادلات نفوذ در حالت یک بعدی

در جدول ۳ مقادیر حساسیت نسبی (MSI_r) و حساسیت مطلق (MSI_a) ضرایب معادلات مختلف نفوذ در کلاسهای مختلف بافتی آورده شده است. در دو حالت، رطوبت حجمی اولیه ثابت و بارآبی در حال افزایش (Θ = c و H ↑) و رطوبت حجمی اولیه در حال افزایش و بارآبی ثابت (Θ ↑ و H = c) به آنالیز حساسیت ضرایب معادلات نفوذ پرداخته شد. با توجه به مقادیر MSI_r، ضرایب b، S و f_i در تمامی بافتهای خاک در حالت (Θ ↑ و H = c) دارای تغییرات کاهشی و در حالت (Θ = c و H ↑) دارای تغییرات افزایشی بودند. همچنین ضرایب k_s و f_f دقیقا رفتار عکس ضرایب بالا را داشتند. ضریب a نیز فقط در حالت (Θ = c و H ↑) در تمامی بافتها دارای روند افزایشی بود و در سایر ضرایب روند تغییراتی مشخصی مشاهده نشد. ضرایب a، b، S و f_i از جمله ضرایبی بودند که رابطه مستقیمی با نفوذ داشتند چنانچه با کاهش نفوذ در اثر افزایش رطوبت اولیه یا کاهش بار آبی، این ضرایب تغییراتی مشابه تغییرات نفوذ داشتند. با وجود اینکه ضرایب k_s و f_f نیز رابطه مستقیمی با نفوذ داشتند ولی چنانچه مشاهده گردید که روند عکس تغییرات نفوذ داشتند؛ با توجه به ساختار معادلات فیلیپ و هورتون در برازش با خروجی مدل HYDRUS، ضرایب k_s و f_f تاثیر کمی بر میزان آب نفوذ یافته داشتند و از تاثیر این ضرایب کاسته شده و بر مقدار ضرایب دیگر معادلات (S و f_i) افزوده شد. با توجه به عدم اختلاف مقادیر قدر مطلق MSI_r و MSI_a، ضرایب b، S، k_s، f_i و f_f در حالت (Θ ↑ و H = c) و ضرایب a، S و f_f در حالت (Θ = c و H ↑) دارای تغییراتی سیستماتیک بودند. با توجه به مقادیر MSI_a، در حالت (Θ ↑ و H = c) با سنگین‌تر شدن بافت خاک بر میزان حساسیت ضرایب معادلات نفوذ افزوده شد ولی در حالت (Θ = c و H ↑) با سنگین‌تر شدن بافت خاک حساسیت دارای تغییرات اندکی بود. دلیل بیشتر بودن حساسیت در حالت (Θ ↑ و H = c) با سنگین‌تر شدن بافت نسبت به حالت (Θ = c و H ↑) این بود که با توجه به رابطه دارسی (q= K.i) بار آبی در فرآیند نفوذ فقط بر شیب هیدورلیکی (i) نفوذ تاثیر می‌گذارد ولی رطوبت اولیه علاوه بر شیب هیدرولیکی بر هدایت هیدرولیکی (K) نیز تاثیر می‌گذارد و این باعث تغییرات چشم‌گیر نفوذ (در نتیجه تغییرات چشم‌گیر ضرایب) با تغییرات رطوبت اولیه نسبت به تغییرات بار آبی بود. دلیل افزایش یافتن حساسیت ضرایب با سنگین‌تر شدن بافت خاک این بود اگر دو خاک سنگین و سبک که دارای رطوبت اولیه ثابت باشند (مثلا ۱۲ درصد) تحت مکش یکسان قرار دهیم خاک سنگین بافت مقدار رطوبت کمتری را نسبت به خاک سبک بافت از دست می‌دهد در نتیجه بازه رطوبتی بین نقطه پژمردگی تا ظرفیت زراعی در خاکهای سنگین بافت نسبت به خاکهای سبک بافت بیشتر است و چون در این تحقیق این بازه به پنج قسمت مساوی تقسیم شده است تغییرات رطوبتی و در نتیجه آن تغییرات نفوذ (یا ضرایب نفوذ) در خاک‌های سنگین بافت نسبت به خاک‌های سبک بافت بیشتر شد. رتبه‌بندی حساسیت ضرایب معادلات نفوذ در دو حالت (Θ ↑ و H = c) و (Θ = c و H ↑) نشان داد که رتبه-بندی حساسیت در دو حالت ارزیابی در اکثر موارد مشابه هم بود. در نهایت با توجه به رتبه‌بندی انجام شده در حالت یک بعدی به ترتیب ضرایب S، b و fi با کسب کوچکترین رتبه نهایی به عنوان حساس-ترین و ضرایب f_0 و f_f با کسب بزرگترین رتبه نهایی کم‌حساس‌ترین ضرایب شناسایی شدند. دربندی و همکاران (۴) به بررسی حساسیت ضرایب معادلات نفوذ نسبت به رطوبت اولیه پرداخته بودند. نتایج آنها نشان داده بود که ضرایب f_0 و k حساس‌ترین و ضرایب b و S کم-حساس‌ترین ضرایب بودند که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی نداشت.

