

## مقیاس سازی منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از مفهوم محیط‌های نامتشابه

سجاد زرین فر\*<sup>۱</sup> - کامران داوری<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۱

تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۲۷

### چکیده

منحنی مشخصه آب خاک یکی از خصوصیات مهم خاک است که در مسائل مربوط به حرکت آب در خاک در حالت غیر اشباع کاربرد فراوانی دارد. این منحنی با توجه به بافت و ساختمان خاک تغییر کرده و در مورد یک بافت خاک ثابت تحت تأثیر عواملی که ساختمان خاک را تغییر می‌دهند تغییر می‌کند. مقیاس‌سازی روشی است که خصوصیات خاک‌های مختلف را با استفاده از فاکتور مقیاس به یکدیگر مرتبط می‌کند. در این پژوهش با استفاده از مفهوم محیط‌های نامتشابه، روشی برای مقیاس‌سازی منحنی مشخصه آب خاک‌هایی با بافت یکسان و جرم مخصوص ظاهری متفاوت ارائه شده است که با استفاده از آن می‌توان منحنی مشخصه آب خاک را با استفاده از منحنی مشخصه آب خاکی با بافت مشابه و جرم مخصوص متفاوت پیش‌بینی کرد. جهت ارزیابی این روش از منحنی مشخصه آب خاک برای شش بافت خاک مختلف تحت شرایط ساختمانی مختلف استفاده شد. با استفاده از روش ارائه شده، برای هر بافت خاک منحنی مشخصه آب خاک مرجع با استفاده از این منحنی تحت جرم مخصوص ظاهری‌های مختلف پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که در محدوده مکش‌های کم روش پیشنهادی پیش‌بینی قابل قبولی ارائه می‌دهد و در محدوده مکش‌های بالا پیش‌بینی با استفاده از این روش توأم با خطا می‌باشد. همچنین این روش در دامنه وسیعی از مقادیر جرم مخصوص ظاهری پیش‌بینی مناسبی ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: جرم مخصوص ظاهری، فاکتور شکل، فاکتور مقیاس، منحنی مشخصه آب خاک

### مقدمه

مخصوص ظاهری نقش دارند (۹). آسولین و همکاران (۴) نشان دادند که تفاوت در پتانسیل ماتریک اولیه، PH خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، مواد آلی و ضخامت ذرات رس بر روی نحوه تراکم خاک تأثیر می‌گذارند. با توجه به عوامل ذکر شده ساختمان یک خاک زراعی مرتباً تغییر می‌کند و با تغییر ساختمان خاک، منحنی مشخصه آب خاک نیز تغییر خواهد کرد و لذا این منحنی مجدداً باید تعیین شود که اندازه‌گیری متوالی این منحنی صرف وقت و هزینه زیادی در پی خواهد داشت.

معلم و آسولین (۱۰) تغییرات پارامترهای مدل بروکس و کوری بر اساس تغییر جرم مخصوص ظاهری را بررسی کردند. آنها نشان دادند که تغییر پارامترهای مدل بروکس و کوری را می‌توان بر مبنای جرم مخصوص ظاهری بیان کرد. ژانگ و همکاران (۲۰) تأثیر ۳ سطح مختلف تراکم را بر روی خصوصیات هیدرولیکی دو نمونه خاک لوم سیلتی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که تراکم خاک به شدت خصوصیات هیدرولیکی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین تأثیر تراکم تنها در مکش‌های کمتر از ۱ بار برجسته بود. میازاکی (۹)

منحنی مشخصه آب خاک نشان دهنده پتانسیل ماتریک خاک در مقادیر مختلف رطوبت حجمی می‌باشد. آگاهی از این منحنی در شبیه‌سازی جریان آب در خاک در حالت غیر اشباع با استفاده از معادله ریچاردز مورد نیاز می‌باشد. اندازه‌گیری مستقیم منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و یا مزرعه‌ای مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد می‌باشد؛ از این‌رو روش‌های غیرمستقیم برای پیش‌بینی این منحنی گسترش یافته‌اند (۱۲، ۱۶، ۱۸ و ۱۹).

منحنی مشخصه آب خاک در دامنه مکش بین صفر تا ۱ بار به شدت تحت تأثیر ساختمان خاک و توزیع اندازه منافذ آن است (۱۷). در مکش‌های زیاد (۱ تا ۱۵ بار) منحنی مشخصه آب خاک بیشتر تحت تأثیر بافت خاک و سطح ویژه می‌باشد (۶). عوامل طبیعی و مصنوعی متفاوتی از جمله خشک شدن خاک، زهکشی، نفوذ آب به خاک، عبور ماشین آلات و شخم در تغییر حجم خاک و در نتیجه جرم

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه

فردوسی مشهد

(\*- نویسنده مسئول: Email: sajjad\_zarrinfar@yahoo.com)

حجم و جرم کل این خاک به ترتیب از روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌شود:

$$V = N(S + d)^3 \quad (1)$$

$$M = N\tau\rho_s S^3 \quad (2)$$

که در این روابط  $\rho_s$  چگالی حقیقی ذرات خاک و  $\tau$  فاکتور شکل فاز جامد است که برابر نسبت حجم واقعی ذرات خاک به  $S^3$  می‌باشد. در

