نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال ششم ، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۵

ISSN 2251-7480

برآورد منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از مدل پارامتریک مقیاس‌گذاری شده [۱]

سمانه امان‌آبادی[۱]، محمد حسین محمدی[۲*] و محمد حسن مسیح‌آبادی[۳]

۱) دانش‌آموخته دکتری فیزیک و حفاظت خاک؛ گروه خاک‌شناسی؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران

۲*) دانشیار؛ گروه علوم خاک؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ البرز؛ ایران

* نویسنده مسؤل مکاتبات: mohammadi@znu.ac.ir

۳) استادیار؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ گروه خاک‌شناسی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۱۱/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۲

چکیده

اندازه‌گیری مستقیم منحنی مشخصه آب خاک به دلیل تغییرپذیری مکانی و زمانی زیاد خصوصیات هیدرولیکی، کاری دشوار و پرهزینه است، لذا تخمین منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از ویژگی‌های زودیافت پایه‌ای خاک مورد توجه واقع شده است. در این پژوهش، از داده‌های پراکنش اندازه‌ای ذرات ۱۲ نمونه خاک پایگاه اطلاعات داده‌ای UNSODA برای مقایسه مدل‌های پارامتریک مقیاس‌گذاری شده و نرم افزار ROSETTA استفاده شد. نتایج نشان داد که منحنی مشخصه آب خاک را می‌توان با استفاده از داده‌های منحنی پراکنش اندازه‌ای ذرات خاک برآورد نمود و عملکرد نسبی (RI) برآورد منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از مدل پارامتریک مقیاس‌گذاری شده ۵۰/۳٪ بیشتر از نرم افزار ROSETTA می‌باشد. همچنین به دلیل عملکرد مستقل از داده‌های آزمایشگاهی و عدم نیاز به پارامترهای تجربی در روش مقیاس‌گذاری، استفاده از این روش نسبت به نرم افزار ROSETTA مناسب‌تر است. نتایج مقایسه آماری مدل مقیاس‌گذاری شده نشان داد که این روش بهترین برازش را بر داده‌های تجربی دارد. همچنین در مدل پارامتریک مقیاس‌گذاری، در مکش‌های بالا (رطوبت کم) و خشک شدن خاک، برآورد منحنی مشخصه آب خاک عملکرد نسبی بهتری نسبت به نرم‌افزار ROSETTA نشان می‌دهد، بنابراین می‌توان از این روش برای برنامه‌ریزی آبیاری استفاده نمود. روش مقیاس‌گذاری نشان داد که با استفاده از درصد ذرات شن، سیلت و رس می‌توان منحنی مشخصه آب خاک را با دقت برآورد کرد، به دلیل تغییرپذیری مکانی- زمانی نسبتاً ثابت درصد ذرات شن، سیلت و رس می‌توان از روش مقیاس‌گذاری در مقیاس‌های مطالعاتی بزرگ استفاده نمود.

کلید واژه‌ها: داده‌های پراکنش اندازه‌ای ذرات، عملکرد نسبی مدل، پایگاه اطلاعات داده‌ای UNSODA، نرم افزار ROSETTA

مقدمه

امروزه در سطح جهانی تقاضا برای دسترسی به اطلاعات کمی درباره خاک‌ها به منظور بررسی‌های زیست محیطی و مدل‌سازی افزایش یافته است (Hartemink and McBratney 2008). دسترسی به اطلاعات مکانی دقیق، به‌روز و قابل اعتماد از خصوصیات هیدرولیکی خاک‌ها در مقیاس مزرعه، حوضه آب‌خیز، منطقه‌ای و قاره‌ای برای تامین آب، موادغذایی و مدیریت اکوسیستم‌های آبی و خاکی ضروری می‌گردد (Wösten *et al.*, 2013). منحنی رطوبتی خاک، رابطه بین میزان آب خاک و پتانسیل ماتریک، ظرفیت و توانایی خاک را در نگهداری آب نشان می‌دهد که برای مدل‌سازی آب و انتقال نمک‌ها در

[۱] برگرفته از رساله دکتری

خاک‌های غیراشباع کاربرد دارد، از آنجائیکه روش‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری منحنی رطوبتی وقت‌گیر و با خطا توام است، مدل‌سازی منحنی رطوبتی مورد توجه واقع شده است (بایرام و بهمنی، ۱۳۹٤؛ Antinoro *et al.*, 2014, Hunt *et al.*, 2013,) روش‌های صحرایی و آزمایشگاهی زیادی برای اندازه‌گیری خصوصیات هیدرولیکی برروی نمونه‌های دست نخورده و یا دست خورده توسعه یافته‌اند لیکن این روش‌ها به رغم دهه‌ها کار متناوب متخصصین فیزیک خاک و سایر رشته‌ها همچنان سخت و وقت‌گیر است. همچنین در آینده نزدیک نیز احتمال پیشرفت روش‌های آزمایشگاهی در بررسی روابط میزان آب خاک و پتانسیل ماتریک وجود ندارد(Nemes *et al.*, 2001). انتقال نمکها در زیر سطح خاک معمولاً توسط میزان و جهت جریان آب تعیین می‌شود. متأسفانه به سبب غیرخطی بودن خصوصیات هیدرولیکی غیراشباع خاک، اندازه‌گیری و توصیف جریان آب در خاک‌های غیراشباع دشوار است (Mohammadi and Vanclooster 2011).

برای بررسی تغییرپذیری زمانی و مکانی ذاتی خصوصیات هیدرولیکی در مزرعه تعداد زیادی نمونه خاک لازم است تا بتوان این پراکنش مکانی را به‌طور دقیق تجزیه و تحلیل نمود (Ghanbarian-Alavijeh *et al.*, 2010).برای تخمین هدایت هیدرولیکی غیراشباع با استفاده از سایر خصوصیات محیط متخلخل مانند پراکنش اندازه‌ای ذرات (Arya *et al.*, 1999) و پراکنش اندازه‌ای خلل و فرج (Mualem 1976)، روش‌های تئوری پیشرفت شایانی داشته‌اند (Ghanbarian-Alavijeh and Hunt 2012)، روش‌های غیرمستقیم برآورد خصوصیات هیدرولیکی خاک به سه گروه تقسیم می‌شوند: ۱) روش‌های تجربی (آماری) و شبکه عصبی که خصوصیات هیدرولیکی خاک را به خصوصیات زود یافت فیزیکی و مانند جرم مخصوص ظاهری، درصد شن، سیلت و رس مربوط می‌کنند و ارتقا آن‌ها آسان است. عملکرد مدل‌های تجربی به مجموعه داده‌هایی که مدل با آنها کالیبره و تست شده است بستگی دارد (فولادوند و علاسوند، ۱۳۹٤؛ Weynants *et al.*, 2009؛ Wösten *et al.*, 1999). ۲) مدل‌های شبه فیزیکی که بر اساس وجود شباهت ظاهری بین منحنی رطوبتی خاک و منحنی تجمعی پراکنش اندازه‌ای ذرات است (Zhuang *et al.*, 2001, Haverkamp *et al.*, 2005, Schaap 2005, Hwang and Choi 2006,). شباهت ظاهری بین این دو منحنی حاکی از ارتباط مستقیم پراکنش اندازه‌ای خلل و فرج و پراکنش اندازه‌ای ذرات است (Arya *et al.*, 2008). این روش دیدگاه مفهومی ارزشمندی را پیشنهاد می‌دهد. در نتیجه این مدل‌ها بنیان و اساس مفهومی قوی‌تری نسبت به روش‌های تجربی دارند لیکن همچنان حداقل یک پارامتر تجربی دارند که کاربرد آن‌ها را محدود می‌کند و این پارامتر تجربی مدل شبه فیزیکی را به داده‌ها وابسته می‌کند (Mohammadi and Meskini-Vishkaee 2013). ۳) مدل‌های مفهومی که براساس برخی فرضیات مفهومی بدون پارامترهای تجربی خصوصیات هیدرولیکی خاک را برآورد می‌کنند.

