



ارزیابی توابع انتقالی مختلف برای تخمین مکش ورود هوا جهت برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت خاک

سکینه رضوی قلعه جوق¹، علی رسول زاده²، محمد رضا نیشابوری³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

2- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

3- استاد گروه علوم خاک دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تبریز

چکیده

هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت خاک نقش تعیین کننده در حرکت آب و انتقال املاح در خاک دارد. در این مطالعه هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت خاک با استفاده از مدل فرکتال راولز و همکاران برآورد گردید. این مدل‌ها نیاز به پارامتر مکش ورود هوا دارند. برای بدست آوردن این پارامتر نیاز به اندازه‌گیری منحنی مشخصه‌ی آب خاک بوده که اندازه‌گیری این نوع منحنی مستلزم صرف وقت و هزینه‌ی زیادی می‌باشد. بدین منظور دقت نرم افزارهای سویل پار2 و رزتا و تابع انتقالی سکستون و همکاران به منظور برآورد مکش ورود هوا و به تبع آن برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور مقایسه و ارزیابی دقت توابع و مدل فرکتال در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت خاک، محک‌های آماری درجه‌ی انحراف (DT)، میانگین هندسی نسبت خطا (GMER) و انحراف معیار هندسی نسبت خطا (GSDER) محاسبه شد. نتایج نشان داد تابع انتقالی سکستون و همکاران در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت خاک از طریق مدل فرکتال نتایج رضایت بخشی دارد.

کلمات کلیدی: توابع انتقالی، جریان‌های ترجیحی، فرکتال، هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت

مقدمه

هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت خاک (K_s) یکی از خصوصیات هیدرودینامیک خاک‌هاست که نقش تعیین کننده‌ای در حرکت آب و انتقال املاح در خاک و مخصوصاً جریان‌های ترجیحی دارد. اندازه‌گیری مستقیم هدایت هیدرولیکی غالباً به علت پرهزینه بودن و زمان‌بر بودن بسهولت امکان پذیر نمی‌باشد. استفاده از مدل‌ها و توابع موجود یکی از روش‌های غیر مستقیم می‌باشد که خصوصیات هیدرولیکی خاک از جمله K_s را با استفاده از خصوصیات زود-یافت برآورد می‌کنند. راولز و همکاران (1993) به منظور برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع ماتریس و منافذ درشت خاک، فرآیندهای فرکتال را با معادله‌ی هدایت هیدرولیکی مارشال (1958) ترکیب کرده و به این نتیجه رسیدند که معادله‌ی هدایت هیدرولیکی اشباع تعدیل شده‌ی مارشال برآورد منطقی از هدایت هیدرولیکی اشباع ماتریس و منافذ درشت خاک ارائه می‌دهد. در این مطالعه دقت نرم افزارهای سویل پار2 و رزتا و تابع انتقالی رگرسیونی سکستون و همکاران به منظور برآورد مکش ورود هوا و به تبع آن برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت با استفاده از مدل فرکتال راولز و همکاران (1993) مقایسه و ارزیابی شدند.



مواد و روشها

منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از اراضی کشاورزی دشت سولدوز واقع در شهرستان نقده را تشکیل می‌دهد. تعداد 10 سری خاک در منطقه مشخص و از هر خاک نمونه‌های دست خورده و دست نخورده به صورت تصادفی از عمق 0-10 سانتی‌متر تهیه گردید. هدایت هیدرولیکی اشباع، خصوصیات زودیاقت خاک شامل جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی، توزیع اندازه‌ی ذرات و محتوای مواد آلی به ترتیب با روش بار افتان، خشک کردن نمونه‌ی خاک دست نخورده در آون، پیکنومتر، هیدرومتر و والکلی بلک اندازه‌گیری شدند. رطوبت اشباع حجمی خاک برابر با مقدار محاسبه شده‌ی تخلخل کل در نظر گرفته شد. به منظور برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت خاک (راولز و همکاران محدوده‌ی شعاع منفذ برابر با 0/12 تا 0/49 سانتی متر را در نظر گرفتند) از مدل فرکتال راولز و همکاران (1993) به شرح زیر استفاده شد.