مورد ذرات مکعبی این فاکتور برابر یک و برای ذرات کروی برابر  $\frac{\pi}{6}$  می‌باشد. بیشترین مقدار ممکن برای فاکتور شکل یک و کمترین

مقدار ممکن  $\frac{\rho_b}{\rho_s}$  می‌باشد. میازاکی (۹) به صورت تجربی نشان داد

که بهترین مقدار فاکتور شکل فاز جامد در مورد خاک‌های شنی برابر یک و در مورد خاک‌های خاکدانه‌ای مانند خاک‌های رسی و

خاکسترهای آتشفشانی برابر  $\frac{\rho_b}{\rho_s}$  می‌باشد.

جرم مخصوص ظاهری خاک با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\rho_b = \frac{M}{V} = \tau\rho_s \left( \frac{S}{S + d} \right)^3 \quad (3)$$

طبق رابطه موئینگی، مکش آب خاک متناظر با هر منفذ با اندازه آن منفذ نسبت عکس دارد؛ بنابراین مکش ورود هوا با اندازه بزرگ‌ترین منفذ نسبت عکس دارد. چنانچه ساختمان خاک تغییر کرده و طول مشخصه اندازه منافذ از  $d$  به  $d'$  تغییر یابد مکش ورود هوا از  $h_e$  به  $h'_e$  تبدیل خواهد شد.

با جایگذاری مقدار  $d$  و  $d'$  از معادله ۳ مقدار فاکتور مقیاس مکش ورود هوا به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\alpha_h = \frac{h'_e}{h_e} = \frac{d}{d'} = \frac{\left( \tau \frac{\rho_s}{\rho_b} \right)^{\frac{1}{3}} - 1}{\left( \tau \frac{\rho_s}{\rho'_b} \right)^{\frac{1}{3}} - 1} \quad (4)$$

## مواد و روش‌ها

### روش پیشنهادی برای مقیاس‌سازی منحنی‌های مشخصه آب خاک برای خاک‌های نامتشابه

یک خاک طبیعی از مجموعه‌ای از ذرات با اندازه‌های مختلف تشکیل شده است. چنانچه جرم مخصوص ظاهری خاکی با اندازه ذرات مختلف از  $\rho_b$  به  $\rho'_b$  تغییر یابد هر نقطه از منحنی مشخصه آب خاک مانند  $(\theta, h)$  به نقطه‌ای متناظر در منحنی مشخصه آب خاک جدید مانند  $(\theta', h')$  تبدیل خواهد شد.

مدلی را بر اساس مفهوم محیط نامتشابه<sup>۱</sup> (NSMC) ارائه داد که مکش ورود هوا و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را به خوبی با جرم مخصوص ظاهری مرتبط کرد.

مقیاس‌سازی روشی کارآمد برای تشریح تغییرات مکانی خصوصیات هیدرولیکی خاک در مزرعه مانند پتانسیل ماتریک و هدایت هیدرولیکی غیر اشباع می‌باشد. با استفاده از مقیاس‌سازی، توابع هیدرولیکی خاک‌های مختلف می‌توانند با نسبت‌هایی از یک طول مشخصه فیزیکی، تحت عنوان فاکتور مقیاس، بر روی یک منحنی مرجع واقع شوند؛ به صورت مشابه می‌توان با تعریف فاکتور مقیاس مناسب، توابع هیدرولیکی خاک‌های مختلف را با استفاده از توابع هیدرولیکی خاک مرجع تعیین کرد (۱ و ۷).

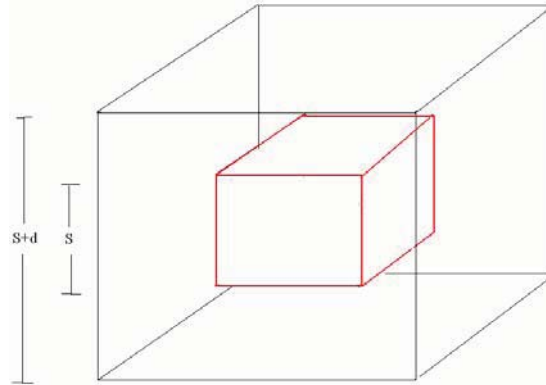
ژوانگ و همکاران (۲۱) هشت مدل مقیاس‌سازی هدایت هیدرولیکی اشباع را با یکدیگر مقایسه کردند. آنها نتیجه گرفتند که مدل NSMC بهترین کارایی را در بین سایر مدل‌ها دارد. ژوانگ و همکاران (۲۳) با ترکیب مفهوم محیط نامتشابه و مدل یک پارامتری بروکس و کوری مدل جدیدی برای پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی غیراشباع ارائه دادند. ژوانگ و همکاران (۲۲) با استفاده از مفهوم NSMC روشی را برای استخراج منحنی مشخصه آب خاک از منحنی توزیع اندازه ذرات و جرم مخصوص ظاهری ارائه دادند. تحقیقات ناکانو و میازاکی (۱۱) نشان داد که مدل NSMC در پیش‌بینی وابستگی بین هدایت هیدرولیکی اشباع و جرم مخصوص ظاهری در مورد خاک‌های زیرسطحی موفق است، ولی در مورد خاک‌هایی که تحت تأثیر شخم هستند این وابستگی وجود ندارد.