Arya وParis (۱۹۸۱) نشان دادند برآورد منحنی رطوبتی با استفاده از داده‌های پراکنش اندازه‌ای خلل و فرج خاک (مدل AP)که ارتباط تنگاتنگی با پراکنش اندازه‌ای ذرات دارد، امکان پذیر است. نامبردگان برای افزایش کارآیی مدل‌های شبه فیزیکی، روش کاملاً جدیدی را ارائه کردند که اندازه خلل و فرج به صورت حجم خلل و فرج در نظر گرفته می‌شود و می‌توان آن را با استفاده از فاکتور مقیاس‌گذاری، به عنوان تابعی از طول خلل و فرج مقیاس‌گذاری نمود. همچنین نشان دادند که می‌توان طول خلل و فرج را با فرض کروی بودن ذرات نسبت به طول خلل و فرج طبیعی خاک مقیاس‌گذاری نمود و نیز نشان دادند که مقدار میانگین شاخص مقیاس‌گذاری شده‌ی α برابر با ۱/۳۸ است.

Haverkamp و Parlange (۱۹۸٦) مدل شبه فیزیکی ساده‌ای ارائه کردند که منحنی رطوبتی را به تابع پراکنش اندازه‌ای ذرات ربط می‌داد، این مدل می‌توانست پدیده پسماند رطوبت (hysteresis) را در خاک‌های شنی خالص توضیح دهد (مدل HP).Hwang و power (۲۰۰۳)، چهار مدل پراکنش اندازه‌ای ذرات را در نظر گرفتند تا با انتخاب مدل پیوسته‌ی پراکنش اندازه‌ای ذرات منحنی رطوبتی دقیق‌تری برآورد کنند. هر یک از مدل‌های پراکنش اندازه‌ای ذرات به کار رفته منحنی رطوبتی را با تعداد مختلفی پارامتر برازش، تخمین می‌زند، نتایج نشان داد که رابطه‌ی غیرخطی بین پراکنش اندازه‌ای ذرات و پراکنش اندازه‌ای تخلخل نسبت به رابطه خطی ارائه شده در مدل AP منحنی رطوبتی دقیق‌تری برآورد می‌کند. Hwang و Choi (۲۰۰٦) دو تابع برای تخمین منحنی رطوبتی با استفاده از داده‌های پراکنش اندازه‌ای ذرات به دست آورند که در آنها رابطه‌ی بین پراکنش اندازه‌ای ذرات و پراکنش اندازه‌ای تخلخل را خطی و غیر خطی در نظر گرفته شده بود. آنها نشان دادند که نتایج مدل‌سازی در طیف وسیعی از بافت‌های مختلف خاک معتبر است. همچنین نتیجه‌گیری کردند که پراکنش اندازه‌ای ذرات و پراکنش اندازه‌ای تخلخل در خاک‌هایی با بافت ریز از پراکنش لوگ نرمال تبعیت نمی‌کند و مدل‌شان در این خاک‌ها عملکرد ضعیفی ارائه می‌دهد. اخیراً Mohammadi و Vanclooster (۲۰۱۱) مدل ساده و کارآمدی بر اساس مفهوم پراکنش اندازه‌ای ذرات ارائه دادند (مدل MV) و عملکرد مدل را از طریق مقایسه با مدل AP و HP بررسی کردند و مقدار پارامتر تجربی n را مقیاس گذاری نمودند که برای برآورد منحنی رطوبتی به هیچ پارامتر تجربی نیاز ندارد.

اساس روش‌های مقیاس‌گذاری[1]، برازش منحنی‌های تجربی بدون در نظر گرفتن مفهوم فیزیکی فاکتور مقیاس‌گذاری است (Perfect 2005و Millan and Gonzalez-Posada2005). اولین مرحله برای استفاده از روش‌های مقیاس‌گذاری تعیین فاکتور مقیاس‌گذاری است. با توجه به پیچیدگی اندازه‌گیری پراکنش حجم و اندازه خلل و فرج، تخمین فاکتور مقیاس‌گذاری کار بسیار پیچیده و دشواری است. در همین راستا مطالعات متعددی صورت گرفته است تا فاکتور مقیاس‌گذاری را به بافت خاک ارتباط دهد (Millan *et al.*, 2003). روش‌های مقیاس‌گذاری مدل‌سازی و برآورد منحنی رطوبتی را بهبود می‌بخشند(Tuli *et al.*, 2001). نتایج نشان داد که مدل MV مقدار رطوبت را در محدوده‌ی رطوبت کم منحنی رطوبتی، کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند و خطای مدل ناشی از واجذب ناقص آب در خلل و فرج در محدوده‌ی مکش بالا و ساده‌سازی فرضیات مدل درباره‌ی مفهوم هندسی خلل و فرج است (Mohammadi and Vanclooster, 2011). از آنجایی که پراکنش اندازه‌ای خلل و فرج و وضعیت آن‌ها بر منحنی رطوبتی تأثیر می‌گذارد این میزان ساده‌سازی وضعیت هندسی خلل و فرج باعث خطای قابل ملاحظه در تخمین جریان آب و انتقال نمکها در محیط‌های غیراشباع به ویژه در رطوبت‌های کم می‌گردد (Nitao and Bear, 1996 وMohammadi and Vanclooster, 2011و Hui and Blunt, 2000).

Meskini-Vishkaee و همکاران (۲۰۱٤) برای کاهش خطای مدل در محدوده‌ی رطوبتی کم، روش جدید مقیاس‌گذاری ارائه کردند که در آن منحنی رطوبتی پیوسته‌ای با استفاده از اطلاعات منحنی تجمعی پراکنش اندازه‌ای ذرات ارائه شد. نتایج نشان داد که در روش مقیاس‌گذاری جدید دقت برآورد منحنی نسبت به مدل تلفیق شده‌ی ون‌گنوختن (مدلVG) و مدل MV (مدل MV-VG) و نیز نرم‌افزار ROSETTA به ویژه در رطوبت‌های کم، بیشتر است. نتایج نشان داد روش

[1]Scaling method

مقیاس‌گذاری قادر است منحنی رطوبتی کلیه نمونه‌های خاک را تخمین بزند علاوه بر این دقت برآورد منحنی رطوبتی با استفاده از این روش نسبت به مدل اصلی VG و ROSSETTA تا ۳۰ ٪ افزایش یافت. دقت برآورد منحنی رطوبتی در خاک‌هایی با بافت ریز تا متوسط به طور معنی‌داری افزایش یافت. از آنجایی که این روش یک روش آسان است و به پارامترهای تجربی نیاز ندارد می‌توان از آن برای برآورد خصوصیات هیدرولیکی استفاده نمود (Meskini-Vishkaee *et al.*, 2014).

