



بررسی تاثیر خصوصیات هیدرولیکی خاک بر نفوذ آب در خاک با استفاده از شبیه سازی

عددی

مهدی شرفا^۱، علی اصغر ذوالفقاری^۲، محمدحسین محمدی^۳ و منوچهر گرجی^۴

۴- دانشیاران گروه مهندسی علوم خاک - پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲- استادیار گروه بیابان‌زدایی دانشکده کویر شناسی دانشگاه سمنان

۳- استادیار گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه زنجان

مقدمه

نفوذ آب در خاک یکی از مهمترین پدیده‌هایی است که چرخه آب در طبیعت را تحت تاثیر قرار می‌دهد. دستیابی به مدیریت صحیح آبیاری، ذخیره رطوبت در خاک، عملکرد زراعی قابل قبول، مقدار رواناب و مدیریت پایدار خاک‌ها در گرو مد نظر قرار دادن نفوذ پذیری خاک است (میرزایی و همکاران ۲۰۱۳). بررسی تاثیر خصوصیات هیدرولیکی خاک بر نفوذ آب در خاک، به مدیریت بهتر چرخه آب در طبیعت کمک می‌کند. شبیه‌سازی عددی بر پایه روش‌های تصادفی، قادر است که دانش کافی را در ارتباط با نفوذ آب در خاک و تاثیر عوامل مختلف بر آن را در اختیار محققین علوم خاک قرار دهد (زهو و ماهانتی ۲۰۰۶). لذا هدف از مطالعه حاضر شبیه‌سازی نفوذ آب در خاک بر اساس پراکندگی تصادفی خصوصیات هیدرولیکی خاک در یک میدان تصادفی^۱ می‌باشد. همچنین تحلیل حساسیت نفوذ آب در خاک به خصوصیات هیدرولیکی خاک از دیگر اهداف این مطالعه است.

مواد و روشها

در این مطالعه از مدل ونگنوختن - معلم (۱۹۸۰) در توصیف خصوصیات هیدرولیکی خاک استفاده شد (معادله ۱):

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = [1 + (\alpha h)^n]^{-m} \quad [1]$$

که θ رطوبت خاک (L^3L^{-3})، θ_r رطوبت باقیمانده (L^3L^{-3})، θ_s رطوبت اشباع خاک (L^3L^{-3})، α و n پارامترهای برازش و $m = 1 - 1/n$ می‌باشد.

جذب پذیری خاک^۲ (S) ($LT^{-0.5}$) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (باری و همکاران ۲۰۰۹).

$$S^2 = 2K_s\theta_s \cdot (h_s - h_f) \quad [2]$$

h_f پتانسیل آب در جبهه رطوبتی خاک (L)، h_s پتانسیل فشاری آب در سطح خاک (L) و K_s هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (LT^{-1}) می‌باشد. نیومن (۱۹۷۶) معادله زیر را برای توصیف مکش خاک در جبهه رطوبتی ارائه نمود.

$$h_f = -\frac{1}{K_s} \int_{\theta_s}^{\theta_i} D(\theta) \cdot d\theta \quad [3]$$

که $D(\theta)$ ضریب پخشیدگی آب در خاک (L^2T^{-1}) و θ_i رطوبت اولیه (L^3L^{-3}) است. در صورت معتبر بودن مدل ونگنوختن - معلم، $D(\theta)$ به صورت زیر توصیف می‌شود.

$$D(Se) = \frac{(1-m)K_sSe^{1/2-1/m}}{am(\theta_s-\theta_r)} [(1-Se^{1/m})^{-m} + (1-Se^{1/m})^m - 2] \quad [4]$$

¹ - Random field

² - Sorptivity



با قرار دادن معادله (۴) در معادله (۳) و انتگرال گیری از معادله حاصل، پتانسیل آب در جبهه رطوبتی تعیین می شود.

معادلات (۲)، (۳) و (۴) نشان می دهد که جذب پذیری خاک تابعی از خصوصیات هیدرولیکی خاک از قبیل K_s ، m ، α ، n و رطوبت های اشباع، باقیمانده و اولیه خاک می باشد. بنابراین با تغییر این خصوصیات جذب پذیری خاک و در نتیجه مقدار نفوذ آب در خاک تغییر خواهد یافت.

به منظور بررسی اثر خصوصیات هیدرولیکی خاک بر جذب پذیری و نفوذ تجمعی آب در خاک در ابتدا لازم است که این خصوصیات با یک میانگین مشخص و با واریانس های متفاوت تولید شوند. در این مطالعه تغییرات مکانی نفوذ با استفاده از تغییرات مکانی پارامترهای هیدرولیکی خاک تعیین شد.