این پژوهش با هدف پیش‌بینی منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از منحنی مشخصه آب خاکی با بافت مشابه و جرم مخصوص ظاهری متفاوت انجام گرفت. در این تحقیق از مفهوم مقیاس‌سازی، که پیشتر توسط میلر و میلر (۸) برای محیط‌های متشابه با موفقیت به کار رفت، استفاده شد. برای تخمین تغییرپذیری منحنی‌های مشخصه در اثر تغییر ساختمان خاک، روش مقیاس‌سازی برای محیط‌های نامتشابه (میازاکی) بسط داده شد.

## مبانی نظری

میازاکی (۹) تئوری محیط‌های نامتشابه را مطرح کرد. محیط‌های نامتشابه محیط‌هایی هستند که دارای اندازه ذرات یکسان و اندازه منافذ غیر یکسان هستند. میازاکی (۹) یک جزء خاک را به صورت شکل ۱ در نظر گرفت که  $S$  طول مشخصه فاز جامد و  $d$  طول مشخصه منفذ است.

یک خاک ایده‌آل از  $N$  ذره با اندازه یکسان تشکیل شده است؛ لذا



شکل ۱- شمایی از یک جزء خاک شامل یک ذره با طول مشخصه S و منفذ با طول مشخصه d

$$\theta' = \frac{\rho_s - \rho'_b}{\rho_s} \frac{\sum_{i=1}^n S_i^3}{\sum_{i=1}^k S_i^3} \quad (8)$$

با تقسیم رابطه ۸ بر رابطه ۷ مقدار فاکتور مقیاس رطوبت حجمی به دست می آید:

$$\alpha_\theta = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\rho_s - \rho'_b}{\rho_s - \rho_b} \quad (9)$$

همان طور که ملاحظه می شود با فرضیات اعمال شده مقادیر d و S که غیر قابل اندازه گیری می باشند از فاکتور مقیاس مکش و فاکتور مقیاس رطوبت حذف شدند.

### ارزیابی روش پیشنهادی

به منظور تعیین منحنی مشخصه آب خاک در آزمایشگاه از دستگاه ساتریفوژ استفاده گردید. با استفاده از این دستگاه مکش های مختلفی به نمونه هایی که بافت خاک یکسان و جرم مخصوص ظاهری متفاوت داشتند اعمال شد و رطوبت حجمی معادل هر مکش اندازه گیری گردید.

علاوه بر این، با استفاده از مدل Rosetta نیز منحنی های مشخصه آب برای خاک هایی با بافت یکسان و جرم مخصوص ظاهری متفاوت پیش بینی شد. این مدل از آنالیز شبکه عصبی مصنوعی برای پیش بینی پارامترهای هیدرولیکی استفاده می کند (۱۳). به منظور کالیبراسیون مدل از منحنی مشخصه آب خاک ۲۱۳۴ نمونه خاک استفاده شده است (۱۴). ۵ حالت مختلف به عنوان متغیر مستقل ورودی در این مدل وجود دارد (۱۳). در این پژوهش از درصد شن، سیلت، رس و جرم مخصوص ظاهری به عنوان متغیر مستقل ورودی استفاده شد. با استفاده از مدل Rosetta برای ۵ بافت خاک مختلف تحت شرایط ساختمانی متفاوت منحنی مشخصه آب خاک پیش بینی

با این فرض که اجزایی از خاک که S یکسان دارند دارای مقدار d برابر باشند و از طرفی با تغییر جرم مخصوص ظاهری خاک اندازه تمامی منافذ به یک نسبت تغییر کند می توان رابطه ۴ را در مورد هر مکش دلخواه تعمیم داد؛ چرا که هر مکش در منحنی مشخصه آب خاک تنها متناظر با اندازه بزرگترین منفذی است که رطوبت آن در حال تخلیه شدن می باشد و فرض بر این است که تمامی منافذ با این اندازه به یک نسبت تغییر می کنند. لذا فاکتور مقیاس در مورد مکش مطابق رابطه زیر تعیین می شود:

$$\alpha_h = \frac{h'}{h} = \frac{\left(\tau \frac{\rho_s}{\rho_b}\right)^{\frac{1}{3}} - 1}{\left(\tau \frac{\rho_s}{\rho_b}\right)^{\frac{1}{3}} - 1} \quad (5)$$

مقدار رطوبت حجمی در هر مکش خاص برابر حجم منافذ اشباع از آب به کل حجم خاک می باشد. لذا مقدار رطوبت حجمی متناظر با هر مکش با استفاده از معادله زیر بیان می شود:

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n [(S_i + d_i)^3 - \tau_i S_i^3]}{\sum_{i=1}^k (S_i + d_i)^3} \quad (6)$$

که در این رابطه n تعداد اجزای خاک با منافذ اشباع از آب و k تعداد کل اجزای تشکیل دهنده خاک می باشد.