همچنین نتایج ترنر (۱۶) نیز نشان داده بود که ضرایب f_0 (مشابه نتایج دربندی و همکاران (۴) و عدم هم‌خوانی با نتایج این تحقیق) و S (عدم هم‌خوانی با نتایج دربندی و همکاران (۴) و مشابه نتایج این تحقیق) حساس‌ترین ضرایب بودند. یکی از دلایل ضد و نقیض بودن نتایج، طبیعت تغییرپذیر فرایند نفوذ آب به خاک است که موجب می-شود تا حتی یک معادله نفوذ در دو خاک که ویژگی‌های فیزیکی بسیار مشابهی دارند، کارایی متفاوتی داشته باشند. همچنین، بسته به روش اندازه‌گیری نفوذ، شرایط اولیه و شرایط مرزی جریان آب در خاک متفاوت خواهد بود که می‌توان دست کم بخشی از تفاوت در نتایج به دست آمده را به این امر نسبت داد.

جدول ۳- شاخص حساسیت ضرایب معادلات نفوذ در حالت یک بعدی

بافت خاک	شاخص حساسیت*		پارامترهای معادله نفوذ							
			کوستیاکوف-لوییز			فیلیپ		هورتون		
			a	b	f_0	S	k_s	k	f_i	f_f
رس	MSI_r(-)	H = c, Θ ↑	-۰/۱۰	-۲/۳۵	۰/۱۴	-۲/۴۵	۱/۲۴	۰/۳۲	-۱/۸۴	۰/۵۲
		Θ = c, H ↑	۰/۲۵	۰/۱۲	-۰/۰۳	۰/۴۸	-۰/۰۶	-۰/۱۱	۰/۳۲	۰/۲۳
	MSI_a(-)	H = c, Θ ↑	۰/۲۹	۲/۳۵	۰/۲۲	۲/۴۵	۱/۲۴(۴)	۰/۵۸	۱/۸۴	۰/۵۲
		Θ = c, H ↑	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۰۸	۰/۴۸	۰/۱۴	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۲۳
		رتبه	۵	۳	۷	۱	۵	۴	۲	۶
لوم‌رسی	MSI_r(-)	H = c, Θ ↑	۰/۰۲	-۱/۲۱	۰/۰۶	-۱/۱۶	۰/۵۱	-۰/۰۳	-۱/۱۷	-۰/۴۳
		Θ = c, H ↑	۰/۰۷	۰/۱۹	-۰/۰۲	۰/۳۱	۰/۰۳	-۰/۰۱	۰/۲۸	۰/۱۹
	MSI_a(-)	H = c, Θ ↑	۰/۰۶	۱/۲۱	۰/۱۴	۱/۱۶	۰/۵۱	۰/۳۳	۱/۱۷	۰/۴۳
		Θ = c, H ↑	۰/۰۷	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۳۱	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۲۹	۰/۱۹
		رتبه	۴	۱	۵	۱	۳	۳	۱	۲
لوم	MSI_r(-)	H = c, Θ ↑	۰/۰۰	-۰/۵۵	۰/۰۰	-۰/۵۵	۰/۱۱	۰/۱۸	-۰/۳۴	-۰/۱۲
		Θ = c, H ↑	۰/۰۹	۰/۱۹	-۰/۰۴	۰/۳۴	-۰/۰۱	-۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۲
	MSI_a(-)	H = c, Θ ↑	۰/۰۴	۰/۵۵	۰/۰۹	۰/۵۵	۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۳۴	۰/۱۲
		Θ = c, H ↑	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۳۴	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۲
		رتبه	۷	۲	۷	۱	۶	۴	۳	۵
لوم‌شنی	MSI_r(-)	H = c, Θ ↑	-۰/۰۵	-۰/۲۹	۰/۰۸	-۰/۳۷	۰/۰۵	۰/۱۹	-۰/۱۶	-۰/۰۵
		Θ = c, H ↑	۰/۱۷	۰/۲۱	-۰/۲	۰/۴۷	-۰/۱۲	-۰/۳۲	۰/۱۶	۰/۰۱
	MSI_a(-)	H = c, Θ ↑	۰/۰۶	۰/۲۹	۰/۰۹	۰/۳۷	۰/۰۸	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۰۵
		Θ = c, H ↑	۰/۱۷	۰/۲۹	۰/۲۰	۰/۴۷	۰/۱۲	۰/۳۲	۰/۱۶	۰/۰۱
		رتبه	۵	۲	۳	۱	۶	۲	۴	۷
شن	MSI_r(-)	H = c, Θ ↑	-۰/۱۲	-۰/۱۳	۰/۰۱	-۰/۲۴	۰/۰۲	۰/۲۸	۰/۰۰	۰/۰۰
		Θ = c, H ↑	۰/۰۹	۰/۴	-۰/۰۲	۰/۵۱	-۰/۰۵	-۰/۱۲	۰/۲۴	۰/۰۰
	MSI_a(-)	H = c, Θ ↑	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۲۴	۰/۰۲	۰/۲۸	۰/۰۲	۰/۰۰
		Θ = c, H ↑	۰/۰۹	۰/۴۰	۰/۰۲	۰/۵۱	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۰۰
		رتبه	۴	۲	۶	۱	۵	۲	۳	۷
	رتبه نهایی		۵	۲	۷	۱	۵	۴	۳	۶

*- رطوبت حجمی اولیه در حال افزایش و بارآبی ثابت (Θ ↑ و H = c) و رطوبت حجمی اولیه ثابت و بارآبی در حال افزایش (Θ = c و H ↑)