مطالعات متعددی نشان دادند که توزیع آماری پارامترهای هیدرولیکی خاک از قبیل θ_s و K_s ، α ، n ، θ_r لاگ نرمال می باشد. (زهو و ماهانتی ۲۰۰۶). لذا برای تولید داده های تصادفی، فرض لاگ نرمال بودن خصوصیات هیدرولیکی خاک در نظر گرفته شد. همچنین فرض شد که خصوصیات هیدرولیکی خاک دارای وابستگی مکانی می باشند. لگاریتم خصوصیات هیدرولیکی خاک با استفاده از الگوریتم شبیه سازی نرمال پی در پی^۳ و یک مدل واریوگرام نمایی در یک میدان تصادفی که دارای ۲۵۰۰ گره است، تولید شدند. میدان تصادفی تولید شده به صورت مربعی در نظر گرفته شد که دارای طول و عرض برابر با ۱۰۰۰ متر می باشد لذا فرض شد که خصوصیات هیدرولیکی خاک در فواصل ۲۰ متری تغییر می یابد. در الگوریتم شبیه سازی نرمال پی در پی، داده ها به گونه ای تولید شدند که دارای توزیع نرمال باشند. از واریوگرام نیز برای ایجاد همبستگی مکانی در تولید داده های تصادفی استفاده شد. به عبارت دیگر داده تولید شده مربوط به یک خصوصیت هیدرولیکی در یک نقطه از نظر عددی به داده هایی که در همسایگی این نقطه قرار دارند (نسبت به داده های واقع در فاصله دورتر)، نزدیکتر هستند. برای تولید داده های تصادفی مکانی از جعبه ابزار BMELib در محیط برنامه نویسی Matlab استفاده شد (BMELib 2008). در شبیه سازی نفوذ آب در خاک فرض شد که خصوصیات هیدرولیکی تولید شده در عمق های مختلف خاک ثابت بوده و خصوصیات خاک فقط دارای تغییر پذیری افقی می باشند.

در این مطالعه بر اساس داده های تصادفی تولید شده و با استفاده از روابط (۴)، (۳) و (۲) جذب پذیری خاک در ۲۵۰۰ نقطه محاسبه شد. شرایط مرزی و اولیه مورد استفاده در شبیه سازی عددی نفوذ به صورت زیر می باشد.

$$\theta_i = 0.03 + \theta_r, \quad h_s = 0 \quad [5]$$

پس از محاسبه جذب پذیری خاک، نفوذ آب در خاک با استفاده از معادله دو پارامتری فیلیپ (۶) محاسبه شد.

$$I = St^{0.5} + A \cdot t \quad [6]$$

I نفوذ تجمعی آب در خاک (L) و A یک پارامتر $(LT^{-0.5})$ می باشد که نشان دهنده هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در شرایط مزرعه است. شارما و همکاران (۱۹۸۰) نشان دادند که مقدار A را می توان برابر با $\frac{2}{3}K_s$ در نظر گرفته شود. لذا در شبیه سازی انجام شده مقدار پارامتر A برابر با $\frac{2}{3}K_s$ در نظر گرفته شد. جدول (۱) میانگین و ضریب تغییرات پارامترهای هیدرولیکی مورد استفاده در شبیه سازی و تحلیل حساسیت نفوذ آب در خاک به ویژگی های هیدرولیکی خاک را نشان می دهد. از روش عددی سیمپسون (استیون ۲۰۰۶) برای حل انتگرال معادله (۳) استفاده شد. برای انجام محاسبات و شبیه سازی نفوذ آب در خاک، یک برنامه کامپیوتری در محیط MATLAB 8.1 نوشته شد.