Schaap و همکاران (۲۰۰۱) برنامه رایانه‌ای به نام ROSETTA ارائه دادند که دارای پنج نوع تابع انتقالی سلسله مراتبی برای تخمین منحنی رطوبتی، هدایت هیدرولیکی اشباع و غیراشباع است. توابع انتقالی سلسله مراتبی امکان تخمین پارامترهای منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از داده‌های محدود (صرفاً داده‌های بافت خاک) و داده‌هایی بیشتر (بافت، جرم مخصوص ظاهری و یک یا دو نقطه منحنی رطوبتی) را فراهم می‌کند. از آنجائیکه در اغلب مطالعات خاک‌شناسی درصد شن، سیلت و رس اندازه‌گیری می‌شود و در اکثر تحقیقات خاک‌شناسی این اطلاعات در دسترس هستند امکان برآورد منحنی رطوبتی با استفاده از خصوصیات زودیافت خاک و درصد شن، سیلت و رس با دقت بالا و به آسانی می‌تواند در تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک مفید باشد، بنابراین هدف این پژوهش برآورد منحنی رطوبتی با استفاده از مدل مقیاس‌گذاری و درصد شن، سیلت و رسو همچنین مقایسه عملکرد نسبی مدل مقیاس‌گذاری با نتایج نرم‌افزار ROSETTA است.

مواد و روش‌ها

برای استفاده از روش مقیاس‌گذاری، Meskini-Vishkaee و همکاران (۲۰۱٤) مدل جدیدی برای برآورد منحنی رطوبتی بر اساس مدل VG به صورت زیر ارائه کردند که در آن مقدار رطوبت باقی مانده صفر فرض شده است (Θ_r=۰).

$$\theta = \frac{\theta_s}{(1+(\alpha h)^{n*})^m} \qquad (۱)$$

که در آن Θ (L^3L^{-3})رطوبت خاک، Θ_s (L^3L^{-3})رطوبت اشباع خاک، h(L) مکش ماتریک هستند m و αضرایب برازش منحنی رطوبتی هستند.n*نیز شاخص مقیاس-گذاری شده‌ی پراکنش اندازه‌ای خلل و فرج است. که به صورت زیر تعریف می‌گردد :

$$n^* = \lambda \times n \qquad (۲)$$

که در آن λ به صورت زیر است :

$$\lambda = \frac{\xi}{\xi_{max}} \qquad (۳)$$

ξ_{max} پارامتر بدون بعد و برابر با ۱/٤۱٤۳۲، ξ (بدون بعد) نیز ضریبی وابسته به وضعیت قرارگیری ذرات خاک است و به صورت زیر تعریف می‌گردد :

$$\xi = \frac{1.9099}{e+1} \qquad (٤)$$

که e(بدون بعد) نسبت پوکیاست و با رابطه زیر به دست می‌آید :

$$e = \frac{\rho_s - \rho_b}{\rho_b} \qquad (۵)$$

کهρ_b (ML^{-3})و ρ_s (ML^{-3}) به‌ترتیب جرم مخصوص ظاهری و حقیقی‌خاک هستند همانطور که پیش‌تر نیز اشاره شد می‌توان با استفاده از داده‌های پراکنش اندازه‌ای ذرات منحنی رطوبتی را برآورد نمود (مدل AP).

برای بهبود برآورد منحنی رطوبتی Mohammadi وVanclooster (۲۰۱۱)مدل MV را ارائه کردند که در این مدل می‌توان با استفاده از اندازه ذرات، مکش ماتریک خاک را به صورت زیر محاسبه نمود.

$$h_i = \frac{0.543 \times \xi \times 10^{-4}}{r_i} \qquad (٦)$$

که در آنh_i (L) مکش ماتریک در اندازه ذره*i*ام،r_i(L)شعاع ذره*i*ام است. همچنین براساس مدل AP، میزان رطوبت به عنوان ضریبی از رطوبت اشباع در نظر گرفته شد، بنابراین

مقدار رطوبت برای ذرهiام خاک به صورت زیر تعریف می‌شود :

$$\theta_i = \theta_s \sum_1^i wi \qquad (۷)$$

که w_i مقدار ذرهiام خاک است.

معادله (۱) در واقع فرم مقیاس‌گذاری شده‌ی مدل VG است که در آن مقدار رطوبت باقی مانده صفر در نظر گرفته شده است.

بنابراین :

$$\theta_i = \frac{\theta_s}{(1+(\alpha h_i)^{n^*})^m} \qquad (۸)$$

با جایگذاری رابطه (٦) در معادله (۸) مدل جدیدی به صورت زیر خواهیم داشت :

$$\sum_1^i wi = \frac{1}{\left(1+\left(\alpha\frac{0.543\times\xi\times10^{-4}}{r_i}\right)^{n^*}\right)^m} \qquad (۹)$$

معادله (۹) بر داده‌های پراکنش اندازه‌ای ذرات برازش داده شد و پارامترهای مدل (VGn ، mو α)به دست آمد. این پارامترها در معادله (۱) به عنوان ورودی مدل استفاده شد. از آنجایی که معادله (۹) دارای سه پارامتر برازش متغیر است این معادله باید به داده‌هایی از پراکنش اندازه‌ای ذرات برازش یابد که حداقل ٤ نقطه‌ی اندازه‌گیری شده داشته باشند.

برای استفاده از معادله (۹) در نقاطی که داده‌های اندازه‌گیری شده آنها محدود است، مقدار m به عنوان یکی از پارامترهای مدل VG، m = 1-(1/n) فرض شده است بنابراین معادله (۹) به صورت زیر درمی‌آید :

$$\sum_1^i wi = \frac{1}{\left(1+\left(\alpha\frac{0.543\times\xi\times10^{-4}}{r_i}\right)^{n^*}\right)^{\left(1-\frac{1}{n}\right)}} \qquad (۱۰)$$

در نتیجه معادله (۱۰) را می‌توان به داده‌هایی برازش داد که فقط درصد شن، سیلت و رس در دسترس است. به طور خلاصه می‌توان با استفاده از جرم مخصوص ظاهری خاک مقدار فاکتور مقیاس‌گذاری (n^*) را محاسبه نمود و با برازش معادله (۹) و (۱۰) بر داده‌های پراکنش اندازه‌ای ذرات می‌توان پارامترهای منحنی رطوبتی (n ، m وα) را به دست آورد. برای تخمین منحنی رطوبتی پیوسته نیز می‌توان از معادله (۱) استفاده کرد. معادله (۱۰) بر بخشی از داده‌های پراکنش اندازه‌ای ذرات نمونه خاک‌های UNSODA شامل اندازه ذرات شن، سلیت و رس برازش داده شد. برای بدست آوردن ضرایب نامعین معادله (۱۰) از الگوریتم trust regionدر نرم افزار Matlab 8.3 استفاده شد. پارامترهای e، ξ و λ به آسانی با استفاده از جرم مخصوص ظاهری و حقیقی (معادلات ۳ تا۵) محاسبه شد. در اغلب نمونه خاک‌های UNSODA، رطوبت اشباع خاک در دسترس است لیکن برای خاک‌هایی که رطوبت اشباع آنها موجود نیست از رطوبت کمترین مکش اندازه‌گیری شده به عنوان رطوبت اشباع استفاده گردید(Chan and Govindaraju, 2004).