آنالیز حساسیت ضرایب معادلات نفوذ در حالت دو بعدی

مطابق حالت یک بعدی در حالت دوبعدی نیز شاخص های حساسیت نسبی (MSI_r) و حساسیت مطلق (MSI_a) ضرایب معادلات مختلف نفوذ در کلاسهای مختلف بافتی محاسبه شد (جدول ۴). با توجه به مقادیر MSI_r، ضرایب b، S، f_i و f_f در تمامی بافتهای خاک در حالت ($\Theta\uparrow$ و $H = c$) دارای تغییرات کاهشی و در حالت ($\Theta = c$ و $H\uparrow$) فقط ضرایب S و f_f دارای تغییرات افزایشی بودند. ضریب a نیز فقط در حالت ($\Theta = c$ و $H\uparrow$) در تمامی بافتها دارای روند افزایشی بود و در سایر ضرایب روند تغییراتی مشخصی مشاهده نشد. مشابه حالت یک بعدی ضرایب a، b، S، f_i و f_f با توجه به اینکه رابطه مستقیمی با نفوذ داشتند چنانچه با کاهش نفوذ در اثر افزایش رطوبت اولیه یا کاهش بار آبی، این ضرایب نیز تغییراتی مشابه تغییرات نفوذ داشتند. با توجه به عدم اختلاف مقادیر قدر مطلق MSI_r و MSI_a، ضرایب S و f_f در حالت ($\Theta\uparrow$ و $H = c$) دارای تغییرات سیستماتیک بودند. با توجه به مقادیر MSI_a، همانند حالت یک بعدی در حالت ($\Theta\uparrow$ و $H = c$) با سنگین‌تر شدن بافت خاک بر میزان حساسیت ضرایب معادلات نفوذ افزوده شد ولی در حالت ($\Theta = c$ و $H\uparrow$) با سنگین‌تر شدن بافت خاک، حساسیت ضرایب تغییرات اندکی داشت. رتبه‌بندی حساسیت ضرایب معادلات در دو حالت ($\Theta\uparrow$ و $H = c$) و ($\Theta = c$ و $H\uparrow$) نشان داد که رتبه‌بندی حساسیت در دو حالت ارزیابی در اکثر موارد مشابه هم بودند. در نهایت با توجه به رتبه‌بندی انجام شده در حالت دو بعدی و شرایط اولیه و مرزی مختلف به ترتیب ضرایب S، f_i و b با کسب کوچکترین رتبه نهایی به عنوان حساس‌ترین و ضرایب f_f و f_0 با کسب بزرگترین رتبه نهایی کم‌حساس‌ترین ضرایب شناسایی شدند.

آنالیز حساسیت معادلات نفوذ

شاخص حساسیت معادلات در حالتهای یک بعدی و دو بعدی در جدول ۵ آورده شده است. نتایج نشان داد حساسیت معادلات در هر دو حالت شبیه‌سازی یک و دو بعدی نفوذ مشابه بود ولی از لحاظ کمی در اکثر موارد حساسیت معادلات در حالت دو بعدی بیشتر از یک بعدی بود؛ دلیل این امر به خاطر متفاوت بودن فرآیند نفوذ یک بعدی و دو بعدی بود. با توجه به مقادیر MSI_r در تمامی کلاسهای بافتی خاکها، تمام معادلات نفوذ در حالت ($\Theta\uparrow$ و $H = c$) تغییرات کاهشی و در حالت ($\Theta = c$ و $H\uparrow$) تغییرات افزایشی داشتند. دلیل تغییرات کاهشی نفوذ در حالت ($\Theta\uparrow$ و $H = c$) این بود که با افزایش رطوبت اولیه، پتانسیل ماتریک (که یکی از عوامل موثر در نفوذ می‌باشد) کاهش می‌یابد و دلیل تغییرات افزایشی نفوذ در حالت ($\Theta = c$ و $H\uparrow$) این بود که با افزایش بار آبی، شیب هیدرولیکی (که یکی از عوامل موثر در نفوذ می‌باشد) افزایش می‌یابد. با توجه به عدم اختلاف مقادیر قدر مطلق MSI_r و MSI_a، تمامی معادلات در تمامی کلاسهای بافتی دارای تغییرات سیستماتیک بودند. با توجه به مقادیر MSI_a در هر دو حالت ارزیابی با سنگین‌تر شدن بافت خاک حساسیت معادلات نفوذ افزایش یافت دلیل این امر به خاطر تغییر پذیری زیاد نفوذ با تغییرات بافت خاک بود. تقریبا در تمامی کلاس‌های بافت خاک حساسیت معادلات نفوذ در حالت ($\Theta\uparrow$ و $H = c$) نسبت به حالت ($\Theta = c$ و $H\uparrow$) بیشتر بود که دلیل این امر در بخش قبل توضیح داده شد. در نهایت با توجه به رتبه‌بندی انجام شده در هر دو بعد، مشابه نتایج سپهوند و همکاران (۶) معادله هورتون به عنوان حساس‌ترین معادله و معادلات کوستیاکوف-لوییز و فیلیپ نیز حساسیتی مشابه در هر دو بعد داشتند.

نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج ارزیابی حساسیت معادلات نفوذ و ضرایب آنها در حالت نفوذ یک بعدی و دو بعدی نشان داد که حساسیت معادلات و ضرایب آنها دارای عملکرد مشابه بودند ولی از لحاظ کمی در اکثر موارد حساسیت معادلات و ضرایب آنها در حالت دو بعدی بیشتر از یک بعدی بود. در هر دو بعد ضرایب S و b به عنوان حساس‌ترین ضریب و ضرایب f_f و f_0 به عنوان کم‌حساس‌ترین ضرایب شناسایی شدند. دلیل حساس بودن ضرایب S و b این بود که این ضرایب علاوه بر وابستگی به خصوصیات بافت خاک به خصوصیات محیطی خاک مانند رطوبت و بار آبی نیز وابستگی داشتند ولی ضرایب کم حساس f_f و f_0 حساسیت شدیدی به خصوصیات بافت داشتند تا تغییرات بار آبی و رطوبت. با توجه به نتایج بدست آمده توصیه می‌گردد در مواردی که رطوبت اولیه و بار آبی روی سطح خاک در یک آبیاری ثابت ولی بین آبیاری‌ها متغیر باشد از معادله هورتون که حساسیت بالایی به این شرایط دارد استفاده نگردد. حساس‌ترین ضرایب در هر یک از معادلات نفوذ عاملی مهمی در اندازه‌گیری و واسنجی معادله دارد (۱۶)؛ در نتیجه پیشنهاد می‌شود که ضرایبی که حساسیت بالایی دارند قبل از ضرایبی که حساسیت کمتری دارند، باید واسنجی شوند.