³ - Sequential Gaussian simulation

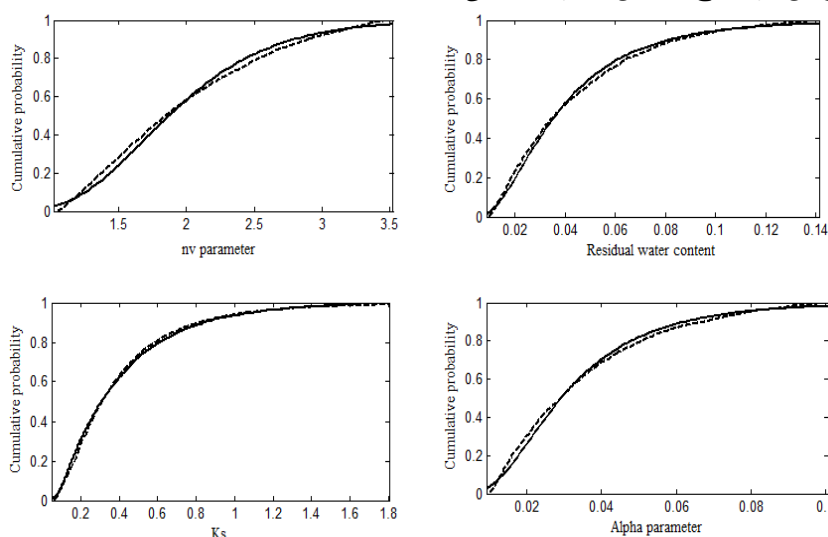
جدول ۱- میانگین و ضریب تغییرات پارامترهای هیدرولیکی مورد استفاده در شبیه‌سازی و تحلیل حساسیت نفوذ آب در خاک به ویژگی‌های هیدرولیکی خاک

پارامتر واحد	n ---	α cm^{-1}	K_s cm h^{-1}	θ_s $(\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	θ_r $(\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$
میانگین	۱/۵۹	۰/۰۲۵	۰/۳	۰/۴۵	۰/۰۶
ضریب تغییرات اولیه %	۱۰	۲۵	۲۵	۱۰	۲۰
ماکزیمم ضریب تغییرات %	۶۰	۷۵	۱۰۰	۷۵	۷۵

به منظور انجام تحلیل حساسیت، در ابتدا خصوصیات هیدرولیکی خاک با ضرایب تغییرات کوچک تولید شد (جدول ۱-۳). این ضرایب به عنوان ضرایب اولیه در نظر گرفته شدند. سپس در هر شبیه‌سازی، یک پارامتر با تغییرپذیری بالا (با ضریب تغییرات زیاد) انتخاب شد در حالی که دیگر پارامترها در مقدار اولیه خود باقی ماند.

نتایج و بحث

شکل (۱) توزیع تجمعی مقادیر تصادفی پارامترهای هیدرولیکی تولید شده (θ_r ، n ، α ، K_s) را نشان می‌دهد. شکل مذکور نشان می‌دهد که در تمام موارد توزیع آماری خصوصیات تولید شده به خوبی با تابع توزیع لاگ نرمال همخوانی دارد. آزمون کای اسکور نیز اختلاف معنی داری را بین توزیع پارامترهای هیدرولیکی خاک و تابع توزیع لاگ نرمال در سطح احتمال ۵ درصد نشان نداد.



شکل ۱- نمودار توزیع تجمعی پارامترهای تصادفی θ_r ، n ، α ، K_s (خطوط نقطه چین) و نمودار توزیع تجمعی لاگ نرمال برازش داده شده بر آنها (خط ممتد)

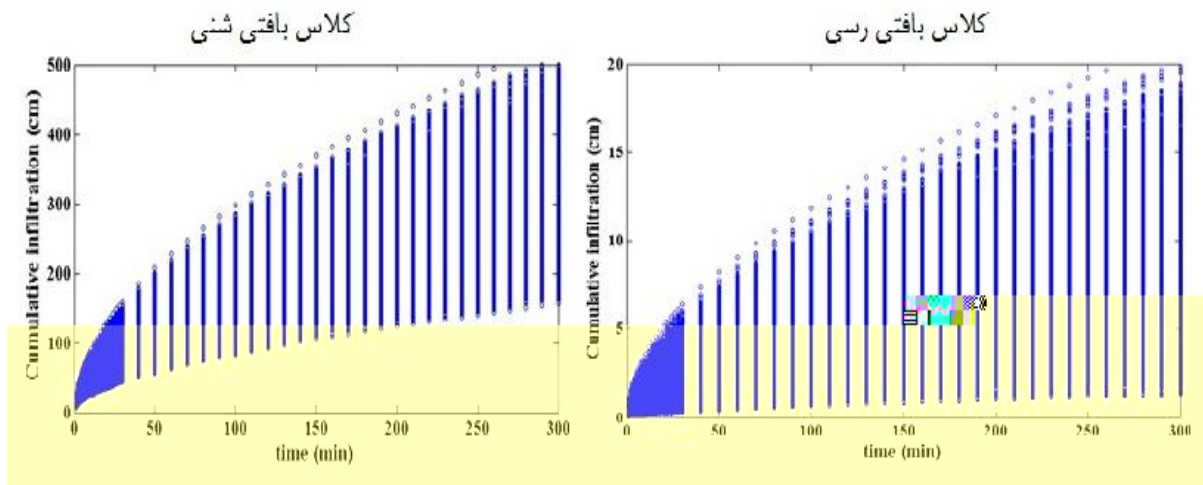
به منظور بررسی صحت معادلات و روش شبیه‌سازی (روابط ۲ الی ۴)، ابتدا خصوصیات هیدرولیکی مورد استفاده در شبیه‌سازی با توجه به میانگین این خصوصیات، در دو کلاس بافتی شنی و رسی (جدول ۲) تولید شدند. سپس با استفاده از این خصوصیات هیدرولیکی تولید شده مقدار نفوذ تجمعی آب در این دو کلاس بافتی شبیه‌سازی شد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار نفوذ تجمعی آب در خاک در زمان‌های طولانی (مانند ۳۰۰ دقیقه) در بافت شنی بین ۱۳۰ تا ۵۰۰ سانتیمتر و در بافت رسی بین ۴ الی ۲۰ سانتیمتر متغیر می‌باشد (شکل ۲). این نتایج صحت روش و روابط مورد استفاده در شبیه‌سازی نفوذ آب در خاک را نشان می‌دهد.

