برآورد منحنی مشخصه رطوبتی خاک با استفاده از اندازه‌گیری دو نقطه‌ای

میثم رمضانی[۱*]، شکوفه صالحی‌خشکرودی، عبدالمجید لیاقت

و محمدعلی غلامی سفیدکوهی

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ me.ramezani@gmail.com

دانشجوی کارشناسی‌ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه کشاورزی ومنابع طبیعی ساری؛ salehi.shokufeh@gmail.com

استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران؛ aliaghat@ut.ac.ir

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ magholamis@yahoo.com

چکیده

منحنی نگهداری آب خاک (SWRC) در بسیاری از زمینه‌ها، از جمله بررسی حرکت آب و املاح در محیط‌های متخلخل غیراشباع کاربرد دارد. این منحنی از جمله مشخصه‌های مهم هیدرولیکی خاک می‌باشد که اندازه‌گیری مستقیم آن وقت‌گیر و هزینه‌بر است. در این پژوهش، یک روش بهینه‌سازی با هدف حداقل سازی مربعات خطا، به منظور تخمین پارامترهای معادله ون‌گنوختن (α و m) با استفاده از دو نقطه اندازه‌گیری شده از منحنی نگهداری آب شامل رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی ارائه شده است. مزیت‌های اصلی این روش، سهولت در کاربرد آن و عدم وابستگی آن به بانک داده می‌باشد. به منظور نشان دادن دقت روش پیشنهادی، سه بانک داده خاک، جمعاً شامل ۱۵۶ نمونه، که از دو کشور ایران و بلژیک جمع‌آوری شده، مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، از مدل رزتا نیز به منظور تخمین پارامترهای معادله ون‌گنوختن با استفاده از شش پارامتر ورودی شامل درصد شن، سیلت، رس، جرم مخصوص ظاهری و رطوبت اندازه‌گیری شده در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی استفاده شد. مقادیر پارامترهای آماری MR، RMSE و AIC برای روش پیشنهادی به ترتیب برابر ۰۰۰۸۴/۰-، ۰۳۱/۰ و ۸۶۳۶- ($cm^3.cm^{-3}$) و برای مدل رزتا به ترتیب برابر ۰۰۳۷/۰-، ۰۵۱/۰ و ۷۳۲۷- ($cm^3.cm^{-3}$) محاسبه شد. مقایسه این مقادیر نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در این پژوهش بسیار کارا بوده و توانسته با دقت بسیار بیشتری نسبت به مدل رزتا، منحنی نگهداری آب خاک را پیش‌بینی نماید.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، ظرفیت زراعی، مدل رزتا، مدل ون‌گنوختن، نقطه پژمردگی

مقدمه

منحنی مشخصه رطوبتی خاک[۲] از جمله مشخصه‌های مهم فیزیکی و هیدرولیکی خاک و بیانگر رابطه بین پتانسیل ماتریک و رطوبت خاک است. این ویژگی هیدرولیکی در مسائل مختلف آب و خاک مانند آبیاری و زهکشی، حفاظت خاک، حرکت آب و املاح در خاک به ویژه در شرایط غیراشباع و مدل‌سازی شرایط فوق از اهمیت بسیاری برخوردار است. علیرغم اهمیت این منحنی، اندازه‌گیری مستقیم آن وقت‌گیر و هزینه‌بر است.

[۱] آدرس نویسنده مسئول: ساری، کیلومتر ۹ جاده دریا، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشکده مهندسی زراعی، دفتر گروه مهندسی آب، کد پستی: ٤٨١٦١١٨٧٧١

* دریافت: دی، ۱۳۹۱ و پذیرش: اردیبهشت، ۱۳۹۲

[2]. Soil Water Retention Curve

Archive of SID

www.SID.ir

در طی دو دهه اخیر، روابط زیادی از جمله رابطه پرکاربرد ون‌گنوختن (۱۹۸۰) به منظور مدل‌سازی رفتار منحنی مشخصه رطوبتی ارائه شده است (۲۹). همچنین، روش‌های مختلفی مانند رگرسیون خطی (۳ و ۱۳)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (۱٤ و ۱۵)، روش‌های غیر پارامتریک (۱۲)، روش بررسی گروهی داده‌ها (۱۹ و ۲۱) و روش بردار (۱۱ و ۲۰) به منظور توسعه توابع انتقالی[1] و تخمین پارامترهای معادلات موجود و یا تخمین مستقیم منحنی مشخصه رطوبتی خاک (ویژگی دیریافت خاک) از روی خصوصیات زود یافت خاک مانند بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری، مقدار ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و منحنی توزیع اندازه ذرات بکار گرفته شده است.

خصوصیاتی همچون توزیع اندازه ذرات و جرم مخصوص ظاهری خاک ، به طور معمول در توابع انتقالی ارائه‌شده توسط محققین مختلف مشاهده می‌شود، ولی برخی پژوهشگران از ویژگی‌های دیگری مانند مقدار رطوبت در مکش‌های مختلف به ویژه رطوبت در مکش‌های معادل ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی به منظور افزایش دقت توابع انتقالی استفاده می‌نمایند.