جدول ٤- شاخص حساسیت ضرایب معادلات نفوذ در حالت دو بعدی

بافت خاک	شاخص حساسیت		پارامتر معادله نفوذ							
			کوستیاکوف-لوییز			فیلیپ		هورتون		
			a	b	f_0	S	k_s	k	f_i	f_f
رس	MSI_r(-)	H = c, Θ ↑	-۱/۸۰	-۲/۹۹	-۰/۲۴	-۳/۱۲	۶/۳۴	۱/۰۶	-۲/۳	-۰/۴۸
		Θ = c, H ↑	۰/۸۰	۰/۳۰	۰/۱۰	۰/۴۵	-۰/۶۲	-۰/۳۷	۰/۰۴	۰/۱۶
	MSI_a(-)	H = c, Θ ↑	۳/۶۳	۳/۴۲	۰/۴۸	۳/۲۴	۷/۷۷	۱/۳۵	۲/۸۷	۰/۴۹
		Θ = c, H ↑	۰/۹۱	۰/۳۹	۰/۱۲	۰/۵۱	۱/۲۳	۰/۸۴	۰/۸۶	۰/۱۶
		رتبه	۲	۴	۷	۴	۱	۵	۳	۶
لوم‌رسی	MSI_r(-)	H = c, Θ ↑	۰/۳۷	-۱/۹۹	-۰/۲۱	-۱/۴۹	۱/۵۵	-۰/۷۰	-۱/۹۶	-۰/۴۳
		Θ = c, H ↑	۰/۲۷	-۰/۱۳	-۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۲۰	-۰/۶۷	-۰/۳۲	۰/۱۷
	MSI_a(-)	H = c, Θ ↑	۰/۳۷	۱/۹۹	۰/۲۱	۱/۴۹	۳/۵۱	۰/۸۷	۱/۹۶	۰/۴۳
		Θ = c, H ↑	۰/۲۷	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۶۰	۰/۶۷	۰/۴۷	۰/۱۷
		رتبه	۴	۳	۶	۳	۱	۲	۲	۵
لوم	MSI_r(-)	H = c, Θ ↑	۰/۱۰	-۰/۸۳	-۰/۰۵	-۰/۶۸	۰/۲۷	-۰/۲۲	-۰/۷۰	-۰/۱۴
		Θ = c, H ↑	۰/۲۰	۰/۰۱	-۰/۰۶	۰/۳۰	۰/۰۰	-۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۱۲
	MSI_a(-)	H = c, Θ ↑	۰/۱۰	۰/۸۳	۰/۰۷	۰/۶۸	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۷۰	۰/۱۴
		Θ = c, H ↑	۰/۲۰	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۳۰	۰/۰۲	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۱۲
		رتبه	۴	۳	۷	۱	۶	۳	۲	۵
لوم‌شنی	MSI_r(-)	H = c, Θ ↑	-۰/۰۱	-۰/۳۵	۰/۱۷	-۰/۳۷	۰/۰۴	۰/۰۲	-۰/۲۵	-۰/۰۵
		Θ = c, H ↑	۰/۱۴	۰/۲۱	-۰/۳۲	۰/۴۴	-۰/۱۳	-۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۰۰
	MSI_a(-)	H = c, Θ ↑	۰/۱۰	۰/۳۵	۰/۲۰	۰/۳۷	۰/۰۴	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۰۵
		Θ = c, H ↑	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۳۲	۰/۴۴	۰/۳۹	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۰۰
		رتبه	۶	۲	۳	۱	۵	۴	۴	۷
شن	MSI_r(-)	H = c, Θ ↑	-۰/۱۷	-۰/۰۷	۰/۰۲	-۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۲۴	-۰/۰۲	۰/۰۰
		Θ = c, H ↑	۰/۰۰	۰/۴۲	-۰/۰۲	۰/۴۴	-۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۰۰
	MSI_a(-)	H = c, Θ ↑	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۲۴	۰/۰۴	۰/۰۰
		Θ = c, H ↑	۰/۰۲	۰/۴۲	۰/۰۲	۰/۴۴	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۲۷	۰/۰۰
		رتبه	۴	۲	۶	۱	۵	۲	۳	۷
	رتبه نهایی		۵	۲	۶	۱	۴	۳	۲	۷