$$K_s = 4.41 \times 10^{-7} (\phi^x / n^2) R_1^2 \quad [1]$$

که در آن K_s هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت (cm.h^{-1})، f تخلخل کل ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)، R_1 بزرگترین شعاع منفذ (cm) معادل برای فرش سرپینسکی (راولز و همکاران، 1993)، n کل گروه‌های توزیع منافذ و x توان بر هم کنش منافذ می‌باشد. نمای x در رابطه‌ی 1 برابر 1/333 فرض می‌شود (میلینگتون و کوپرک، 1961). راولز و همکاران، R_1 را معادل بزرگترین منفذ در ماتریس و منافذ درشت خاک فرض نمودند که از رابطه‌ی خیز موئینه‌ای محاسبه می‌شود. مقدار مکش ورود هوا (h_b) با استفاده از نرم افزار رزتا با فرض $h_b = 1/a$ ، a پارامتر منحنی مشخصه‌ی وان گنوختن، و نرم افزار سویل پار2، و تابع انتقالی سکستون و همکاران (1986) برآورد شد. نرم افزار سویل پار 2 از سه نوع تابع انتقالی رگرسیونی شامل توابع راولز - براکنسیک (1989)، کمپل (1985) و مایر - جارویس (1999) به منظور برآورد h_b استفاده می‌کند. برای برآورد n ، از معادله‌ی 3 ارائه شده توسط رضوی و همکاران (در دست داوری، 1389) استفاده گردید.

$$n = 50.695R_1 + 3.15 \quad r = 0.85 \quad [3]$$

به منظور ارزیابی عملکرد مدل برآورد کننده‌ی هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت خاک از محک‌های آماری نسبت خطای متوسط هندسی¹ و نسبت خطای انحراف معیار هندسی² (وگنر و همکاران، 2001) به ترتیب با استفاده از روابط 4 و 5 استفاده گردید.

$$GMER = \exp(1/N \sum_{i=1}^N \ln(e_i)), \quad e_i = K_{sp} / K_{sm} \quad [4]$$

$$GSDER = \exp\left((1/N - 1) \sum_{i=1}^N [\ln(e_i) - \ln(GMER)]^2 \right)^{1/2} \quad [5]$$

در معادلات مذکور e_i نسبت خطا، K_{sp} مقادیر برآورد شده، K_{sm} مقادیر اندازه‌گیری شده به روش بار افتان و N تعداد مشاهدات (نوع خاک) می‌باشد. GMER معادل با یک بالاترین تطابق بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه سازی شده را نشان می‌دهد. مقادیر GMER بزرگتر از یک به معنی بیش برآورد و کوچکتر از یک به معنی کم برآورد K_s می‌باشد. هرچه مقدار GSDER بیشتر باشد نشان‌دهنده‌ی انحراف بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. کارایی مدل‌های برآورد کننده‌ی هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت با استفاده از لگاریتم پارامتر DT³ از رابطه‌ی 6 ارزیابی گردید.

¹. Geometric mean error ratio

². Geometric standard deviation error ratio

³ Deviation Time

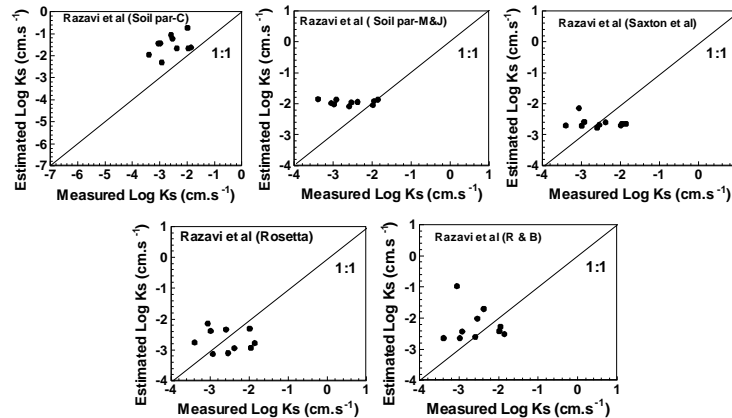


$$\text{LogDT} = \left(\sum_{i=1}^N (\log(e_i))^2 \right)^{0.5} \quad e_i = K_{sp} / K_{sm} \quad [6]$$