با جایگذاری مقدار d از رابطه ۳ در رابطه ۶ و با در نظر گرفتن فرضیات ذکر شده رابطه زیر به دست می آید:

$$\theta = \frac{\rho_s - \rho_b}{\rho_s} \frac{\sum_{i=1}^n S_i^3}{\sum_{i=1}^k S_i^3} \quad (7)$$

مقدار  $\theta'$  نیز به صورت مشابه قابل محاسبه است:

شکل کوچکتری نسبت به ذرات شن و سیلت دارند. با افزایش مقدار رس نقش این ذرات در منحنی مشخصه آب خاک افزایش می‌یابد و بهترین مقدار برای فاکتور شکل کاهش می‌یابد. با توجه به جدول ۱ ملاحظه می‌شود که مدل ارائه شده در دامنه وسیعی از مقادیر مختلف

$$\tau \geq \frac{\rho_b}{\rho_s}$$

می‌باشد، کم بودن مقدار فاکتور شکل مناسب باعث محدودیت در استفاده از روش پیشنهادی در مقادیر جرم مخصوص ظاهری زیاد می‌شود؛ لذا در مورد خاک رس و رس شنی دامنه جرم مخصوص ظاهری مورد مطالعه به ۱/۸ و در مورد خاک خاک لوم رسی به ۱/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب محدود شده است. در خاک‌های کشاورزی معمولاً جرم مخصوص ظاهری خاک از این مقادیر فراتر نمی‌رود و لذا در امور زراعی این محدودیت در جرم مخصوص ظاهری خللی در استفاده از این روش ایجاد نمی‌کند. در مورد خاک شن لومی و سیلت محدودیتی در استفاده از مدل در مقادیر جرم مخصوص ظاهری بالا وجود ندارد.

منحنی مشخصه آب خاک نمونه‌های ذکر شده تحت مقادیر مختلف جرم مخصوص ظاهری، به دست آمده از مدل Rosetta، در سمت چپ شکل ۲ نشان داده شده است. نمودارهای سمت راست شکل ۲ نیز بیانگر منحنی مشخصه آب خاک پیش‌بینی شده برای بافت خاک ذکر شده، تحت جرم مخصوص ظاهری ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. شکل ۳ نیز بیانگر مقادیر اندازه‌گیری شده مکش در برابر رطوبت حجمی برای نمونه خاک لومی (سمت چپ) و مقادیر مقیاس‌شده این نقاط (سمت راست) می‌باشد. نمونه خاک با جرم مخصوص ظاهری ۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب به عنوان مرجع در نظر گرفته شد.

مقادیر شاخص‌های آماری  $RMSE_s$ ،  $RMSE_{II}$  و SE در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود که روابط ارائه شده در مجموع پیش‌بینی‌های قابل قبولی را در مورد بافت‌های مختلف خاک ارائه می‌دهد.

همانطور که در شکل‌های ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود منحنی‌های مشخصه آب خاک در مکش‌های کم، تا حدود ۱۰۰۰ سانتی‌متر، به خوبی مقیاس شده‌اند؛ ولی در مکش‌های زیاد پیش‌بینی با استفاده از روابط ذکر شده توأم با خطا می‌باشد. دلیل خطا در مکش‌های زیاد فرضیات اعمال شده برای رسیدن به روابط ۵ و ۹ می‌باشد. یکی از این فرضیات ثابت بودن فاکتور شکل در مورد تمامی ذرات خاک می‌باشد؛

شد. سپس با استفاده از روابط ۵ و ۹ برای هر بافت خاک منحنی مشخصه آب خاک مرجع، با جرم مخصوص ظاهری ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، با استفاده از این منحنی تحت جرم مخصوص ظاهری‌های متفاوت پیش‌بینی شد. در مورد نمونه‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه منحنی مرجع یکی از منحنی‌های اندازه‌گیری شده در نظر گرفته شد. بهترین مقدار فاکتور شکل نیز با سعی و خطا تعیین گردید.

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی پارامتر ریشه میانگین مربع خطا به عنوان شاخص خطا برای منحنی‌های مقیاس شده و مقیاس نشده به صورت زیر به کار رفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\theta_i - \hat{\theta}_i)^2}{N}} \quad (10)$$

که در این رابطه  $\theta_i$  مقدار رطوبت در مکش مشخص در منحنی مرجع،  $\hat{\theta}_i$  رطوبت پیش‌بینی شده در همان مکش و N تعداد نقاط مورد استفاده در پیش‌بینی منحنی مشخصه آب خاک می‌باشد.