جدول ۵- شاخص حساسیت معادلات نفوذ در حالت های یک بعدی و دو بعدی

بافت خاک	شاخص حساسیت		معادله نفوذ (یک بعدی)			معادله نفوذ (دو بعدی)		
			کوستیاکوف-لوییز	فیلیپ	هورتون	کوستیاکوف-لوییز	فیلیپ	هورتون
رس	MSI_r(-)	H = c, θ ↑	-۰/۸۱۱	-۰/۷۹۴	-۰/۸۳۵	-۱/۳۰۶	-۱/۳۱۴	-۱/۳۱۲
		θ = c, H ↑	۰/۲۵۸	۰/۲۵۹	۰/۲۶۹	۰/۲۶۲	۰/۲۶۶	۰/۲۶۴
	MSI_a(-)	H = c, θ ↑	۰/۸۱۱	۰/۷۹۴	۰/۸۳۵	۱/۳۰۶	۱/۳۱۴	۱/۳۱۲
		θ = c, H ↑	۰/۲۵۸	۰/۲۵۹	۰/۲۶۹	۰/۲۶۲	۰/۲۶۶	۰/۲۶۴
	رتبه		۲	۲	۱	۲	۱	۱
لوم‌رسی	MSI_r(-)	H = c, θ ↑	-۰/۵۴۴	-۰/۵۳۷	-۰/۵۶۳	-۰/۶۴۰	-۰/۶۱۶	-۰/۶۵۵
		θ = c, H ↑	۰/۲۱۱	۰/۲۱۳	۰/۲۱۸	۰/۲۰۵	۰/۲۱۳	۰/۲۰۰
	MSI_a(-)	H = c, θ ↑	۰/۵۴۴	۰/۵۳۷	۰/۵۶۳	۰/۶۴۰	۰/۶۱۶	۰/۶۵۵
		θ = c, H ↑	۰/۲۱۱	۰/۲۱۳	۰/۲۱۸	۰/۲۰۵	۰/۲۱۳	۰/۲۰۰
	رتبه		۲	۲	۱	۱	۱	۱
لوم	MSI_r(-)	H = c, θ ↑	-۰/۱۸۷	-۰/۱۸۵	-۰/۱۸۸	-۰/۲۱۱	-۰/۲۰۲	-۰/۲۳۰
		θ = c, H ↑	۰/۱۵۴	۰/۱۵۶	۰/۱۵۹	۰/۱۵۵	۰/۱۵۸	۰/۱۳۹
	MSI_a(-)	H = c, θ ↑	۰/۱۸۷	۰/۱۸۵	۰/۱۸۸	۰/۲۱۱	۰/۲۰۲	۰/۲۳۰
		θ = c, H ↑	۰/۱۵۴	۰/۱۵۶	۰/۱۵۹	۰/۱۵۵	۰/۱۵۸	۰/۱۳۹
	رتبه		۲	۲	۱	۱	۱	۱
لوم‌شنی	MSI_r(-)	H = c, θ ↑	-۰/۰۶۳	-۰/۰۶۷	-۰/۰۸۲	-۰/۰۸۶	-۰/۰۸۸	-۰/۰۹۳
		θ = c, H ↑	۰/۰۵۰	۰/۰۵۳	۰/۰۵۵	۰/۰۴۶	۰/۰۵۱	۰/۰۵۱
	MSI_a(-)	H = c, θ ↑	۰/۰۶۳	۰/۰۶۷	۰/۰۸۲	۰/۰۸۶	۰/۰۸۸	۰/۰۹۳
		θ = c, H ↑	۰/۰۵۰	۰/۰۵۳	۰/۰۵۵	۰/۰۴۶	۰/۰۵۱	۰/۰۵۱
	رتبه		۳	۲	۱	۳	۲	۱
شن	MSI_r(-)	H = c, θ ↑	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۸