برای برآورد منحنی رطوبتی از ۱۲ نمونه خاک از پایگاه اطلاعات داده‌ای UNSODA با حداقل چهاراندازه ذره از پراکنش اندازه‌ای ذرات استفاده شد. در جدول ۱ کدهای انتخاب شده‌ی پایگاه اطلاعات داده‌ای UNSODA براساس بافت خاک آمده است. در جدول ۲ مقادیر آمار توصیفی خاک‌های استفاده شده برای دقت سنجی و مقایسه مدل مقیاس‌گذاری شده با نتایج نرم‌افزار ROSETTA ارایه شده است.

جدول ۱. کدهای انتخاب شده پایگاه اطلاعات داده‌ای UNSODA بر اساس بافت خاک.

	بافت خاک	شن	لوم	رس
کد UNSODA	۲۲۰۳	۱۱۹۰	۳۲۲۲	۱٤۰۰
	٤۵۲۰	۱۲۱۲	٤۷۷۰	٤۱۲۰
	٤۱۳۲	۲۵۳۰	۳۱۹۰	٤٦۸۱

جدول ۲. آمار توصیفی خاک‌های استفاده شده برای دقت سنجی مدل

	میانگین	میانه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	حداقل	حداکثر
رطوبت حد اشباع(L^3L^{-3})	۰/٤٦	۰/٤۲	۰/۱۲	۰/۸۷	۰/۱۹	۰/۲٤	۰/۷۷
جرم مخصوص ظاهری(ML^{-3})	۱/٦٥	۱/٥۱	۱/۲۸	٦/۷	٤٦/٥	۰/٤٦	۱۰/٤۲
جرم مخصوص حقیقی(ML^{-3})	۲/٦٤	۲/٦٥	۰/۰٤	−۱/۱٥	۸/۳۷	۲/٤۸	۲/۷۹
تخلخل(−)	۰/٥۱	۰/٤٦	۰/۱۲	۲/۰۲	۳/۷۹	۰/٤۱	۰/۸۲
ماده آلی(٪)	۱/۲۸	۰/۹۱	۱/۲۳	۱/۰۹	۰/۱۹	۰/۰۸	٤/۲۷

برای محاسبه دقت هر برآورد از شاخص آماری جذر میانگین مربعات خطا(RMSE)که بیان کننده میزان خطا بین رطوبت اندازه‌گیری و برآورد شده است استفاده گردید(معادله ۱۱).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\Theta_{i(p)} - \Theta_{i(o)}\right)^2} \qquad (۱۱)$$

که در آن n تعداد رطوبت اندازه‌گیری شده $\Theta_{i(P)}$ و $\Theta_{i(O)}$به ترتیب مقدار رطوبت برآورد شده و اندازه‌گیری شده در مکش ماتریک*i*ام است. همچنین ضریب تعیین برای بررسی همبستگی (R^2)بین رطوبت اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از نرم افزار SPSS 21 محاسبه شد. عملکرد نسبی مدل برای مقایسه کارآیی مدل مقیاس‌گذاری شده و نرم افزار ROSETTA با معادله زیر محاسبه شد(Minasny and McBratney 2002) :

$$RI = \frac{RMSE_R - RMSE_S}{RMSE_R} \qquad (۱۲)$$

که در آن RI (بدون بعد) عملکرد نسبی مدل[1]، $RMSE_S$ خطای مدل مقیاس‌گذاری شده و $RMSE_R$ خطای نرم افزار ROSETTA است. از نرم افزار ROSETTA برای مقایسه عملکرد نسبی استفاده شد. این نرم افزار ورودی‌ها و خروجی‌های متنوعی دارد. با توجه به داده‌های در دسترس پایگاه UNSODA از مدل SSCBD نرم افزارROSETTA استفاده شد. ورودی این مدل شامل درصد ذرات شن، سیلت، رس و نیز جرم مخصوص ظاهری است. خروجی‌های مدل با توجه به نیاز کاربران قابل انتخاب بوده که در این پژوهش، پارامترهای مدل VG شامل n،mو α بود که به عنوان بخشی از ورودی‌های معادله (۹) استفاده شده سپس معادله (۹) بر اعداد حاصل از معادله (٦) و معادله (۷) (به ترتیبh_i، Θ_i) برازش داده شد. برای مقایسه مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده و برآورد شده از شاخص‌های آماریRMSE،R^2 و RI استفاده شد. همچنین برای نمونه خاک‌هایی که درصد ذرات شن، سیلت و رس آنها در دسترس نبود ازدرون‌یابی لگاریتمی استفاده شد.

پایگاه اطلاعات داده‌ایUNSODAدارای کلیه ویژگی‌های هیدرولیکی خاک‌های غیراشباع (منحنی رطوبتی، هدایت هیدرولیکی وضریب پخشیدگی آب در خاک)، ویژگی‌های پایه‌ای خاک (پراکنش اندازه‌ای ذرات خاک، جرم مخصوص ظاهری، ماده آلی و غیره)، اطلاعات تکمیلی درباره خاک‌ها و روش‌های آزمایشگاهی جمع‌آوری داده‌هاست (Nemes *et al.*, 2001).

نتایج و بحث

در جدول ۳ میانگین رطوبت حد اشباع و پارامترهای n، n^*، λ و α برای بافت‌های خاک رسی، لومی و شنی آورده شده است. میانگین رطوبت حد اشباع برای کلیه بافت‌ها ۰/٤۷۲ و بیشترین مقدار رطوبت حد اشباع در بافت لومی(۰/٥٥۱)مشاهده شد. بیشترین مقدار n و n^* به ترتیب ۳/۲۳۱ و ۲/٥۸٤ در بافت شنی مشاهده شد. مقدار میانگین پارامترλ، با استفاده از معادلات (۳ تا ٥) ۰/۷۱ محاسبه شد. با استفاده از برازش داده‌های پراکنش اندازه‌ای ذرات بر معادله (۱۰) مقدار میانگین هندسی پارامتر α، ۰/۰۱۲۸ (cm^{-1}) بدست آمد. میانگین پارامترهای