Rawls et al. (1982) از رطوبت در مکش ۱۵۰۰ کیلوپاسکال و همچنین رطوبت در مکش‌های ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال به منظور افزایش دقت رگرسیون‌های خطی چندگانه (توابع انتقالی نقطه‌ای) استفاده نمودند (۱۳). نتایج این پژوهش نشان داد دقت معادلات رگرسیونی که برای پیش‌بینی منحنی مشخصه به کار می‌روند، با استفاده از رطوبت در مکش ۱۵۰۰ کیلوپاسکال و همچنین رطوبت در مکش ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال در ترکیب با سایر خصوصیات فیزیکی خاک افزایش می‌یابد.

یک روش توسط Ahuja et al. (1985) برای پیش‌بینی منحنی مشخصه خاک با استفاده از جرم مخصوص ظاهری، رطوبت باقی‌مانده در مکش ۳۳ کیلوپاسکال و منحنی مشخصه رطوبتی مرجع برای هر کلاس خاک ارائه شد (٤). این پژوهشگران نشان دادند با برون‌یابی خطی بین رطوبت باقی‌مانده در مکش ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال بر روی نمودار لوگ-لوگ می‌توان مقدار رطوبت در سایر مکش‌ها را پیش‌بینی نمود.

یکی از پرکاربردترین توابع انتقالی توسعه‌یافته بر مبنای شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدلی با نام رزتا[2] می‌باشد که به وسیله Schaap et al. در سال ۲۰۰۱ ارائه شد. این مدل برای تخمین پارامترهای معادله ون‌گنوختن و معادله هدایت هیدرولیکی غیراشباع ون‌گنوختن– معلم، از داده‌هائی نظیر بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری و یک یا دو نقطه اندازه‌گیری از منحنی مشخصه، استفاده می‌نماید (۱۵ و ۲۲). این مدل به طور مستقیم و یا در ترکیب با نرم‌افزارهایی مانند RETC و HYDRUS به صورت گسترده در پژوهش‌های دهه اخیر به کار رفته است (۱٦ و ۱۷ و ۱۸).

به طور کلی توابع انتقالی بسیار وابسته به بانک اطلاعاتی و ویژگی‌های نمونه خاک‌های در برگیرنده آن می‌باشند، به طوری که پژوهش Schaap et al. (1998) نشان داد توابع انتقالی ارائه‌شده و واسنجی شده برای یک بانک اطلاعاتی قادر به پیش‌بینی منحنی مشخصه رطوبتی و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با دقت مشابه برای سایر بانک‌های اطلاعاتی نیستند (۱٤). بنابراین، تا حد امکان، برازش مستقیم منحنی مشخصه رطوبتی بر روی نقاط اندازه‌گیری شده به جای استفاده از توابع انتقالی توصیه می‌شود. از آنجایی که افزایش تعداد نقاط اندازه‌گیری شده از منحنی مشخصه رطوبتی با افزایش صرف وقت و هزینه همراه است، سعی بر آن است که با حداقل نقاط اندازه‌گیری شده، منحنی مشخصه رطوبتی با حداکثر دقت پیش‌بینی شود. تعداد نقاط مورد نیاز در فرآیند برازش، تابع تعداد پارامترهای مجهول معادله مورد نظر و روش مورد استفاده برای بهینه‌سازی و برازش می‌باشد.

یک روش دو نقطه‌ای توسط Cresswell et al. (1996) برای پیش‌بینی پارامترهای مدل کمپل ارائه شده است (٦ و ۷). در این روش یک خط مستقیم بین دو

[1]. Pedotransfer Functions

[2]. ROSETTA

Archive of SID

www.SID.ir

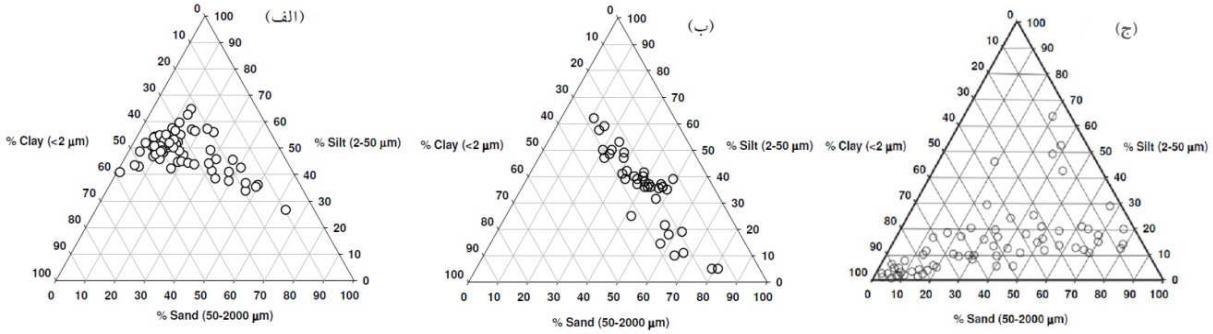
نقطه اندازه‌گیری شده در مقیاس لوگ-لوگ رسم و ضریب b مربوط به معادله کمپل، مستقیماً از روی شیب این خط به دست می‌آید. پارامترهای نقطه ورود هوا و رطوبت اشباع خاک نیز به ترتیب با استفاده از مقدار b و جرم مخصوص ظاهری، تخمین زده می‌شود. همچنین، Cresswell et al. (2006) با استفاده از نمونه خاک‌هایی از کشور فرانسه، روش دو نقطه‌ای خود را اعتبارسنجی نموده و نتایج را با برازش‌های انجام‌شده با نرم‌افزار RETC و توابع انتقالی ارائه‌شده توسط Williams et al. (1992) مقایسه نمودند. آن‌ها دقت خوبی (R^2=94.8) را برای روش دو نقطه‌ای پیشنهادی خود گزارش نمودند (۷ و ۸).