همچنین به منظور بررسی عملکرد مقیاس‌سازی از پارامتر بدون بعد راندمان مقیاس‌سازی استفاده گردید. این پارامتر به صورت زیر تعریف می‌شود (۲):

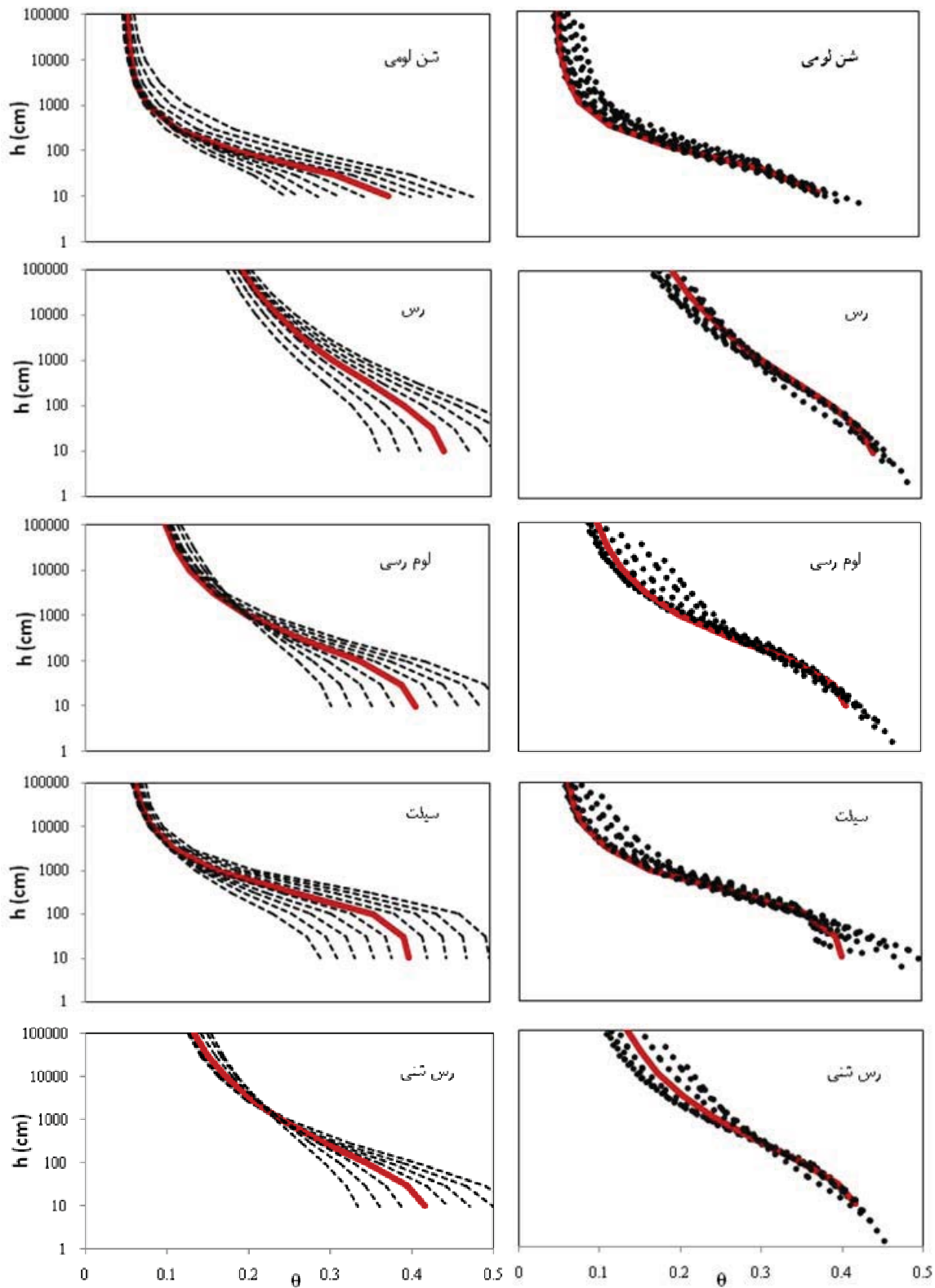
$$SE = \left(1 - \frac{RMSE_s}{RMSE_{II}}\right) \times 100 \quad (11)$$

که  $RMSE_s$  و  $RMSE_{II}$  به ترتیب بیانگر  $RMSE$  داده‌ها قبل و بعد از مقیاس‌سازی می‌باشد. با نزدیک‌تر شدن منحنی‌های مقیاس شده به یکدیگر مقدار  $RMSE_s$  کاهش می‌یابد. بالا بودن مقدار SE بیانگر نزدیک بودن منحنی‌های مقیاس شده به یکدیگر نسبت به منحنی‌های مقیاس نشده می‌باشد. به عبارتی این شاخص بیانگر این است که روش ارائه شده تا چه حد می‌تواند منحنی‌های مربوط به جرم مخصوص ظاهری‌های مختلف را به یکدیگر نزدیک کند.