[1]Relative Improvement

هیدرولیکی مدل VG با استفاده از نرم‌افزار ROSETTA برای ۱۲ نمونه خاک انتخاب شده از UNSODA در جدول ٤ آمده است. در نرم‌افزار ROSETTA مقدار میانگین پارامترهای n، m و α به ترتیب ۲/۰٦، ۰/٤۱ و ۰/۰۱۸۱ (cm^{-1}) بدست آمد. براساس جدول ۵ در مدل مقیاس‌گذاری شده مقدار میانگین RMSE خاک‌های رسی، لومی و شنی به ترتیب ۰/۰۵۲، ۰/۰٦٤ و ۰/۰۰۹ بود همچنین مقدار پارامتر RMSE برای کلیه نمونه خاک‌های انتخاب شده ۰/۰٤۱ بود، نتایج نشان داد که مدل مقیاس‌گذاری شده در بافت‌های درشت عملکرد مناسبی دارد و این نتایج با مطالعه Meskini-Vishkaee و همکاران (۲۰۱٤) مطابقت می‌نماید. مقدار میانگین RMSE منحنی رطوبتی بدست آمده با نرم افزار ROSETTA برای ۱۲ نمونه خاکUNSODA ۰/۱۵۵ بود، بیشترین مقدار RMSEدر بافت رسی و کمترین مقدار آن در بافت شنی با استفاده از نرم افزار ROSETTA بدست آمد. مقایسه مقدار RMSE مدل مقیاس‌گذاری شده و نرم افزار ROSETTA از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار شد. بر حسب مقدار RMSE، نتایج مدل مقیاس‌گذاری شده و نرم افزار ROSETTA در بافت شنی مشابه بود و منحنی‌های رطوبتی برآورد شده با مدل مقیاس‌گذاری شده و نرم افزار ROSETTA در بافت شنی از سایر بافت‌ها دقیق‌تر بود. مقدار میانگین ضریب تعیین(R^2) بین رطوبت اندازه‌گیری شده و رطوبت برآورد شده در مدل مقیاس‌گذاری شده و نرم افزار ROSETTA برای نمونه‌های انتخاب شده، به ترتیب ۰/۹۵۷ و ۰/۹۲٦ بود، R^2در بافت شنی در هر دو مدل مقیاس‌گذاری شده (۰/۹۹۸) و نرم افزار ROSETTA (۰/۹۸۲) بیشتر از سایر بافت‌ها بود. مقایسه آماری نتایج نشان داد که مدل مقیاس‌گذاری شده نسبت به نرم افزار ROSETTA تفاوت معنی‌داری در برآورد منحنی رطوبتی دارد.

میانگین عملکرد نسبی (RI) مدل‌های استفاده شده برای کلیه نمونه‌ها ۰/۵۰۳ بود. عملکرد نسبی مدل‌ها برای خاکهای با بافت رسی، لومی و شنی به ترتیب ۰/۵٤، ۰/۲۹ و ۰/٦۸ بود. نتایج نشان داد که مدل مقیاس‌گذاری در بافت درشت عملکرد مطلوبی دارد. همچنین عملکرد مثبت مدل مقیاس‌گذاری شده نسبت به نرم افزار ROSETTA نشان داد که با وجود ورودی‌های یکسان در مدل مقیاس‌گذاری شده و نرم افزار ROSETTA در کلیه بافت‌ها، منحنی‌های رطوبتی برآورد شده توسط مدل مقیاس‌گذاری شده نسبت به نرم افزارROSETTA دقیق‌تر هستند.

جدول ۳. میانگین پارامترهای هیدرولیکی برازش یافته بر مدل مقیاس‌گذاری شده (نحراف معیار هریک از پارامترها در پرانتز آمده است.)

بافت خاک	تعداد خاک	مدل مقیاس‌گذاری شده				
		Θ_s (L^3L^{-3})	n* (-)	λ (-)	n (-)	α (L^{-1})
رس	۳	۰/۵۲٤ (۰/۰٦۵)	۰/۷۷۳ (۰/۱۲٤)	۰/٦٤۹ (۰/۰۷۰)	۱/۱۸۸ (۰/۰٦۲)	۰/۰۰٤۲ (۰/۰۰۳۳)
لوم	٦	۰/۵۵۱ (۰/۱۷٦)	۰/۹۰٤ (۰/۲۹۵)	۰/٦٦۸ (۰/۲۱۳)	۱/۳۵۰ (۰/۰٦٦)	۰/۰۲۵ (۰/۰۱٦)
شن	۳	۰/۳٤۲ (۰/۰۲۹)	۲/۵۸٤ (۰/٦۰۷)	۰/۸۱٤ (۰/۰۷۵)	۳/۲۳۱ (۱/۰۰۰)	۰/۰۲۰ (۰/۰۰٤)
میانگین	۱۲	۰/٤۷۲ (۰/۱۲)	۱/٤۲ (۰/٤۷۲)	۰/۷۱ (۰/۱۲)	۱/۹۵۲ (۰/۵٦)	۰/۰۱۲۸* (۰/۰۲٤)

*برای پارامتر α از میانگین هندسی استفاده شده است.

جدول ٤. میانگین پارامترهای هیدرولیکی خاک‌هایUNSODA با استفاده از نرم‌افزار ROSETTA
(انحراف معیار هر یک از پارامترها در پرانتز آورده شده است.)

بافت خاک	تعداد خاک	Θ_s^*	$\alpha(cm^{-1})$	n(-)	m(-)
رس	۳	۰/۵۲٤	۰/۰۱۷ (۰/۰۰۲۷)	۱/۳۱ (۰/۰۲۳)	۰/۲۳ (۰/۰۱٤)
لوم	٦	۰/۵۵۱	۰/۰۱۱ (۰/۰۰۳۹)	۱/٤۸ (۰/۰۷٤)	۰/۳۲ (۰/۰۳۵)
شن	۳	۰/۳٤۲	۰/۰۳۲ (۰/۰۰۱۳)	۳/٤ (۱/۰۷)	۰/٦۸ (۰/۱۲)
میانگین	۱۲	۰/٤۷۲	**۰/۰۱۸۱ (۰/۰۱٤)	۲/۰٦ (۰/٦٦)	۰/٤۱ (۰/۱۲۸)

* از مقدار رطوبت اشباع اندازه‌گیری شده استفاده شد.

** میانگین هندسی پارامتر α.

در شکل۱ منحنی رطوبتی برآورد شده و اندازه‌گیری شده با مدل پارامتریک مقیاس‌گذاری شده و نرم افزار ROSETTA برای بافت رسی آمده است. از بین ۳ نمونه خاک UNSODA انتخاب شده برای بافت رسی منحنی رطوبتی خاک شماره ٤۱۲۰ به عنوان نمونه ارائه شده است. در خاک رسی(شماره)٤۱۲۰ مدل پارامتریک مقیاس گذاری شده برآورد بهتری نسبت به نرم افزار ROSETTA نشان می‌دهد.

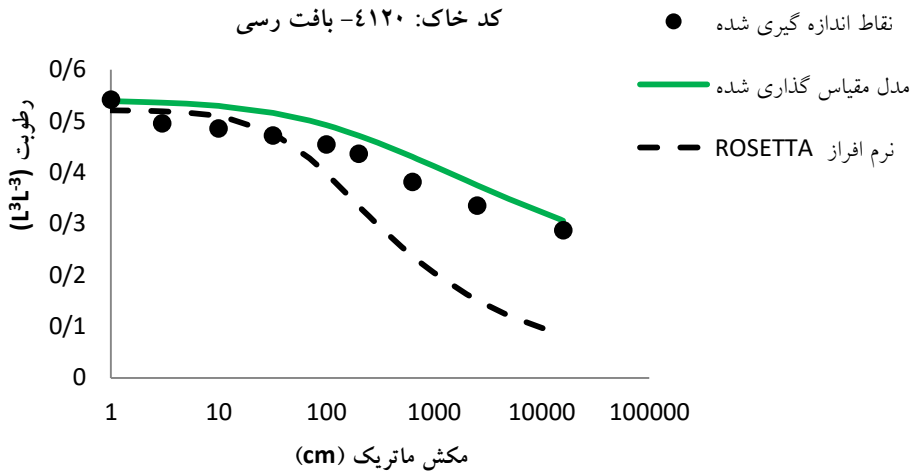
برآورد نرم افزار ROSETTA در بخش اصلی منحنی رطوبتی در خاک رسی(شماره ٤۱۲۰) از دقت کافی برخوردار نیست و نرم افزار ROSETTA مقدار رطوبت در مکش‌های بالا را نسبت به مقدار واقعی کمتر برآورد می‌کند.