تنها نرم‌افزار اختصاصی که تا کنون به منظور برازش معادلات منحنی مشخصه رطوبتی و منحنی هدایت هیدرولیکی غیراشباع بر روی نقاط اندازه‌گیری شده قابل استفاده است، نرم‌افزار RETC می‌باشد. این نرم‌افزار توسط van Genuchten et al. (1991) توسعه داده شده و قادر است با استفاده از یک روش بهینه‌سازی، به صورت غیرخطی و با حداقل مربعات خطا، ضرایب ناشناخته در معادلات را برآورد کند (۲۳). در فرآیند بهینه‌سازی این نرم‌افزار، به ازای n تعداد مجهول (پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی)، تعداد n+1 نقطه اندازه‌گیری شده از منحنی مشخصه رطوبتی مورد نیاز می‌باشد. بنابراین به منظور برازش و تخمین حداقل دو پارامتر معادله منحنی مشخصه ون‌گنوختن (α و m) با استفاده از این نرم‌افزار نیاز به موجود بودن حداقل سه نقطه اندازه‌گیری شده از منحنی مشخصه می‌باشد.

هدف از این پژوهش، ارائه یک روش جدید بهینه‌سازی به منظور تخمین پارامترهای معادله منحنی مشخصه ون‌گنوختن شامل α و m با استفاده از دو نقطه اندازه‌گیری شده از منحنی مشخصه می‌باشد. همچنین، نتایج روش پیشنهادی با نتایج پیش‌بینی‌های مدل پر کاربرد رزتا که با استفاده از بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری و همان دو نقطه اندازه‌گیری شده انجام شده ، مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از سه بانک اطلاعاتی خاک شامل بانک اطلاعاتی Cornelis et al. (2001) دارای ۵۸ نمونه خاک از کشور بلژیک، بانک اطلاعاتی بهبهانی و همکاران (۲۰۰۶) دارای ۳۰ نمونه خاک جمع‌آوری شده از منطقه کرج- آبیک و بانک اطلاعاتی خالق‌پناه و همکاران (۲۰۰۷) دارای ٦٨ نمونه خاک جمع‌آوری شده در منطقه جنوب و جنوب شرقی تهران استفاده شد (۱ و ۲ و ۹). شکل (۱) توزیع نمونه خاک‌های مورد استفاده در این پژوهش را در مثلث بافت خاک نشان می‌دهد.



شکل ۱- توزیع نمونه خاک استفاده‌شده در مثلث بافت خاک برای بانک اطلاعاتی خالق‌پناه (الف)، بهبهانی (ب) و کرنلیس (ج)

Archive of SID

www.SID.ir

نمونه خاک‌های بانک‌های اطلاعاتی بهبهانی و خالق‌پناه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری و کرنلیس از عمق صفر تا ۵۰ سانتی‌متر برداشته شده و در مجاورت هوا خشک شده‌اند. همچنین، جرم مخصوص ظاهری نمونه‌ها به روش کلوخه‌ای اندازه‌گیری شده است (۵). در بانک اطلاعاتی بهبهانی برای اندازه‌گیری منحنی مشخصه رطوبتی نمونه‌های دست‌خورده در مکش‌های ماتریک ۱۰، ۳۳، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال از دستگاه صفحات فشاری استفاده شده است. در بانک اطلاعاتی خالق‌پناه در مکش‌های ماتریک ۱۰، ۳۳، ۱۰۰، ۳۰۰ کیلوپاسکال از دستگاه صفحات فشاری و در مکش‌های ماتریک ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال از دستگاه غشاء فشاری استفاده شد. در بانک اطلاعاتی کرنلیس در مکش‌های بین صفر تا ۱۰ کیلوپاسکال از دستگاه جعبه شنی و در مکش‌های بین ۳۳ تا ۱۵۰۰ کیلوپاسکال از دستگاه غشاء فشاری استفاده شد. همچنین، خاک‌های مورد استفاده از نظر فیزیکی دارای دامنه گسترده‌ای بودند (شکل ۱). برخی از پارامترهای آماری مانند کمینه، بیشینه، میانگین و انحراف معیار خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی خاک‌های استفاده‌شده در این پژوهش