جدول ۲- میانگین و انحراف معیار خصوصیات هیدرولیکی مورد استفاده در شبیه‌سازی نفوذ آب برای

دو کلاس بافتی شنی و رسی

Θ_s $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$	Θ_r $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$	$\log(n)$	$\log(\alpha)$ $\text{Log}(\text{cm}^{-1})$	$\log(K_s)$ $\log(\text{cm d}^{-1})$	بافت خاک
۰/۳۷	۰/۰۵	۰/۵ (۰/۱۸)	-۱/۴۵ (۰/۲۵)	۲/۸۱ (۰/۵۹)	شنی
۰/۴۶	۰/۱۰	۰/۱ (۰/۰۷)	-۱/۸۲ (۰/۶۸)	۱/۱۷ (۰/۹۲)	رسی

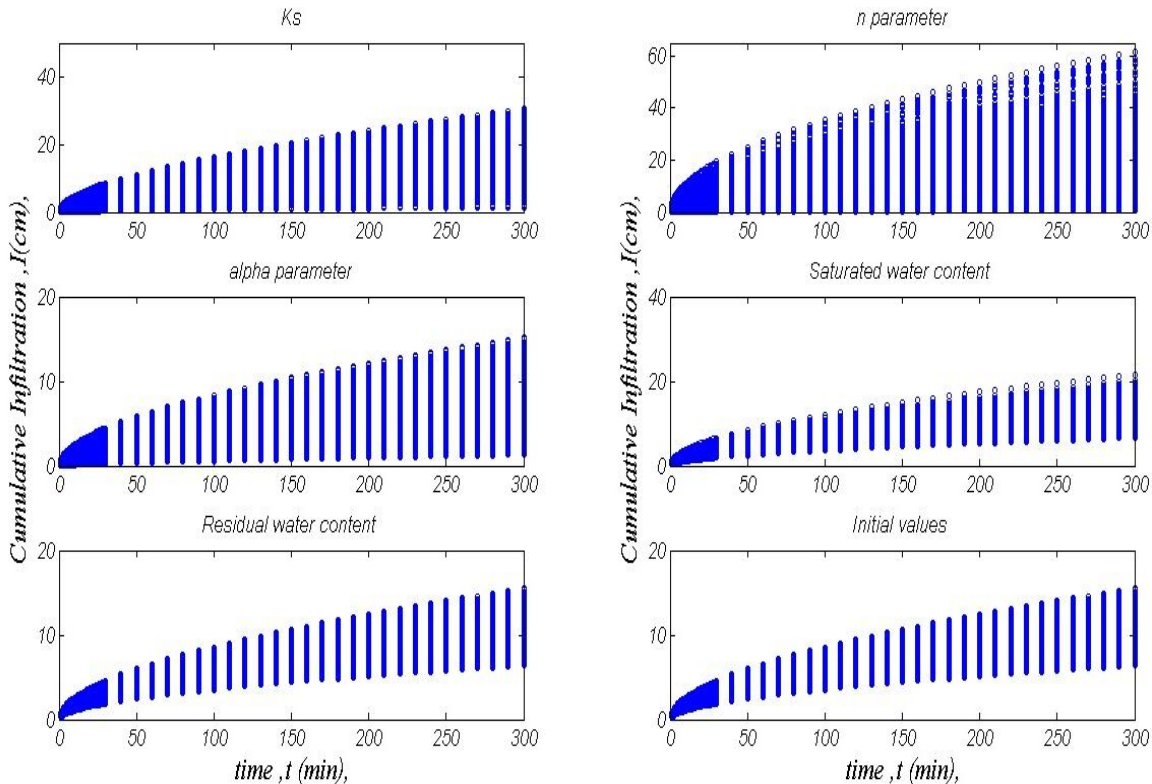
اعداد داخل پرانتز نشان دهنده انحراف معیار داده‌ها می‌باشد.