## نتایج و بحث

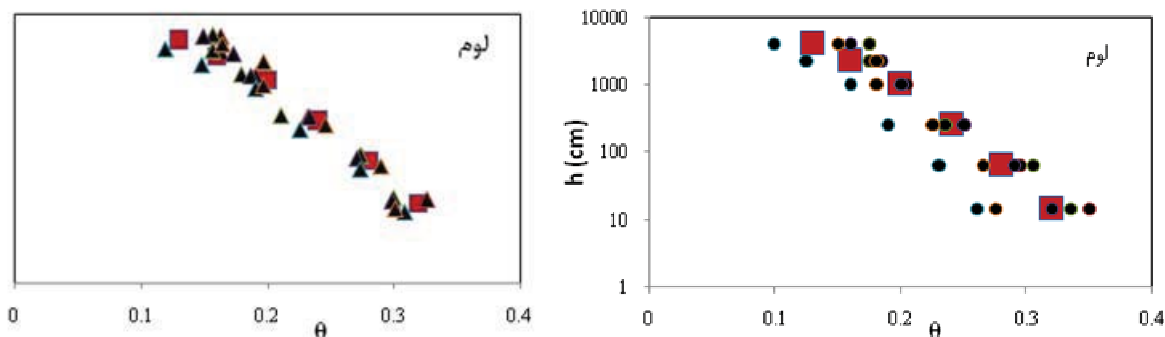
جدول ۱ نشان دهنده خصوصیات خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش می‌باشد. این نمونه‌ها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که طیف وسیعی از خاک‌ها را در بر گیرد.

مناسب‌ترین مقدار برای فاکتور شکل در مورد خاک‌های شن لومی و سیلت، یک می‌باشد. با افزایش مقدار رس، مقدار مناسب فاکتور شکل کم می‌شود. ساختار صفحه‌ای شبکه‌های کریستالی رسی نشان‌دهنده شکل صفحه‌ای ذرات رس است (۵)؛ لذا ذرات رس فاکتور



شکل ۲- منحنی مشخصه آب خاک نمونه‌های به‌دست آمده از Rosetta (سمت چپ) و منحنی‌های مقیاس شده (سمت راست)؛

(—) منحنی مرجع، (---) منحنی تحت جرم مخصوص ظاهری‌های مختلف، (.....) منحنی‌های مقیاس شده



شکل ۳- منحنی‌های مشخصه آب خاک اندازه‌گیری شده (سمت چپ) و منحنی‌های مقیاس شده (سمت راست)؛ خاک مرجع، (●) خاک تحت جرم مخصوص ظاهری‌های مختلف و (▲) نقاط مقیاس شده

جدول ۱- خصوصیات خاک‌های مورد مطالعه

فاکتور شکل	دامنه جرم مخصوص ظاهری مورد مطالعه (gr/cm <sup>3</sup> )	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک
۱	۱/۱ - ۲	۱۰	۱۰	۸۰	شن لومی <sup>(*)</sup>
۰/۷	۱/۱ - ۱/۸	۸۰	۱۰	۱۰	رس <sup>(*)</sup>
۰/۷۵	۱/۱ - ۱/۹	۳۳	۳۳	۳۴	لوم رسی <sup>(*)</sup>
۱	۱/۱ - ۲	۱۰	۸۰	۱۰	سیلت <sup>(*)</sup>
۰/۷	۱/۱ - ۱/۸	۴۰	۱۰	۵۰	رس شنی <sup>(*)</sup>
۰/۹	۱/۱۲ - ۱/۶	۱۵	۳۹	۴۶	لوم <sup>(**)</sup>

\*: نمونه‌هایی که منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از مدل Rosetta پیش‌بینی شده است.  
 \*\*: نمونه‌ای که منحنی مشخصه آب خاک در آن با استفاده از آزمایش تعیین شده است.

جدول ۲- شاخص‌های آماری

لوم	رس شنی	سیلت	لوم رسی	رس	شن لومی	بافت خاک
۰/۰۲۸۴	۰/۰۳۴۹	۰/۰۴۸۴	۰/۰۳۷۰	۰/۰۴۳۵	۰/۰۴۰۴	RMSE <sub>u</sub> <sup>*</sup>
۰/۰۱۵۱	۰/۰۱۹۴	۰/۰۲۳۸	۰/۰۲۳۴	۰/۰۲۷۲	۰/۰۱۸۹	RMSE <sub>s</sub> <sup>*</sup>
۴۶/۸۹	۴۴/۴۸	۵۰/۸۵	۳۶/۶۵	۳۷/۳۴	۵۳/۱۴	SE

\*: مقادیر این شاخص‌ها بر حسب نسبت حجمی رطوبت بیان شده است.

سانتی‌متر مقادیر شاخص‌های آماری RMSE<sub>u</sub>, RMSE<sub>s</sub> و SE در این محدوده مکش محاسبه شد. جدول ۳ نشان‌دهنده مقادیر این شاخص‌ها در مورد بافت‌های مختلف خاک می‌باشد. از آنجاییکه با افزایش مکش منحنی مشخصه آب خاک‌های با جرم مخصوص ظاهری متفاوت به یکدیگر نزدیک می‌شوند لذا مقدار RMSE<sub>u</sub> در بازه مکش‌های پایین از مقدار این شاخص در مورد کل مکش‌ها بیشتر می‌باشد. با توجه به شکل‌های ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود که در محدوده مکش‌های بالا منحنی‌های مشخصه آب خاک تحت جرم مخصوص ظاهری مختلف به یکدیگر نزدیک می‌شوند؛ درحالیکه منحنی‌های مقیاس شده از یکدیگر فاصله می‌گیرند. لذا خطای روش در مکش‌های بالا باعث کاهش راندمان مقیاس‌سازی شده است و