جدول ۵. میانگین شاخص‌های آماریRMSE وR^2 مدل مقیاس‌گذاری شده و نرم افزار ROSETTA.
(انحراف معیار هر یک از پارامترها در پرانتزآمده است.)

بافت خاک	RMSE		R^2		RI value
	مدل مقیاس‌گذاری شده	نرم افزار ROSETTA	مدل مقیاس‌گذاری شده	نرم افزار ROSETTA	
رس	۰/۰۵۲ (۰/۰۳۵)	۰/۱۱۳ (۰/۰۱۱)	۰/۹٤۷ (۰/۱۰)	۰/۹۵۵ (۰/۱٦۹)	۰/۵٤
لوم	۰/۰٦٤ (۰/۰۷۱)	۰/۰۹۱ (۰/۰۹۹)	۰/۹۲٦ (۰/۲۰۲)	۰/۸٤۳ (۰/۱٤٦)	۰/۲۹
شن	۰/۰۰۹ (۰/۰۰۵)	۰/۰۲۹ (۰/۰۱۸٦)	۰/۹۹۸ (۰/۱٦٤)	۰/۹۸۲ (۰/۱۷۸)	۰/٦۸
میانگین	^{b}۰/۰٤۱ (۰/۰۳۲)	^{a}۰/۱۵۵ (۰/۰٦۰)	^{a}۰/۹۵۷ (۰/۱۸٦)	^{b}۰/۹۲٦ (۰/۱٦۲)	۰/۵۰۳

* مقایسه RMSE نرم افزار ROSETTA نسبت به مدل مقیاس‌گذاری شده.

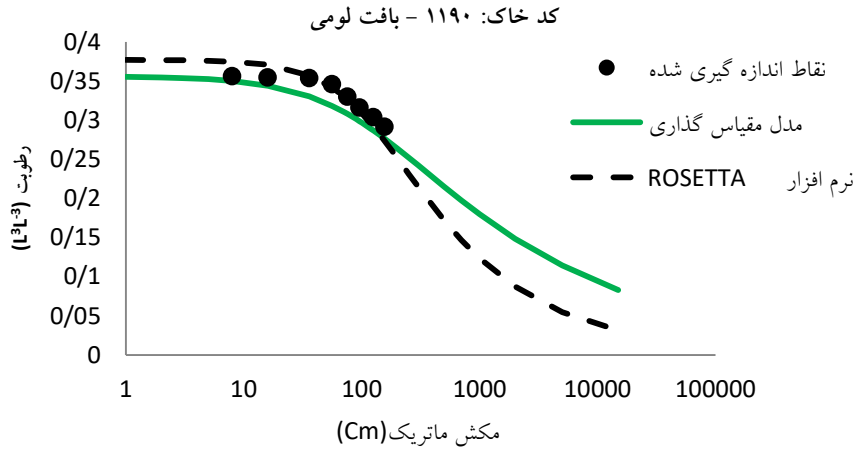
a, b نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ است.



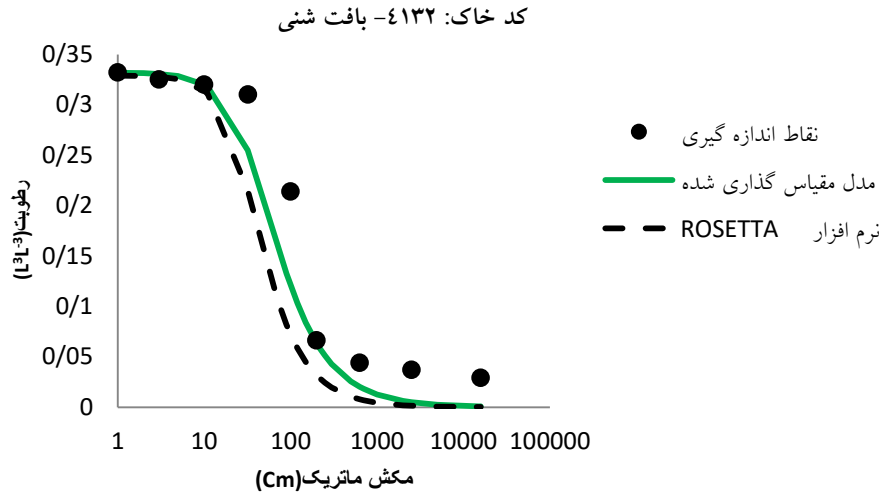
شکل ۱. منحنی رطوبتی برآورد شده با مدل‌های پارامتریک و نرم افزارROSETTA و نقاط اندازه‌گیری شده برای خاک رسی

در شکل۲ منحنی‌های رطوبتی خاک شماره ۱۱۹۰ از بین ٦ نمونه بافت لوم انتخاب شده برای مدل‌های پارامتریک مقیاس گذاری شده و نرم افزار ROSETTA آمده است. مدل‌های پارامتریک و نرم افزار ROSETTA برای بافت لوم عملکرد نسبتاً خوبی داشته‌اند. نرم افزار ROSETTAدر مکش‌های بالای منحنی رطوبتی مقدار رطوبت را کمتر از مدل پارامتریک مقیاس گذاری شده برآورد کرده است.

در شکل۳ منحنی‌های رطوبتی مدل‌های پارامتریک مقیاس گذاری شده و نرم افزار ROSETTA و نقاط اندازه‌گیری شده برای بافت شنی ارائه شده است. منحنی رطوبتی خاک شماره ٤١٣٢ از بین ۳ نمونه خاک انتخاب شده برای بافت شنی نشان می‌دهد که مدل‌های پارامتریک مقیاس گذاری شده و نرم افزار ROSETTA کارآیی بهتری در بافت‌های درشت دارند.



شکل۲. منحنی رطوبتی برآورد شده با مدل‌های پارامتریک و نرم افزار ROSETTAو نقاط اندازه‌گیری شده برای خاک لومی



شکل۳. منحنی رطوبتی برآورد شده با مدل‌های پارامتریک و نرم افزار ROSETTA و نقاط اندازه‌گیری شده برای خاک شنی

نتایج نشان داد که منحنی رطوبتی خاک را می‌توان با استفاده از داده‌های منحنی پراکنش اندازه‌ای ذرات خاک برآورد کرد. نتایج RMSE بدست آمده از مدل مقیاس‌گذاری شده از RMSE مطالعات Meskini-Vishkaee و همکاران (۲۰۱٤) و Mohammadi و Vanclooster (۲۰۱۱) کمتر بود. نتایج بدست آمده از نرم افزار ROSETTA تقریباً برابر با نتایج Meskini-Vishkaee و همکاران (۲۰۱٤) بوده است. مقایسه مدل مقیاس‌گذاری شده و عملکرد نرم افزار ROSETTA نشان می‌دهد که دقت منحنی رطوبتی حاصل نرم افزار ROSETTA با افزایش درصد ذرات ریز، کاهش می‌یابد.