شکل ۲- نفوذ تجمعی شبیه‌سازی شده (روابط ۲ الی ۴) در دو کلاس بافتی شنی و رسی

شکل (۳) تاثیر تغییرات بالای خصوصیات هیدرولیکی خاک را بر نفوذ آب نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که نفوذ تجمعی آب در خاک به تغییرات بالای پارامتر n حساسیت زیادی دارد. به عنوان مثال ضریب تغییرات ۶۰ درصد در پارامتر n سبب شده است که نفوذ تجمعی آب در خاک پس از ۳۰۰ دقیقه نفوذ از ۱ تا ۶۲ سانتیمتر تغییر نماید. در حالی نفوذ تجمعی آب در خاک پس از ۳۰۰ دقیقه هنگامی که خصوصیات هیدرولیکی خاک با ضرایب تغییرات اولیه، در شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند بین ۶/۵ تا ۱۵/۵ سانتیمتر متفاوت بود. نتایج نشان داد که ضریب تغییرات برابر با ۱۰۰ درصد در K_s سبب شده است که نفوذ تجمعی آب در خاک در زمان ۳۰۰ بین ۱/۵۴ تا ۳۰/۵۸ سانتیمتر متغیر باشد. این نتایج حساسیت بالای نفوذ را به تغییرات K_s نشان می‌دهد. در حالی که ضریب تغییرات ۷۵ درصد در پارامتر α مقدار نفوذ تجمعی آب در خاک در زمان ۳۰۰ بین ۱/۴ تا ۱۵/۱ سانتیمتر تغییر داده است که نشان دهنده حساسیت کمتر نفوذ به تغییرات بالای پارامتر مذکور

است. تاثیر تغییرات رطوبت‌های اشباع و باقی مانده خاک بر تغییرپذیری نفوذ بسیار کوچک می‌باشد. بطوری که ضریب تغییرات ۷۵ درصدی در رطوبت باقیمانده سبب ایجاد تغییرات زیادی در نفوذ آب در خاک نشده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که حساسیت نفوذ به تغییرات رطوبت اشباع خاک در مقایسه با رطوبت باقیمانده بیشتر می‌باشد.



شکل ۳- تاثیر تغییرپذیری پارامترهای هیدرولیکی خاک بر نفوذ تجمعی آب در خاک (مقادیر اولیه نشان دهنده زمانی است که در شبیه‌سازی ضرایب تغییرات تمامی خصوصیات هیدرولیکی برابر با ضریب تغییرات اولیه در نظر گرفته شد. در باقی موارد فقط یکی از خصوصیات با ضریب تغییرات بالا در نظر گرفته شد)

منابع مورد استفاده

- Barry DA Parlange, MB Parlange, JY Liu MC, Steenhuis TS, Sander GC, Lockington DA, Li L, Stagnitti F, Assouline S, Selker J, Jeng DS, Haverkamp R and Hognath WB, 2009. Infiltration and ponding. In: Concepcion Donoso, M. (Ed.), Water Interactions with Energy, Environment and Food and Agriculture: volume II. EOLSS Publishers Co Ltd, pp. 245-269.
- BMELib: Bayesian Maximum Entropy Library for Space/Time Geostatistics. Version 2.0b for MATLAB. <http://www.unc.edu/depts/case/BMELIB/>
- Mirzaee S, Zolfaghari AA, Gorji M, Dyck M and Ghorbani Dashtaki, S, 2013. Evaluation of infiltration models with different numbers of fitting parameters in different soil texture classes. Archive of agronomy and soil science. doi: 10.1080/03650340.2013.823477.
- Neuman, S.P., 1976. Wetting front pressure head in the infiltration model of Green and Ampt. Water Resources Research 12: 564-566.
- Steven C and Canale RP, 2006. Numerical methods for engineers. McGraw-Hill Companies, Inc, USA.
- Zhu J and Mohanty B, 2006. Effective scaling factor for transient infiltration in heterogeneous soils. Journal of Hydrology 319: 96-108.



سیزدهمین کنگره علوم خاک ایران

محور مقاله: فیزیک، فرسایش و حفاظت خاک