متغییرها	کرنلیس				بهبهانی				خالق پناه			
	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
رس (٪)	۲	۶۴	۱۵/۲۵	۱۲/۱۸	۱۲	۳۱	۲۱/۹۵	۴/۵۸	۱/۰۵	۶۳/۸۲	۱۷/۷۹	۱۳/۱۴
سیلت (٪)	۱	۷۹	۳۵/۰۹	۲۲/۱۴	۵	۶۲	۳۵/۷۰	۱۴/۵۳	۲۶/۶۲	۶۴/۸۲	۴۸/۸۰	۶/۹۱
شن (٪)	۴	۹۶	۴۹/۶۸	۲۸/۳۶	۱۱	۸۱	۴۲/۳۳	۱۶/۸۶	۹/۵۶	۵۸/۰۴	۳۳/۴۲	۹/۶۷
جرم مخصوص ظاهری(g/cm^3)	۱/۰۵	۱/۷۶۸	۱/۴۷	۰/۱۶	۱/۲۴	۱/۸۱	۱/۵۸	۰/۱۴	۰/۷۳	۱/۵۵	۱/۱۶	۰/۱۸

یکی از مشهورترین مدل‌های ارائه‌شده برای نمایش منحنی مشخصه رطوبتی خاک، مدل ون‌گنوختن (۱۹۸۰) می‌باشد که به صورت گسترده در پژوهش‌های مختلف از آن استفاده می‌شود (۲۲). این مدل یک مدل پیوسته بر پایه منحنی مشخصه سیگموئیدی شکل می‌باشد. مدل ون‌گنوختن به صورت معادله (۱) می‌باشد.

$$\frac{\theta-\theta_r}{\phi-\theta_r}=\left[1+(\alpha h)^n\right]^{-m} \qquad (۱)$$

که در آن: θ مقدار رطوبت ($cm^3.cm^{-3}$)، θ_r رطوبت باقی‌مانده در خاک ($cm^3.cm^{-3}$)، ϕ تخلخل خاک، h پتانسیل ماتریک یا مکش (kPa) و α، n و m پارامترهای تجربی می‌باشند. معادله (۱) دارای پنج پارامتر نامعلوم می‌باشد که با برازش مستقیم معادله ون‌گنوختن بر روی داده‌های اندازه‌گیری شده به دست می‌آید. پارامترهای نامعلوم این معادله با فرض $\theta_r=0$ و با شرط m=1-1/n به سه پارامتر کاهش می‌یابد.

$$\frac{\theta}{\phi}=\left[1+(\alpha h)^{\frac{1}{1-m}}\right]^{-m} \qquad (۲)$$

پارامترهای m و α به ترتیب از صفر تا یک و از صفر تا بینهایت قابل تغییر هستند. همچنین تخلخل کل خاک نیز با استفاده از اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری استفاده از معادله (۳) محاسبه می‌شود.

$$\phi=1-\frac{BD}{2.65} \qquad (۳)$$

در این معادله، BD جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. برای دو نقطه اندازه‌گیری شده از منحنی مشخصه می‌توان نوشت:

$$\frac{\theta_1}{\phi}=\left[1+(\alpha h_1)^{\frac{1}{1-m}}\right]^{-m} \qquad (٤)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$\frac{\theta_2}{\phi}=\left[1+(\alpha h_2)^{\frac{1}{1-m}}\right]^{-m} \quad (٥)$$

با توجه به فرم غیرخطی معادلات (٤) و (٥) و با کمینه‌سازی مربعات خطا، ضرایب تجربی m و α قابل پیش‌بینی می‌باشند.

بدین منظور رطوبت باقی‌مانده در دو نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی به عنوان دو نقطه اندازه‌گیری شده از منحنی مشخصه رطوبتی خاک برای بهینه‌سازی انتخاب شد. هر دو نقطه دیگری و حتی نقاط بیشتری بدین منظور قابل استفاده است. سپس، با برازش رابطه ون‌گنوختن بر روی این دو نقطه و با حل هم‌زمان دو معادله (٤) و (٥) و حداقل‌سازی مجموع مربعات خطا به عنوان تابع هدف، پارامترهای مجهول این رابطه با استفاده از افزونه سلور نرم‌افزار ماکروسافت اکسل[1] بهینه شد. (روش شرح داده شده با عنوان "روش پیشنهادی" مطرح می‌باشد)

همچنین، از مدل رزتا نیز به منظور تخمین پارامترهای معادله ون‌گنوختن با استفاده از شش پارامتر ورودی شامل، درصد شن، سیلت، رس، جرم مخصوص ظاهری و رطوبت در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی (حالت پنجم در مدل رزتا[2]) استفاده شد. به منظور مقایسه و ارزیابی دقت روش پیشنهادی و مدل رزتا در پیش‌بینی منحنی مشخصه رطوبتی خاک، از پارامترهای میانگین باقی‌مانده‌ها[3] (MR)، مجذور میانگین مربعات خطا[4] (RMSE) و ضریب آکائیک[5] (AIC) استفاده شد.

(٦)

$$MR=\frac{\sum_{i=1}^{x}(P_i-O_i)}{N}$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{x}(P_i-O_i)^2}{N}} \quad (٧)$$

(٨)

$$AIC=N*\ln\left[\frac{\sum_{i=1}^{x}(P_i-O_i)^2}{N}\right]+2p_m$$

که در آن‌ها: پارامترهای O_i و P_i به ترتیب مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده، N تعداد مشاهدات و p_m تعداد پارامترهای مدل می‌باشد. مقادیر منفی و مثبت MR به ترتیب نشان‌دهنده کمتر و بیشتر برآورد کردن مدل از مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. مقادیر RMSE نزدیک به صفر نشان‌دهنده دقیق‌تر بودن مدل و همچنین ضریب آکائیک (AIC) کوچک‌تر، نشان از پیش‌بینی مناسب‌تر مدل دارد.

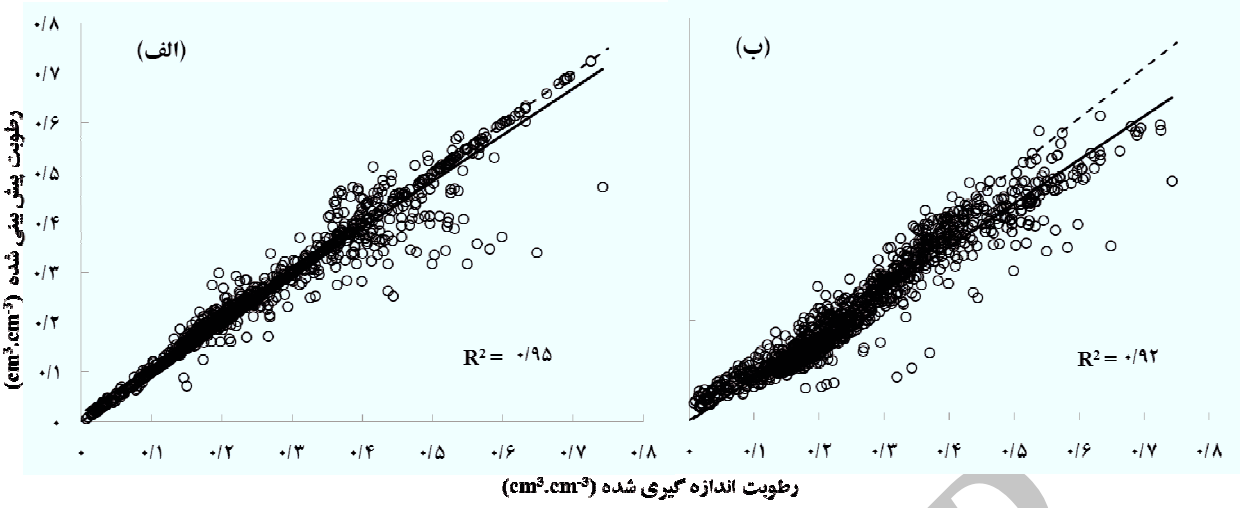
نتایج و بحث

نتایج مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی‌شده برای هر دو روش در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اگرچه مطابقت خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده در هر دو روش وجود دارد، ولی نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که مطابقت روش پیشنهادی بیشتر است (جدول ۲). همان طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود مقادیر MR و RMSE نشان می‌دهند که روش پیشنهادی، منحنی مشخصه را بسیار بهتر از مدل رزتا پیش‌بینی می‌نماید.

1. Solver Add-Ins of Microsoft Excel
2. SSCBD+TH33 and TH1500
3. Mean of Residuals
4. Root Mean Square Error
5. Akaike Information Coefficient

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده برای روش بهینه‌سازی (الف) و مدل رزتا (ب)

جدول ۲- پارامترهای آماری برای دو روش در مکش‌های مختلف

رطوبت	MR ($cm^3.cm^{-3}$)		RMSE ($cm^3.cm^{-3}$)		AIC ($cm^3.cm^{-3}$)		R^2	
	پیشنهادی	رزتا	پیشنهادی	رزتا	پیشنهادی	رزتا	پیشنهادی	
θ_S	-۰/۰۱	-۰/۰۶۸	۰/۰۶۸	۰/۰۹	-۶۶۹۹/۳	۰/۵-۵۹۹	۰/۵۳	۰/۶۱
θ_{10}	-۰/۰۲۳	-۰/۰۳۲	۰/۰۴۶	۰/۰۵۱	۵-۷۶۵۲/	-۷۴۰۶/۸	۰/۷۷	۰/۷۵
θ_{33}	۰	-۰/۰۲	۰	۰/۰۳۳	-۴۲۵۷۱/۸	-۸۴۶۵/۷	۱	۰/۸۸
θ_{100}	۰/۰۰۶	-۰/۰۳	۰/۰۲۱	۰/۰۴۷	۶-۹۵۳۱/	۳-۷۵۸۴/	۰/۹۲	۰/۷۷
θ_{300}	۰/۰۰۹	-۰/۰۳۴	۰/۰۱۸	۰/۰۴۵	-۱۰۰۱۷/۵	-۷۷۰۲/۲	۰/۹۵	۰/۸۷
θ_{500}	۰/۰۰۸۹	-۰/۰۳۴	۰/۰۱۴	۰/۰۴۴	۵-۱۰۴۹۸/	۲-۷۷۸۴/	۰/۹۷	۰/۸۹
θ_{1000}	۰/۰۰۲۷	-۰/۰۳۷	۰/۰۰۵۹	۰/۰۴۶	-۱۲۸۰۸/۹	۰/۶-۷۶۶	۰/۹۹	۰/۸۹
θ_{1500}	۰	-۰/۰۳۷	۰	۰/۰۴۵	-۴۲۱۶۶/۶	-۷۶۹۸/۰	۱	۰/۹۰
کل	-۰/۰۰۰۸۴	-۰/۰۳۷	۰/۰۳۱	۰/۰۵۳	-۸۶۳۶/۳	۱-۷۳۲۷/	۰/۹۵	۰/۹۲

مقدار MR به ترتیب برای روش پیشنهادی بین صفر تا ۰/۰۲۳- و برای مدل رزتا بین ۰/۰۶۸- تا ۰/۰۲۰- تغییر می‌کند. این نتایج با نتایج شاپ و همکاران (۲۰۰۱) مبنی بر این‌که مدل رزتا مقدار رطوبت را کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌نماید مطابقت دارد (۱۵). همچنین، مقایسه ضرایب آکائیک برای دو روش نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی منحنی مشخصه بسیار مناسب‌تر از مدل رزتا می‌باشد. با توجه به مقادیر جدول (۲) می‌توان نتیجه گرفت روش پیشنهادی دقت قابل قبولی در پیش‌بینی منحنی مشخصه خاک در تمامی مکش‌ها به ویژه در مکش‌های ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال دارا می‌باشد. این بدین علت است که روش پیشنهادی بر خلاف مدل رزتا منحنی مشخصه را در نقاطی که برای بهینه‌سازی استفاده می‌شود، دقیقاً روی نقاط اندازه‌گیری شده برازش می‌نماید. به دلیل این‌که مدل رزتا از خصوصیات بافت خاک برای تخمین پارامترهای مدل ون‌گنوختن استفاده می‌کند و بافت خاک تعیین‌کننده میزان مکش در رطوبت‌های کمتر است، می‌توان انتظار داشت که مدل رزتا منحنی مشخصه را در مکش‌های ماتریک بیشتر، دقیق‌تر از مکش‌های ماتریک کمتر تخمین بزند. جدول (۳) دامنه تغییرات پارامترهای مدل ون‌گنوختن پیش‌بینی‌شده با استفاده از دو مدل را نشان می‌دهد.

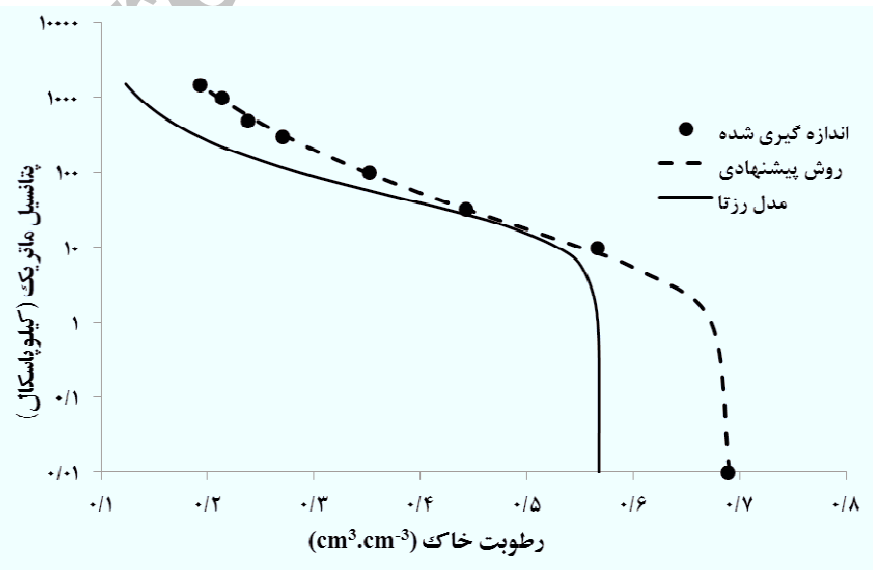
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- دامنه تغییرات پارامترهای مدل ون‌گنوختن در پیش‌بینی‌های دو روش

متغیرها	روش پیشنهادی				مدل رزتا			
	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
θ_r	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱۵	۰/۱۱۳	۰/۰۵۳	۰/۰۱۷
θ_S	۰/۳۱۷	۰/۷۲۵	۰/۴۸۷	۰/۰۹۱	۰/۳۰۳	۰/۶۰۶	۰/۴۳	۰/۰۶۳
α	۰/۰۰۰۱	۱۸۸۷/۵۶	۱۳/۲۷	۱۵۱/۳۳	۰/۰۰۱	۰/۳۹۵	۰/۰۱۷	۰/۰۳۳
m	۰/۰۶۸	۰/۴۹۳	۰/۱۷۹	۰/۰۷۴	۰/۱۵۱	۰/۶۰۳	۰/۲۹	۰/۰۷۳

نکته قابل‌توجه در این جدول، تغییرات α بین ۰/۰۰۰۱ تا ۱۸۸۷/۶ برای مدل پیشنهادی و ۰/۰۰۱ تا ۰/۳۹ برای مدل رزتا می‌باشد. به نظر می‌رسد محدود کردن دامنه تغییرات α در مدل رزتا در هنگام آموزش این شبکه عصبی مصنوعی، باعث ایجاد محدودیت این مدل در پیش‌بینی پارامترهای مدل ون‌گنوختن شده است. در صورتی که روش پیشنهادی هیچ محدودیتی در مورد تخمین α ندارد. از مهم‌ترین دلایل زیاد بودن خطا در مدل رزتا در مقایسه با مدل پیشنهادی در این پژوهش، می‌توان به این نکته اشاره نمود که مدل رزتا بر اساس سه بانک اطلاعاتی با ۵۵۴ نمونه خاک جمع‌آوری شده از خاک‌های اروپا و ایالات‌متحده آمریکا توسعه یافته است و می‌توان انتظار داشت که از دقت بالایی در پیش‌بینی منحنی مشخصه رطوبتی برای نمونه خاک‌های سایر مناطق برخوردار نباشد. همچنین، مقدار ماده آلی نمونه خاک‌ها و عدم استفاده از آن به عنوان ورودی مدل نیز ممکن است باعث ایجاد خطا در پیش‌بینی‌های مدل رزتا شده باشد. زیرا مقدار ماده آلی در نمونه خاک‌های استفاده‌شده به منظور کالیبره نمودن مدل رزتا بین صفر تا ۱۴/۵ درصد بوده است در صورتی که این مقدار در نمونه خاک‌های بهبهانی و خالق‌پناه بین یک تا دو درصد و نمونه خاک‌های کرنلیس بین صفر تا هفت درصد بوده است. شکل (۳) منحنی مشخصه اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده با استفاده از دو مدل را برای یکی از نمونه خاک‌های بانک اطلاعاتی خالق‌پناه، نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، منحنی مشخصه پیش‌بینی‌شده به وسیله مدل پیشنهادی برازش بسیار مناسب‌تری روی نقاط اندازه‌گیری شده دارد.



شکل ۳- نمونه‌ای از منحنی مشخصه اندازه‌گیری و پیش‌بینی‌شده به وسیله دو روش (نمونه شماره ۵۹ از بانک اطلاعاتی خالق‌پناه)

Archive of SID

www.SID.ir

به طور کلی می‌توان از مزایای مدل پیشنهادی (بهینه‌سازی) موارد زیر را برشمرد:

- در این روش به غیر از درصد رطوبت اشباع که خود از روش‌های مختلفی قابل پیش‌بینی است، از هر دو نقطه اندازه‌گیری شده از منحنی مشخصه رطوبتی به منظور تخمین پارامترهای α و n می‌توان استفاده نمود.
- بر خلاف شبکه‌های عصبی مصنوعی که معادلات آن‌ها در جعبه‌های سیاه (black box) قرار دارد، استفاده از این روش ساده و آسان بوده و نیاز به نرم‌افزار تخصصی خاصی برای انجام محاسبات نمی‌باشد.
- مهم‌ترین مزیت این روش این است که در این روش از بانک اطلاعاتی خاصی برای توسعه آن استفاده نشده است و به عبارت دیگر این روش مستقل از بانک داده[1] می‌باشد. در واقع بانک‌های اطلاعاتی استفاده‌شده در این پژوهش فقط به هدف نشان دادن دقت مدل پیشنهادی استفاده شده است.
- استفاده از این روش نیاز به اطلاعات کمتری نسبت به مدل رزتا دارد زیرا این روش بر خلاف مدل رزتا به جز جرم مخصوص ظاهری نیاز به سایر اطلاعات بافت خاک ندارد.
- بر خلاف نرم‌افزار RETC که برای برازش و تخمین دو پارامتر معادله ون‌گنوختن نیاز به حداقل سه نقطه اندازه‌گیری شده از منحنی مشخصه رطوبتی دارد، با استفاده از روش پیشنهادی این پژوهش می‌توان با استفاده از دو نقطه اندازه‌گیری شده، دو پارامتر معادله ون‌گنوختن و در نتیجه منحنی مشخصه رطوبتی را تخمین زد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک روش بهینه‌سازی، باهدف کمینه کردن مجموع مربعات خطا به منظور تخمین پارامترهای مدل ون‌گنوختن با استفاده از دو نقطه اندازه‌گیری شده پیشنهاد شد. از مزیت‌های روش پیشنهادی می‌توان به سهولت در استفاده، عدم وابستگی به بانک داده استفاده‌شده برای توسعه مدل و انعطاف در انتخاب نقاط اندازه‌گیری منحنی مشخصه اشاره کرد. به منظور بررسی دقت این مدل و مقایسه آن با مدل پرکاربرد رزتا از ۱۵٦ نمونه خاک استفاده شد. نتایج نشان داد روش پیشنهادی، منحنی مشخصه رطوبتی خاک را با دقت بسیار بیشتری از مدل رزتا تخمین می‌زند و استفاده از این روش منتج به برآورد بهتری در تخمین منحنی مشخصه می‌شود. بنابراین، استفاده از این روش برای پیش‌بینی پارامترهای مدل ون‌گنوختن در شرایطی که حداقل دو نقطه از منحنی مشخصه اندازه‌گیری شده باشد، توصیه می‌شود.

[1] Database Independent

Archive of SID

www.SID.ir

فهرست منابع:

1. Behbahani, S. 2006. Studying pedotransfer functions in estimating soil water retention curve for soils of Iran. MSc. Thesis. University of Tehran. Alborz, Iran. (In Farsi).
2. Khaleghpanah, N. 2007. Development of pedotransfer functions for estimating saline soil water retention curve. Msc. Thesis. University of Tehran. Alborz, Iran. (In Farsi).
3. Ramezani, M., Ghanbarian-alavijeh, B., Liaghat, A. M. and Salehi-khoshkroudi, S. 2011. Developing Pedotransfer Functions for Saline and Saline-Alkali Soils. Journal of Water and Irrigation Management, 1:99-110. (In Farsi).
4. Ahuja, L.R., Naney J.W. and Williams R.D. 1985. Estimating soil water characteristics from simpler properties and limited data. Soil Science Society of America Journal, 49:1100-1105.
5. Blake, G.R. 1965. Bulk density. (Edited by C.A. Black), Methods of soil analysis, part 1, No. 9. American Society of Agronomy.
6. Campbell, G.S. 1974. A simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data. Soil Science, 117:311–314.
7. Cresswell, H.P. and Paydar Z. 1996. Water retention in Australian soils. I. Description and prediction using parametric functions. Australian Journal of Soil Research, 34:195–212.
8. Cresswell, H.P., Coquet, Y., Bruan A. and McKenzi N.J. 2006. The transferability of Australian pedotransfer functions for predicting water retention characteristics of French soils. Soil Use and Management, 22:62-70.
9. Cornelis, W.M., Ronsyn, J., Van Meirvenne, M. and Hartmann, R. 2001. Evaluation of pedotransfer functions for predicting the soil moisture retention curve. Soil Science Society of America Journal. 65:638–648.
10. Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle-size Analysis. In Methods of Soil Analysis Part 1. Soil Science Society of America. Book Series 5, Madison, Wisconsin.
11. Lamorskia, K., Pachepsky, Y., Slawinski, C., and Walczak, R. T. 2008. Using support vector machines to develop pedotransfer functions for water retention of soils in Poland. Soil Science Society of America Journal, 72:1243-1247.
12. Nemes, A., Rawls, W. J., and Pachepsky and Ya. A. 2006. Use of the Non-parametric Nearest Neighbor Approach to Estimate Soil Hydraulic Properties. Soil Science Society of America Journal, 70:327-336.
13. Rawls, W. J., Brakensiek D. L. and Saxton, K. E. 1982. Estimation of soil water properties. American Society of Agricultural Engineers, 25:1316-1320.
14. Schaap, M.G. and Leij F.J. 1998. Database-Related Accuracy and Uncertainty of Pedotransfer Functions. Soil Science, 163:765-779.
15. 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.
16. Schoul, J., Abbaspour, K.C., Srinivasan, R. and Yang, H. 2008. Estimation of freshwater availability in the West African sub-continent using the SWAT hydrologic Model. Journal of Hydrology, 352:30-49.
17. Šimůnek, J., van Genuchten, M.Th. and Šejna, M. 2006. The HYDRUS Software Package for Simulating Two and Three-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Technical Manual, Version 1.0, PC Progress. Prague, Czech Republic.
18. Singh, R., Helmers, M.J. and Qi, Z. 2006. Calibration and validation of DRAINMOD to design subsurface drainage systems for Iowa's tile landscapes. Agricultural Water Management. 85, 221-232.

Archive of SID

www.SID.ir

19. Tomasella, J., Pachepsky, Y., Crestana, S., Rawls, W. J. 2003. Comparison of two techniques to develop pedotransfer functions for water retention. Soil Science Society of America Journal, 67:1085-1092.
20. Twarakavia, N.K.C., Simunek, J. and Schaap M.G. 2009. Development of pedotransfer functions for estimation of soil hydraulic parameters using support vector machines. Soil Science Society of America Journal, 73:1443-1452.
21. Ungaro, F., Calzolari, C. and Busoni, E. 2005. Development of pedotransfer functions using a group method of data handling for the soil of the Pianura Padano–Veneta region of North Italy. Geoderma, 124:293-317.
22. van Genuchten M.Th., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, 44:892-898.
23. van Genuchten, M.Th., Leij, F.J. and Yates S.R. 1991. The RETC Code for uantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils, Version 1.0. US Salinity Laboratory, USDA, Riverside, California.

Archive of SID

www.SID.ir