که در آن K_{sm} هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده به روش بار افتان، K_{sp} هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت برآورد شده توسط مدل و N تعداد خاک‌ها می‌باشد. هرچه مقدار DT بزرگتر باشد خطای تخمین‌ها بیشتر و دقت و کارایی مدل در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع کمتر خواهد بود. بنابراین بهترین مدل، $GMDER$ نزدیک به یک و کمترین مقادیر DT و $GSDER$ را خواهد داشت.

نتایج و بحث

در شکل 1 لگاریتم مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده بروش بار افتان (K_s) و برآورد شده برای مدل فرکتال منافذ درشت با n تعدیل شده توسط رضوی و همکاران (1389، در دست داوری) مطابق با رابطه‌ی 3 رسم شده است. در جدول 1 مقادیر محک‌های آماری برای ارزیابی و مقایسه‌ی کارایی توابع انتقالی در برآورد مکش ورود هوا و به تبع آن برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت با استفاده از مدل فرکتال راولز و همکاران ارائه شده است.



شکل 1- مقایسه‌ی مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده (K_s) و برآورد شده منافذ درشت خاک از طریق مدل فرکتال با n تعدیل شده توسط رضوی و همکاران

جدول 1- مقادیر آماره‌های DT ، $GMDER$ و $GSDER$ برای هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت خاک برآورد شده با مدل فرکتال راولز با n تعدیل شده توسط رضوی و همکاران

مدل	DT	GMDER	GSDER
Razavi et al (Rosetta)	4/474	0/76924	4/734
Razavi et al (Soil par –R&B)	5/583	1/51282	5/808
Razavi et al (Soil Par –C)	14/763	11/25184	3/461
Razavi et al (Soil par – M&J)	6/311	4/12695	3/455
Razavi et al (Saxton et al)	3/693	0/88	3/93

در جدول 1 و شکل 1 علایم R&B، Cam، M&J و Saxton et al به ترتیب نشان‌دهنده‌ی توابع انتقالی راولز براکنسیک، کمپل، مایر جارویس و سکستون و همکاران می‌باشد. با توجه به شکل 1 و مقایسه‌ی مجموع مقادیر محک-