در مدل MV-VG فرض شده است که صرفاً درصد ذرات شن، سیلت و رس خاک‌ها معین هستند. داده‌های کامل پراکنش اندازه‌ای ذرات معمولاً در دسترس نیستند درحالیکه درصد شن، سیلت و رس در اغلب آزمون‌های خاک اندازه‌گیری می‌شوند. اگرچه از درصد شن، سیلت و رس نیز برای برآورد منحنی رطوبتی در نرم افزار ROSETTA استفاده می‌شود لیکن نتایج مقایسه آماری مدل مقیاس‌گذاری شده نشان داد که این روش بهترین برازش را بر داده‌های تجربی دارد. به طور خلاصه، می‌توان مزایای استفاده مدل مقیاس‌گذاری شده را علاوه بر افزایش دقت منحنی رطوبتی برآورد شده شامل عملکرد مستقل این روش از داده آزمایشگاهی و عدم نیاز به پارامترهای تجربی معمول دانست. همچنین با استفاده از این روش می‌توان منحنی رطوبتی را پیوسته برآورد نمود. ضمن اینکه مدل مقیاس‌گذاری شده در مقایسه با نرم افزار ROSETTA برآورد منحنی رطوبتی، در مکش‌های بالا (رطوبت کم) و خشک شدن خاک عملکرد بهتری دارد. بنابراین می‌توان از این روش برای برنامه‌ریزی آبیاری استفاده نمود.

در مدل ارائه شده ذرات خاک کروی فرض شده‌اند که ساختمان خاک فقط بر جرم مخصوص ظاهری تأثیر می‌گذارد. در این روش از تأثیر ماده آلی، انرژی سطحی ذرات و حجم آب باقی مانده در خلل و فرج ریز بر منحنی رطوبتی صرف نظر شده است. (Mohammadi and Meskini-Vishkaee 2013, Mohammadi and Vanclooster 2011). بنابراین خطای مدل مقیاس‌گذاری شده در برآورد منحنی رطوبتی می‌تواند ناشی از فرضیات مدل MV-VG باشد. نتایج استفاده از مدل مقیاس‌گذاری

شده نشان داد که ۵۰/۳٪ دقت منحنی رطوبتی برآورد شده افزایش یافته است. علت انحراف مدل مقیاس‌گذاری شده را می‌توان به درصد بالای رس و میزان ماده آلی خاک‌ها ارتباط داد.

به دلیل در نظر گرفتن نظریه استوانه‌ای موئین متصل برای نمایش فضای خلل و فرج محیط خاک، مدل‌های منحنی رطوبتی از نقش سطح ذرات و لایه‌های محلول جذب شده به سطح ذرات در منحنی رطوبتی صرفنظر شده است (Tuller *et al.*, 1999). شواهد نظری و آزمایشگاهی گویای تفاوت اساسی در وضعیت محلول خاک در حالت خشک و مرطوب است (Dullien *et al.*, 1986 و Nitao and Bear, 1996).

مقایسه نتایج مطالعه حاضر با نتایج Mohammadi و Meskini-Vishkaee (۲۰۱۳) نشان می‌دهد که مدل تلفیق شده MV-VG در دامنه رطوبتی کم (مکش‌های بالا) مقدار رطوبت را کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده برآورد می‌کند زیرا از رطوبت باقی مانده صرف نظر شده است. صرف نظر از رطوبت باقی مانده به ویژه در مکش‌های بالا به دلیل واجذب ناقص آب پوشاننده ذرات خاک سبب ایجاد خطای برآورد می‌گردد. مدل‌های زیادی با استفاده از داده‌های پراکنش اندازه‌ای ذرات، منحنی رطوبتی خاک را برآورد می‌کنند. این مدل‌ها در خاک‌هایی با درصد رس و ماده آلی زیاد در محدوده‌ی رطوبتی کم، کم برآورد هستند. صرفنظر از میزان آب موجود در لایه‌های جذب سطحی شده‌ی محلول خاک، در قسمت خشک منحنی رطوبتی خطای قابل ملاحظه‌ای ایجاد می‌شود (Or and Tuller 1999). مطالعات متعددی نشان دادند که عملکرد مدل‌های منحنی رطوبتی در خاک‌های ریز بافت به سبب میزان ذرات ریز و جذب سطحی ذرات رس، کاهش می‌یابد (Schuh *et al.*, 1988 و Mohammadi and Vanclooster, 2011 و Hwang and Choi, 2006).

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه در اغلب مطالعات خاک‌شناسی درصد شن، سیلت و رس اندازه‌گیری می‌شود و در اکثر تحقیقات خاک‌شناسی این اطلاعات در دسترس هستند می‌توان با استفاده از مدل مقیاس‌گذاری شده با دقت بالا و به آسانی منحنی رطوبتی را تخمین زد. علاوه بر این در مدل مقیاس‌گذاری شده برای برآورد منحنی رطوبتی، مدل ارائه شده هیچ پارامتر تجربی ندارد و نیز به داده‌های آزمایشی وابسته نیست. این مزیت امکان تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک را، بدون در نظر گرفتن تغییرپذیری مکانی- زمانی خاک، فراهم می‌کند. همچنین روش مقیاس‌گذاری نشان داد که با استفاده از درصد ذرات شن، سیلت و رس می‌توان منحنی مشخصه آب خاک را با دقت برآورد کرد، به دلیل تغییرپذیری مکانی- زمانی نسبتاً ثابت درصد ذرات شن، سیلت و رس می‌توان از روش مقیاس‌گذاری در مقیاس‌های مطالعاتی بزرگ استفاده نمود.

فهرست منابع

بایرام، م. و بهمنی، ا. ۱۳۹۴. تأثیر نوع خاک و وضعیت تراکم بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۴ (۴): ۶۵-۷۸.

فولادوند، ح. و علاسوند، ع. ۱۳۹۴. برآورد منحنی مشخصه آب خاک برمبنای مدل ساده تک پارامتری. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۵ (۱): ۳۱-۳۹.

Antinoro, C., Bagarello, V., Ferro, V., Giordano, G. and Iovino, M. 2014. A simplified approach to estimate water retention for sicilian soils by the arya–paris model. Geoderma, 213: 226-234.

Arya, L. M., Bowman, D. C., Thapa, B. B. and Cassel, D. K. 2008. Scaling soil water characteristics of golf course and athletic field sands from particle-size distribution. Soil Science Society of America Journal, 72: 25-32.

Arya, L. M., Leij, F. J., Shouse, P. J. and van Genuchten, M. Th. 1999. Relationship between the hydraulic conductivity function and the particle-size distribution. Soil Science Society of America Journal, 63: 1063-1070.

Arya, L. M.and Paris, J. F. 1981. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. Soil Science Society of America Journal, 45: 1023-1030.

Chan, T. and Govindaraju, R. 2004. Estimating soil water retention curve from particle-size distribution data based on polydisperse sphere systems. Vadose Zone Journal, 3: 1443-1454.

Dullien, F., Lai, F. S. and Macdonald, I. 1986. Hydraulic continuity of residual wetting phase in porous media. Journal of colloid and interface science, 109: 201-218.

Ghanbarian-Alavijeh, B., Liaghat, A., Huang, G. H. and Van Genuchten M. Th. 2010. Estimation of the van genuchten soil water retention properties from soil textural data. Pedosphere, 20: 456-465.

Ghanbarian-Alavijeh, B. and Hunt, A. G. 2012. Unsaturated hydraulic conductivity in porous media: Percolation theory. Geoderma, 187: 77-84.

Haverkamp, R., Leij, F. J., Fuentes, C., Sciortino, A. and Ross, P. 2005. Soil water retention. Soil Science Society of America Journal, 69: 1881-1890.

Haverkamp, R. t. and Parlange, J-Y. 1986. Predicting the water-retention curve from particle-size distribution: Sandy soils without organic matter1. Soil Science, 142: 325-339.

Hartemink, A. E. and McBratney, A. 2008. A soil science renaissance. Geoderma, 148: 123-129.

Hui, M.H. and Blunt, M. J. 2000. Effects of wettability on three-phase flow in porous media. The Journal of Physical Chemistry B, 104: 3833-3845.

Hunt, A. G., Ghanbarian, B. and Saville K C. 2013. Unsaturated hydraulic conductivity modeling for porous media with two fractal regimes. Geoderma, 207: 268-278.

Hwang, S. I. and Choi, S. I. 2006. Use of a lognormal distribution model for estimating soil water retention curves from particle-size distribution data. Journal of Hydrology, 323: 325-334.

Hwang, S. I. and Powers, S. E. 2003. Lognormal distribution model for estimating soil water retention curves for sandy soils. Soil science, 168: 156-166.

Meskini-Vishkaee, F., Mohammadi, M. H. and Vanclooster, M. 2014. Predicting the soil moisture retention curve, from soil particle size distribution and bulk density data using a packing density scaling factor. Hydrology and Earth System Sciences, 18: 4053-4063.

Millan, H. and González-Posada, M. 2005. Modelling soil water retention scaling. Comparison of a classical fractal model with a piecewise approach. Geoderma, 125: 25-38.

Millan, H., Gonzalez-Posada, M., Aguilar, M., Domınguez, J. and Cespedes, L. 2003. On the fractal scaling of soil data. Particle-size distributions. Geoderma, 71: 117-128.

Minasny, B. and McBratney, A. B. 2002. Neural networks package for fitting–pedotransfer functions. Technical note, Australian Centre for Precision Agriculture, 18: 42-53.

Mohammadi, M. and Meskini-Vishkaee, F. 2013. Predicting soil moisture characteristic curves from continuous particle-size distribution data. Pedosphere, 23: 70-80.

Mohammadi, M. H. and Vanclooster M. 2011. Predicting the soil moisture characteristic curve from particle size distribution with a simple conceptual model. Vadose Zone Journal. 10: 594-602.

Mualem, Y. 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resoure Research, 12: 513-522.

Nemes, A., Schaap, M., Leij, F. and Wösten, J. 2001. Description of the unsaturated soil hydraulic database unsoda version 2.0. Journal of Hydrology, 251: 151-162.

Nitao, J. J. and Bear, J. 1996. Potentials and their role in transport in porous media. Water Resources Research, 32: 225-250.

Or, D. and Tuller M. 1999. Liquid retention and interfacial area in variably saturated porous media: Upscaling from single-pore to sample-scale model. Water Resources Research, 35: 3591-3605.

Perfect, E. 2005. Modeling the primary drainage curve of prefractal porous media. Vadose Zone Journal, 4: 959-966.

Schaap, M. G. 2005. Models for indirect estimation of soil hydraulic properties. Encyclopedia of Hydrological Sciences, 24: 114-125.

Schaap, M. G., Leij, F. J. and van Genuchten, M. Th. 2001. Rosetta: A computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. Journal of hydrology, 251: 163-176.

Schuh, W., Cline, R. and Sweeney, M. 1988. Comparison of a laboratory procedure and a textural model for predicting in situ soil water retention. Soil Science Society of America Journal, 52: 1218-1227.

Tuli, A., Kosugi. K. and Hopmans, J. 2001. Simultaneous scaling of soil water retention and unsaturated hydraulic conductivity functions assuming lognormal pore-size distribution. Advances in Water Resources, 24: 677-688.

Tuller, M., Or, D. and Dudley, L. M. 1999. Adsorption and capillary condensation in porous media: Liquid retention and interfacial configurations in angular pores. Water Resources Research, 35: 1949-1964.

Weynants, M., Vereecken, H. and Javaux, M. 2009. Revisiting vereeckenpedotransfer functions: Introducing a closed-form hydraulic model. Vadose Zone Journal, 8: 86-95.

Wösten, J., Lilly, A., Nemes, A. and Le Bas, C. 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of european soils. Geoderma, 90: 169-185.

Wosten, J., Verzandvoort, S., Leenaars, J., Hoogland, T. and Wesseling, J. 2013.Soil hydraulic information for river basin studies in semi-arid regions. Geoderma, 195: 79-86

Zhuang, J., Jin, Y. and Miyazaki, T. 2001. Estimating water retention characteristic from soil particle-size distribution using a non-similar media concept. Soil Science. 166: 308-321.

ISSN 2251-7480

Estimating soil moisture characteristics curve using parametric scaled model

Samaneh Amanabadi[1], Mohamad hossein Mohammadi[2*] and Mohamad hassan Masihabadi[3]

1) Ph.D., Department of soil science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2[*])Associate Professor ,Department of soil science, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, University of Tehran, Alborz, Iran
[*]Corresponding author email: mohammadi@znu.ac.ir
3) Assistant Professor, Department of soil science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 23-01-2016 Accepted: 21-04-2016

Abstract

Direct measurement of soil moisture characteristics curve (SMC) due to spatial and temporal variation is labor and expensive. Therefore, estimation of SMC from basic soil properties which can be measured easily would be satisfactory. In this study, a dataset containing 50 particle size distributions (PSD) data of UNSODA were selected to verify parametric and nonparametric (ROSETTA model). Results indicated that SMC is easily predictable by means of PSD curve and parametric models could predict SMC more accurate than ROSETTA software. In order to determine the effect of the number of model input in prediction of SMC two methods were used, full PSD method using at least 4 mass particle frequencies, semi PSD method using sand, silt and clay percentages as a model input. Statistical analysis revealed that semi PSD method is the best fitted model to experimental data. The semi PSD method predicted SMC more accurately in comparison with other methods as a result of data independency. The predicted SMC is continuous and more reliable in drying. So the semi PSD method could be used in irrigation programming. Since, sand, silt and clay percentages are easily available soil properties and their spatial-temporal variability are approximately constant, our method can be used as an alternative to predict SMC in large scale studies.

Keywords: parametric model, particle size distribution, soil moisture characteristics curve