		θ = c, H ↑	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰
	MSI_a(-)	H = c, θ ↑	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸
		θ = c, H ↑	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰
	رتبه		۲	۳	۱	۲	۳	۱
	رتبه نهایی		۲	۲	۱	۳	۲	۱

منابع

۱- بای‌بوردی م. ۱۳۸۸. فیزیک خاک، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ نهم، ۶۷۴ ص.

۲- پرچمی عراقی ف.، میر لطیفی س.م.، قربانی دشتکی ش. و مهدیان م.ح. ۱۳۸۹. ارزیابی برخی مدلهای نفوذ آب به خاک در برخی کلاس‌های بافتی و کاربری‌های اراضی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۲، جلد ۴، ص ۲۰۳-۱۹۳.

۳- تقی‌زاده ز.، وردی‌نژاد و.ر.، ابراهیمیان ح. و خان‌محمدی ن. ۱۳۹۱. ارزیابی مرزعه‌ای و تحلیل سیستم آبیاری سطحی با WinSRFR (مطالعه موردی آبیاری جویچه‌ای). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۶، ص ۱۴۵۹-۱۴۵۰.

۴- دربندی ص.، آیرملو ن.، جلیل‌زاده م. و دربندی ص. ۱۳۸۴. ارزیابی حساسیت ضرایب مدل‌های نفوذ به رطوبت اولیه خاک و تعیین مدل‌های ریاضی مربوطه. دومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان، سوم و چهارم اسفند ماه، ص ۱۶۲۵-۱۶۱۸.

۵- رضایی‌پور ص.، قبادی‌نیا م.، طباطبایی س.ح.، شایان‌نژاد م. و نوروزی م.ر. ۱۳۹۳. ارزیابی روشهای مختلف تعیین ضرایب معادله نفوذ فیلیپ در فرایند آبیاری متوالی جویچه‌ها. نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۱، ص ۲۳۸-۲۲۵.