در صورتی که ذرات ریزبافت به دلیل شکل صفحه‌ای فاکتور شکل کوچکتری دارند؛ درحالیکه ذرات درشت به دلیل شکل مکعبی و گروهی فاکتور شکل بزرگتری دارند. همچنین فرض شد که با تغییر جرم مخصوص ظاهری تمامی منافذ با یک نسبت کوچک می‌شوند؛ درحالیکه اندازه منافذ ریز معمولاً با تغییر ساختمان خاک تغییر نمی‌کند و تغییر ساختمان خاک بیشتر باعث تغییر منافذ درشت می‌شود؛ به همین دلیل است که در محدوده مکش‌های زیاد منحنی مشخصه آب خاک بیشتر تحت تأثیر بافت خاک می‌باشد. نتایج مطالعات پیشین نیز نشان داده است که تأثیر تراکم تنها در مکش‌های کمتر از ۱۰۰۰ سانتی‌متر برجسته می‌باشد (۶، ۱۵، ۱۷ و ۲۰). به منظور ارزیابی عملکرد روش در مکش‌های کمتر از ۱۰۰۰

با مقدار این شاخص در کل مکش‌ها ندارد. تمام رطوبت بین دو حد ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم به آسانی قابل استفاده گیاه نبوده و بسته به نوع گیاه فقط ۴۰ تا ۷۵ درصد آن می‌تواند به سهولت جذب گیاه شود؛ لذا در عمل قبل از اینکه مکش خاک به حد بالایی برسد آبیاری انجام می‌شود و خطای مدل در مکش‌های زیاد بر روی برنامه ریزی آبیاری محصولات زراعی تأثیر چندانی نخواهد داشت.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، بر اساس مفهوم محیط‌های نامتشابه روشی برای مقیاس‌سازی منحنی‌های مشخصه آب خاک تحت شرایط مختلف ساختمانی ارائه شد. نتایج نشان داد که با استفاده از این روش منحنی‌های مشخصه آب خاک تحت مقادیر مختلف جرم مخصوص ظاهری در محدوده مکش‌های کم به خوبی مقیاس‌سازی شده‌اند. با افزایش مکش منحنی‌های مقیاس شده از یکدیگر فاصله می‌گیرند؛ لذا استفاده از مدل در محدوده مکش‌های زیاد توصیه نمی‌شود. همچنین روش ارائه شده در دامنه وسیعی از مقادیر جرم مخصوص ظاهری قابل استفاده است.

مقدار این شاخص در تمامی بافت‌های خاک مورد مطالعه در محدوده مکش‌های کمتر از ۱۰۰۰ سانتی‌متر بیشتر از مقدار این شاخص در مورد تمامی مکش‌ها می‌باشد.

با مقایسه جداول ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود که در مورد خاک شن لومی در محدوده مکش کمتر از ۱۰۰۰ سانتی‌متر مقادیر  $RMSE_s$  و SE با مقادیر این شاخص‌ها در کل مکش‌ها تفاوت چندانی ندارد. به عبارتی خطای روش پیشنهادی در مورد خاک شن لومی در کل مکش‌ها تقریباً یکسان است. کاهش چشمگیر مقدار  $RMSE_s$  و افزایش SE در خاک‌های رس، لوم رسی و رس شنی نشان‌دهنده کارایی بالای مدل در مکش‌های کمتر از ۱۰۰۰ سانتی‌متر در این خاک‌ها است. با توجه به شکل ۲ ملاحظه می‌شود که در مورد خاک سیلت در محدوده مکش‌های خیلی کم منحنی‌ها به خوبی مقیاس نشده‌اند. لذا مقدار  $RMSE_s$  در مورد این خاک در محدوده مکش کمتر از ۱۰۰۰ سانتی‌متر کمی بیشتر از مقدار این شاخص در کل مکش‌ها است. با این حال روش ارائه شده در مورد این خاک در مکش‌های بالا نیز خطا دارد. مقادیر مکش در برابر رطوبت حجمی در خاک لوم تا مکش حدود ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد؛ لذا خطای مدل در مکش‌های بالاتر دیده نشده است و مقادیر  $RMSE_u$ ،  $RMSE_s$  و SE در مکش‌های کمتر از ۱۰۰۰ سانتی‌متر تفاوت چندانی

جدول ۳- شاخص‌های آماری در مورد مکش‌های کمتر از ۱۰۰۰ سانتی‌متر

بافت خاک	شن لومی	رس	لوم رسی	سیلت	رس شنی	لوم
$RMSE_u^*$	۰/۰۵۳۷	۰/۰۵۶۶	۰/۰۴۸۹	۰/۰۶۴۶	۰/۰۴۵۹	۰/۰۳۱۴
$RMSE_s^*$	۰/۰۲۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۱۳۹	۰/۰۲۷۳	۰/۰۱۰۲	۰/۰۱۵۶
SE	۶۱/۰۶	۸۴	۷۱/۶۵	۵۷/۷۹	۷۷/۷۰	۵۰

\*: مقادیر این شاخص‌ها بر حسب نسبت حجمی رطوبت بیان شده است.

### منابع

- ۱- صادقی م.، گهردوست منفرد م.ر.، و قهرمان ب. ۱۳۸۷. مقیاس‌سازی تابع هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از عامل موینگی مؤثر. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۴(۱): ۱۸۹-۱۹۷.
- ۲- صادقی م.، و قهرمان ب. ۱۳۸۹. مقیاس‌سازی توامان توابع نگهداشت آب و هدایت هیدرولیکی خاک. نشریه آب و خاک ۳۴: ۳۹۴-۴۰۶.
- ۳- علیزاده ۱. ۱۳۸۴. طراحی سیستم‌های آبیاری. انتشارات دانشگاه امام رضا. مشهد.
- 4- Assouline S., Tavares-Filho J., and Tessier D. 1997. Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: Experimental results and modeling. Soil Sci. Soc. Am. J, 61: 390-398.
- 5- Baver L. D., Gardner W. H., and Gardner W. R. 1972. Soil Physics. John Wiley & Sons. New York.
- 6- Hillel D. 2004. Introduction to Environmental Soil Physics. Elsevier Science, San Diego, CA, USA.
- 7- Kosugi K., and Hopmans J.W. 1998. Scaling water retention curves for soils with lognormal pore-size distribution. Soil Science Society of America Journal. 62: 1496-1504.
- 8- Miller E.E., and Miller R.D. 1956. Physical theory for capillary flow phenomena, J. Appl. Phys, 27: 324-332.
- 9- Miyazaki T. 1996. Bulk density dependence on air entry suctions and saturated hydraulic conductivities

- of soils. *Soil Science*, 161(8): 484-490.
- 10- Moalem Y., and Assouline S. 1989. Modeling soil seal as a nonuniform layer. *Water Resour. Res.*, 25: 2101-2108.
  - 11- Nakano K., and Miyazaki T. 2005. Predicting the saturated hydraulic conductivity of compacted subsoils using the non-similar media concept. *Soil & Tillage Research*, 84: 145-153.
  - 12- Rawls W.J., and Brakensiek D.L. 1989. Estimation of soil water retention and hydraulic properties. P. 275-300. In H.J Morel-Seytoux (Ed.) *Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling – Theory and Practice*. Kluwer Academic publishing. Dordrecht.
  - 13- Schaap M.G., Leij F.J., and van Genuchten M.Th. 1998. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62: 847-855.
  - 14- Schaap M.G., and Leij F. j. 1998b. Database related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions. *Soil Science*, 163: 765-779.
  - 15- Trawally M.A., Medina H., Frometa M.E., and Itza C.A. 2004. Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferrasol in western Cuba. *Soil Till. Res.*, 76: 95-103..
  - 16- Vereecken H., Maes J., and Feyen J. 1990. Estimating unsaturated hydraulic conductivity from easily measured soil properties . *Soil Sci*, 14: 1-12.
  - 17- Warrick A. W. 2002. *Soil Physics Companion*. CRC Press. Boca Raton.
  - 18- Wösten J.H.M. 1997. Pedotransfer functions to evaluate soil quality. P. 221-246. In E.G. Gregorich., and M.R. Carter. (Eds.) *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health Developments*. *Soil Science*, 25.
  - 19- Wösten J.H.M., Lilly A., Names A., and Le Bas C. 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma*, 90: 169-185.
  - 20- Zhang Sh., Grip H., and Lövdahl L. 2006. Effect of soil compaction on hydraulic properties of two loess soils in China. *Soil & Tillage research*, 90: 117-125.
  - 21- Zhuang J., Nakayama K., Yu G.R., and Miyazaki T. 2000. Scaling of Saturated hydraulic conductivity: A comparison of models. *Soil Science*, 165: 718-727.
  - 22- 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.
  - 23- Zhuang J., Nakayama K., Yu G.R., and Miyazaki T. 2001. Predicting unsaturated hydraulic conductivity of soil base on some basic soil properties. *Soil & Tillage Research*, 59: 143-154.



## Scaling of the Soil-Water Characteristic Curve Using Non-Similar Media Concept

S. Zarrinfar<sup>1\*</sup>- K. Davari<sup>2</sup>

Received:22-5-2011

Accepted:18-9-2011

### Abstract

The soil-water characteristic curve is one of the most important soil properties used in modeling of water flow in unsaturated soils. This curve is a function of soil texture and structure and for a soil is influenced by the changing of soil structure. Scaling is used for relating properties of different soils using a scaling factor. In this study, we develop a model for the scaling of the soil-water characteristic curve for soils with the same texture and different structures using non-similar media concept. The model can predicts The soil-water characteristic curve of a soil using the curve of a soil with the same texture and different bulk density. For evaluating the proposed model, the soil-water characteristic curves of 6 soil samples with different textures under different structure conditions were used. For each soil texture, the soil-water characteristic curve of reference soil was predicted using the curves of other bulk densities. The results show that proposed model has good prediction for low tensions, and by increasing the tension, the prediction error is increased. Proposed model can be used for a wide range of bulk densities.

**Keywords:** Soil-water characteristic curve, Scaling factor, Bulk density, Shape factor

---

1,2- PhD Student and Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(\*- Corresponding Author Email: sajjad\_zarrinfar@yahoo.com)