های آماری از جدول آمی توان بیان کرد که تابع انتقالی رگرسیونی سکستون و همکاران با پایین‌ترین مقدار DT برابر با $3/693$ ، $GMER$ نزدیک‌تر به یک و برابر با $0/88$ دارای بهترین عملکرد در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت خاک با مدل فرکتال با n تعدیل شده توسط رضوی و همکاران می‌باشد. بدنبال تابع انتقالی سکستون عملکرد توابع انتقالی برآورد کننده h_b برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت خاک با مدل فرکتال تعدیل شده توسط رضوی و همکاران و به ترتیب کاهش خطا شامل موارد ذیل می‌باشد. رزتا، سویل پار - راولز براکنسیک، سویل پار - مایرجارویس و سویل پار - کمپل. بطور کلی برآوردهای انجام گرفته با توابع فوق‌الذکر رضایت بخش می‌باشد. تابع انتقالی رگرسیونی سکستون با $GSDER$ پایین‌تر از رزتا پراکندگی کمتری نیز نسبت به تابع انتقالی رزتا نشان داده است. با توجه به شکل 1 به نظر می‌رسد تابع انتقالی سویل پار - راولز براکنسیک نیز برآورد بهتری نسبت به تابع انتقالی رزتا برای اکثر نقاط ارائه داده ولی به علت اینکه تنها برای خاک المهدی با بافت لوم شنی برآورد بهتری ارائه نداده است این امر موجب افزایش درصد خطای محک‌های آماری شده است در حالیکه برای سایر مناطق بهتر از رزتا جواب داده است. در توسعه‌ی تابع انتقالی سکستون و همکاران از پایگاه اطلاعاتی داده‌ی بزرگتری استفاده شده است، استفاده از چنین پایگاه اطلاعاتی دامنه‌ی بزرگتری از تغییر پذیری خصوصیات هیدرولیکی را می‌تواند به همراه داشته باشد. در آموزش شبکه‌ی عصبی رزتا از داده‌های مربوط به خاک‌های قاره‌ی آسیا نیز استفاده شده است (بورگسن و اسکپ، 2001) و از آنجا که توابع انتقالی خصوصیات هیدرولیکی خاک‌هایی که از آن منشأ می‌گیرند را بهتر برآورد می‌کنند دلیل عملکرد خوب توسط تابع رزتا را می‌توان به عامل فوق‌الذکر و علاوه بر این به هوشمند بودن نحوه‌ی تجزیه تحلیل داده‌ها در رزتا نسبت داد.

منابع

امیدی سمیرا، قهرمان بیژن، 1387. برآورد ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع ماتریس و منافذ درشت خاک (با استفاده از توابع انتقالی، فرکتال و روش لوله‌های مویین). هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، مشهد.

رضوی سکینه، رسول زاده علی، نیشابوری محمدرضا، 1389. ارزیابی دقت سه روش مختلف برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع برای خاک‌های دشت سولدوز (شهرستان نقده). مجله دانش آب و خاک (در دست داوری).

- Acutis M and Donatelli D, 2003. *SOILPAR 2.00: Software to estimate soil hydrological parameters and functions*. European Journal Agronomy 18: 373-377.
- Borgesen CD and Schaap MG, 2005. Point and parameter pedotransfer functions for water retention predictions for Danish soils. *Geoderma* 127: 154-167.
- Brooks RH and Corey AT, 1964. Hydraulic properties of porous media. *Hydrology* 3: 27.
- Campbell CS, 1985. *Soil Physics With Basic*. Elsevier, New York. 149pp.
- Campbell GS, 1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. *Soil science* 117: 311-314.
- Hutson JL and Cass A. 1987. A retentivity function for use in soil-water simulation models. *Soil Science* 38: 105-113.
- Marshal TJ, 1958. A relationship between permeability and size distribution of pores. *Soil Sci* 9:1-8.
- Mayr T, Jarvis NJ, 1999. Pedotransfer functions to estimate soil water retention parameters for a modified Brooks-corey type model. *Geoderma* 91: 1-9.
- Millington RJ and Quirk JP, 1961. Permeability of porous media. *Trans. Faraday Soc.* 57: 1200-1206.
- Rawls WJ and Brakensiek DL, 1989. Estimation of soil water retention and hydraulic properties. Pp. 275-300. In: Morel-Seytoux hJ (ed). *Unsaturated flow in hydraulic modeling. Theory and Practice*. Kluwer Academic Publishers.



- Rawls WJ, Brakensiek, DL and Logsdon SD, 1993. Predicting saturated hydraulic conductivity utilizing fractal principles. *Soil Science* 57: 1193-1197.
- Saxton KE, Rawls WJ, Romberger, JS and Papendick, RI, 1986. Estimation generalized soil water characteristics from texture. *Soil Science* 50: 1301-1036.
- Schaap MG, Leij Fj, and van Genuchten MTh 2001. ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Hydrology* 251:163-176.
- Wagner B, Tarnawski VR, Wessolek G, Plagge R, 1998. Suitability of models for the estimation of soil hydraulic parameters. *Geoderma* 86: 229–239.