۶- سپهوند ع.، طایی سمیرمی م.، میرنیا س.ا. و مرادی ح.ر. ۱۳۸۹. ارزیابی حساسیت مدل‌های نفوذ نسبت به تغییرپذیری رطوبت خاک. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۲، خرداد - تیر ۱۳۹۰. ص ۳۴۶- ۳۳۸.

7- Ebrahimian H., Liaghat A., Parsinejad M., Abbasi F. and Navabian M. 2012. Comparison of one- and two dimensional models to simulate alternate and conventional furrow fertigation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138(10): 929-938.

8- Holzapfel E.A., Jara J., Zuniga Marino M.A., Paredes J. and Bilib M. 2004. Infiltration parameters for furrow irrigation. Agricultural Water Management 68(1): 19-32.

9- Horton R.E. 1940. An Approach Towards a Physical Interpretation of Infiltration Capacity. Soil Science Society of America Proceedings, 5: 399-417.

10- Kandelous M.M. and Simunek J. 2010. Comparison of numerical, analytical, and empirical models to estimate wetting patterns for surface subsurface drip irrigation. Journal of Irrigations Science, 28:435-444.

11- Mezencev V.J. 1948. Theory of formation of the surface runoff. Meteorologiae Hidrologia, 3: 33-40.

12- Philip J.R. 1957. The theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. Soil Science, 83: 345–357.

13- Simunek J., Sejna M. and Van Genuchten M.Th. 2006. The HYDRUS software package for simulating two-and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solute in variably-saturated media, Technical Manual, Version 1.11, PC progress prague, Czech Republic.

14- Simunek J., Sejna M. and Van Genuchten M.T. 2012. The HYDRUS-1D software package for simulating the one–dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media, Version 4.15, Department of Environment Sciences, University of California Riverside, Riverside, California, USA.

15- Siyal A.A., and Skaggs T.H. 2009. Measured and simulated soil patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation. Journal of Agricultural Water Management. 96: 893-904.

16- Turner E. 2006. Comparison of Infiltration equationa and their field validation with rainfall simulatin. Thesis submitted to the faculty of the graduate school of the university of Maryland.

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 5, Nov.-Dec. 2014, p. 899-908

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۳، ص. ۹۰۸-۸۹۹

Sensitivity Analysis of Different Infiltration Equations and Their Coefficients under Various Initial Soil Moisture and Ponding Depth

A. Javadi[1*]- M. Mashal[2] - M.H. Ebrahimian[3]
Received: 23-11-2013
Accepted: 29-09-2014

Abstract

Infiltration is a complex process that changed by initial moisture and water head on the soil surface. The main objective of this study was to estimate the coefficients of infiltration equations, Kostiakov-Lewis, Philip and Horton, and evaluate the sensitivity of these equations and their coefficients under various initial conditions (initial moisture soil) and boundary (water head on soil surface). Therefore, one-and two-dimensional infiltration for basin (or border) irrigation were simulated by changing the initial soil moisture and water head on soil surface from irrigation to other irrigation using the solution of the Richards' equation (HYDRUS model). To determine the coefficients of infiltration equations, outputs of the HYDRUS model (cumulative infiltration over time) were fitted using the Excel Solver. Comparison of infiltration sensitivity equations and their coefficients in one-and two-dimensional infiltration showed infiltration equations and their sensitivity coefficients were similar function but quantitatively in most cases sensitive two-dimensional equations and their coefficients were greater than one dimension. In both dimensions the soil adsorption coefficient Philip equation as the sensitive coefficient and Horton equation as the sensitive equation under various initial moisture soil and water head on soil surface were identified.

Keywords: HYDRUS Model, Horton Equation, Kostiakov-Lewis Equation, Philip Equation, Richards' Equation

1- PhD Student of Irrigation and Drainage Department, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology
(* - Corresponding Author Email: ali.javadi@ag.iut.ac.ir)
2- Associate Professor, Department of Water Engineering, College of Aboureihan, University of Tehran
3- Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran