محور مقاله: فیزیک خاک و رشد گیاه

ارزیابی روش بوت‌استرپ و GLUE در تعیین عدم قطعیت پارامترهای مدل ون‌گنوختن

سمانه اطمینان[۱]، وحیدرضا جلالی[۲*]، مجید محمودآبادی[۲]، عباس خاشعی سیوکی[۳]، محسن پوررضا بیلندی[۳]

[۱]دانشجوی دکترای فیزیک و حفاظت خاک، گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

[۲]دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

[۳]دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

چکیده

مطالعه ویژگی‌های هیدرولیکی خاک به‌ویژه پارامترهای منحنی رطوبتی خاک در جهت اهداف کشاورزی، محیط زیست و کاربردهای مهندسی بسیار کارآمد و با ارزش است. پارامترهای منحنی رطوبتی خاک نه تنها در برآورد رطوبت خاک و تعین نیاز آبی گیاه نقش بسزائی دارد بلکه در میزان عملکرد و کارایی سایر مدل‌های فیزیکی خاک در جهت مدیریت آب و خاک بسیار کارآمد می‌باشد. از این‌رو، در این تحقیق به ارزیابی میزان عدم‌قطعیت پارامترهای مدل ون‌گنوختن در بافت شن لومی با استفاده از روش بوت استرپ و GLUE پرداخته شده است. علاوه بر ارزیابی عدم‌قطعیت پارامترهای مدل ون گنوختن میزان توانایی این دو روش در برآورد عدم‌قطعیت پارامترهای منحنی رطوبتی خاک نیز بررسی می‌گردد. بدین منظور از نمونه خاک مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان به طور کاملاً تصادفی ۵۰ نقطه انتخاب و نمونه‌برداری صورت گرفت. با استفاده از نرم افزار RETC پارامترهای مدل ون‌گنوختن تخمین زده شد و سپس میزان عدم قطعیت پارامترهای با استفاده از روش بوت‌استرپ و GLUE مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل بیانگر وجود عدم‌قطعیت در پارامترهای مدل ون‌گنوختن به‌ویژه پارامتر n، α و θ_s است. از سوی دیگر نتایج نشان داد که روش GLUE نسبت به روش بوت‌استرپ در ارزیابی عدم‌قطعیت مدل ون‌گنوختن توانمندتر عمل می‌کند.

کلمات کلیدی: منحنی رطوبتی خاک، مدل فیزیکی خاک، RETC.

مقدمه

رطوبت خاک یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک محسوب می‌شود که در تعیین نیاز آبی گیاه، مدیریت منابع آب- خاک، ارزیابی میزان رخداد خشکسالی، سیلاب و همچنین مطالعات تغییرات اقلیمی نقش کلیدی دارد (Harrison و همکاران،۲۰۱۲). منحنی رطوبتی خاک از شاخص‌ترین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک به شمار می‌رود که برای تعیین میزان رطوبت خاک بسیار پرکاربرد می‌باشد، همچنین این متغیر بیانگر وضعیت خاک و نوع مدیریت اعمال شده بر آن است (Liu و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین منحنی رطوبتی خاک یکی از سودمندترین ابزار کاربردی در فرآیند مدل‌سازی به‌ویژه فرآیند جریان آب و انتقال املاح می‌باشد. منحنی رطوبتی خاک علاوه براین که متاثر از نوع خاک و شرایط مدیریتی است، نحوه نمونه‌برداری، روش انتخابی مورد استفاده در برآورد پارامترهای آن نیز تحت تاثیر شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد که سبب افزایش درجه عدم قطعیت پارامترهای منحنی رطوبتی خاک می‌گردد (Calamak و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به این که منحنی رطوبتی یک ورودی کلیدی در مدل‌های آب – خاک محسوب می‌شود و از سوی دیگر در ارزیابی سایر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک نیز نقش اساسی ایفاء می‌کند، مطالعه عدم قطعیت منحنی رطوبتی خاک بسیار ضروری و با اهمیت می‌باشد. از روش‌های کاربردی که در مطالعه عدم قطعیت می‌توان از آنها استفاده نمود، روش بوت استرپ و GLUE می‌باشد . صبری و همکاران (۱۳۹۴) عدم قطعیت شیب منحنی رطوبتی خاک در نقطه عطف را با استفاده از شبکه عصبی ادغام شده با بوت استرپ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ایشان بیانگر وجود عدم قطعیت در توابع انتقالی بکار رفته در برآورد نقطه عطف منحنی رطوبتی خاک است. Deng و همکاران (۲۰۰۹) نیز با استفاده از روش بوت‌استرپ به مطالعه عدم قطعیت جریان غیراشباع آب در خاک پرداختند. Yan و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش GLUE به ارزیابی عدم قطعیت پارامترهای هیدرولیکی خاک پرداختند، نتایج حاصل بیانگر توانمندی این روش در برآورد کمّی عدم قطعیت پارامترها است. Brandyk و همکاران (۲۰۱۶) نیز میزان عدم قطعیت رطوبت خاک در یک بافت لوم شنی را با استفاده از روش GLUE مطالعه نمودند. نتایج بدست آمده از این تحقیق بیانگر وجود عدم‌قطعیت در رطوبت خاک اندازه‌گیری شده با استفاده از TDR می‌باشد. عدم

*ایمیل نویسنده مسئول: v.jalali@uk.ac.ir

قطعیت پارامترهای منحنی رطوبتی خاک نقش بسزائی در ساختار منحنی رطوبتی خاک ایفا می‌کنند، به‌ویژه زمانی که ساختار منحنی رطوبتی خاک انعکاس‌کننده ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و شاخصی از کیفیت آب مورد استفاده باشد و همچنین بیانگر میزان دقت بکار رفته در اندازه‌گیری داده‌هاست. از این‌رو، بررسی و مطالعه عدم قطعیت پارامترهای منحنی رطوبتی خاک در بهبود برآورد پارامترهای هیدرولیکی و شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژی در مقیاس‌های بزرگ می‌تواند کمک شایانی به محققین داشته باشد. هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی عدم قطعیت پارامترهای مدل ون‌گنوختن در بافت شن لومی با کاربرد دو روش بوت استرپ و GLUE می‌باشد و همچنین میزان توانایی و کارایی این دو روش نیز مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

مواد و روش

در این پژوهش از بافت شن لومی که از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان نمونه‌برداری شده بود، استفاده گردید. از این-روبه ۵۰ نمونه تصادفی تهیه و پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و توزیع ذرات خاک با استفاده از روش پیپت و منحنی رطوبتی خاک با استفاده از روش صفحه فشاری اندازه‌گیری شدند. برای بدست آوردن مقادیر پارامترهای منحنی رطوبتی خاک از نرم افزار RETC استفاده گردید. سپس با استفاده از روش بوت‌استرپ و GLUE میزان عدم‌قطعیت پارامترهای مدل ون‌گنوختن (معادله ۱) مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$\theta_w = \theta_r + (\theta_s - \theta_r)S \quad (1)$$

$$m=1-1/n \quad S = \frac{1}{[1+(\alpha.\psi)^n]^m} \quad (2)$$

که θ_w، θ_r و θ_s به‌ترتیب مقدار آب حجمی، آب باقی‌مانده و آب اشباع‌شده می‌باشند، S : درجه اشباع موثر خاک بوده که بین صفر و ۱ متغیر است و α ، n و m نیز پارامترهای برازش‌دهنده منحنی رطوبتی خاک هستند که مقادیر غیرمنفی می‌باشند.

روش تخمین عدم قطعیت

- **بوت‌استرپ:** در این روش ابتدا به تولید نمونه‌های ساختگی مشابه با نمونه اصلی پرداخته می‌شود و سپس با برآورد مقدار اریبی، ارائه برآوردگر اریب- اصلاح‌شده و ساخت بازه‌های اطمینان به ارزیابی عدم‌قطعیت مقدار کارایی بدست آمده از نمونه اصلی می‌پردازد. از خود داده‌ها و به تعداد داده‌های هر سری، نمونه گرفته می‌شود. این عمل، معمولاً چندین بار (در این تحقیق ده‌هزار بار) تکرار شده و برای هر تکرار یک میانگین و یک واریانس محاسبه شده و سپس فاصله اطمینان هر تکرار محاسبه می‌شود (Tibshiranو Efron ، ۱۹۹۳).

- **GLUE :** یکی از روش‌های کاربردی که در مبحث تعیین عدم‌قطعیت در جنبه های مختلف علوم کاربرد فراوانی یافته است، روش GLUE است (Bevenو Binley، ۱۹۹۲). مراحل اجرای روش GLUE به شرح زیر می‌باشد:

تعیین محدودی اولیه پارامترها که براساس مطالعات پیشین، از تابع توزیع یکنواخت استفاده گردید.

برای تولید N مجموعه داده تصادفی برای هر پارامتر از روش نمونه‌گیری مکعب لاتین بهره گرفته شد که در این تحقیق ۱۰۰۰۰ نمونه برای هر پارامتر تولید شده است.

تعیین تابع درست‌نمایی: در زمینه عدم قطعیت توابع زیادی در این خصوص ارائه شده است که می‌توان به حداقل میانگین مربعات خطا و تبدیل نمایی واریانس خطا با ضریب شکل N اشاره نمود (Izady و همکاران، ۲۰۱۵) .

حد آستانه برای پذیرش مجموعه پارامترهای قابل قبول تعیین شد.

برای مجموعه پارامترهای قابل قبول مقادیر درست نمایی محاسبه گردید.

معیارهای ارزیابی عدم قطعیت

برای تعیین میزان کارایی روشهای مورد مطالع در تخمین میزان عدم قطعیت پارامترهای مدل ون‌گنوختن، از شاخصهای P *factor* و *d factor* به قرار زیر استفاده شد:

عامل P: درصد قرار گرفتن داده‌ها در محدوده فاصله اطمینان را نشان می‌دهد (Han و Vanapalli، ۲۰۱۶).

$$P_{CI} = \frac{NQ_{Observed}}{NQ_{All}} \times 10 \quad (۳)$$

که در رابطه فوق $NQ_{Observed}$، تعداد متغیر مشاهداتی که در فاصله اطمینان قرار گرفته‌اند و NQ_{All}، تعداد کل متغیر بدست آمده است.

عامل d: پهنای نرمال‌شده محصور بین حد بالا و حد پایین متغیر شبیه‌سازی شده در سطح اطمینان موردنظر می‌باشد (Jin et al., 2010).

$$\mathrm{d-factor} = \frac{1}{n}\sum \frac{\mathrm{Limit_{Upper,t}} - \mathrm{Limit_{Lower,t}}}{\mathrm{Q_{Obs,t}}} \quad (۴)$$

در رابطه فوق $\mathrm{Limit_{Upper,t}}$ و $\mathrm{Limit_{Lower,t}}$ به ترتیب حد بالا و حد پایین فاصله اطمینان محاسبه شده در tامین مقدار شبیه‌سازی است. n تعداد کل اندازه‌گیری شده و $\mathrm{Q_{Obs,t}}$ مقداری که برای متغیر مورد نظر مشاهده شده است، می‌باشد.

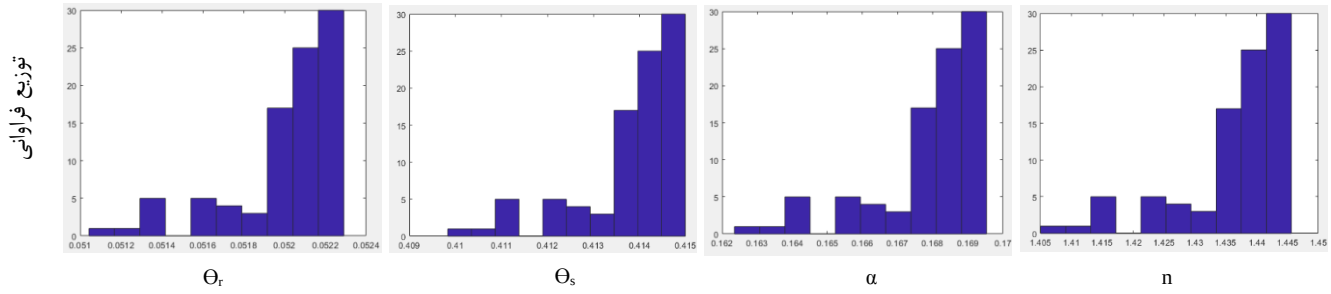
نتایج و بحث

در جدول ۱ دامنه تغییرات اولیه (پیشین) پارامترهای مدل ون‌گنوختن براساس عملکرد نرم‌افزار RETC ارائه شده است. همچنین توزیع فراوانی (توزیع پسین) هر یک از پارامترها براساس بهترین سری از داده‌های حاصل از هر دو روش بوت‌استرپ و GLUE به‌ترتیب در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است.

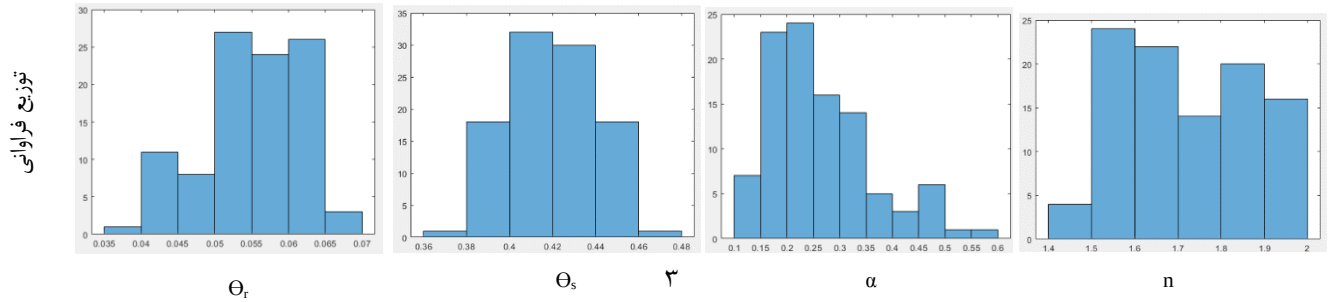
جدول۱- توزیع پیشین پارامترهای مدل ون‌گنوختن

مدل ون‌گنوختن	Θ_r	Θ_s	α	n
	۰/۰۳۵-۰/۰۷	۰/۳۶-۰/۴۸	۰/۰۹۱-۰/۲۷	۰/۶۰۹-۲/۶۳

توزیع پسین پارامترهای مدل، شاخصی برای ارزیابی میزان عدم قطعیت مدل است. توزیع‌های با حداکثر فراوانی، مربوط به پارامترهایی است که به درستی در مدل شناخته شده‌اند در حالی که توزیع‌های مسطح، مربوط به میزان عدم قطعیت پارامتر می‌باشد. پارامتری که هیستوگرام فراوانی توزیع پسین آن مسطح و دامنه تغییرات آن به توزیع پیشین آن نزدیک باشد در واقع حساسیت کمتری در مدل سازی دارد.



شکل۱- توزیع پسین پارامترهای مدل ون‌گنوختن براساس روش بوت‌استرپ



شکل۲- توزیع پسین پارامترهای مدل ون‌گنوختن براساس روش GLUE

برپایه شکل ۱ و ۲ می‌توان بیان نمود که عدم‌قطعیت در هر چهار پارامتر مدل ون‌گنوختن به خوبی قابل مشاهده است. اما دامنه تغییرات و نحوه توزیع فراوانی پارامترها در روش GLUE نسبت به روش بوت‌استرپ روندی متفاوت‌تری را دنبال می‌کند. دامنه تغییرات Θ_r و Θ_s در روش بوت‌استرپ در دامنه کوچکتری نسبت به توزیع اولیه در حال تغییر است و از سوی دیگر روند پیوسته‌ای را دنبال نمی‌کند در حالی که در روش GLUE در همان محدوده اولیه در حال تغییر است و دارای یک روند پیوسته می‌باشد. برای پارامتر α، توزیع پسین در هر دو روش در بازه خارج از محدوده اولیه است هرچند که مجدداً در روش بوت‌استرپ روندی گسسته دارد. دامنه توزیع پسین پارامتر n در هر دو روش نیز دارای یک بازه کوچکتر نسبت به بازه توزیع پیشین می‌باشد که روند تغییرات در روش GLUE نسبت به روش بوت‌استرپ پیوسته و گسترده‌تر است. با وجود تفاوت‌های موجود در بازه توزیع پسین پارامترها در هر دو روش، به خوبی عدم‌قطعیت موجود در پارامترهای مدل ون‌گنوختن نسبت به توزیع پیشین آن برآورد شده است. بازه اطمینان ۹۵ درصد برای نمونه خاک شن لومی براساس عملکرد روش بوت‌استرپ و GLUE در شکل ۳ ارائه شده است.

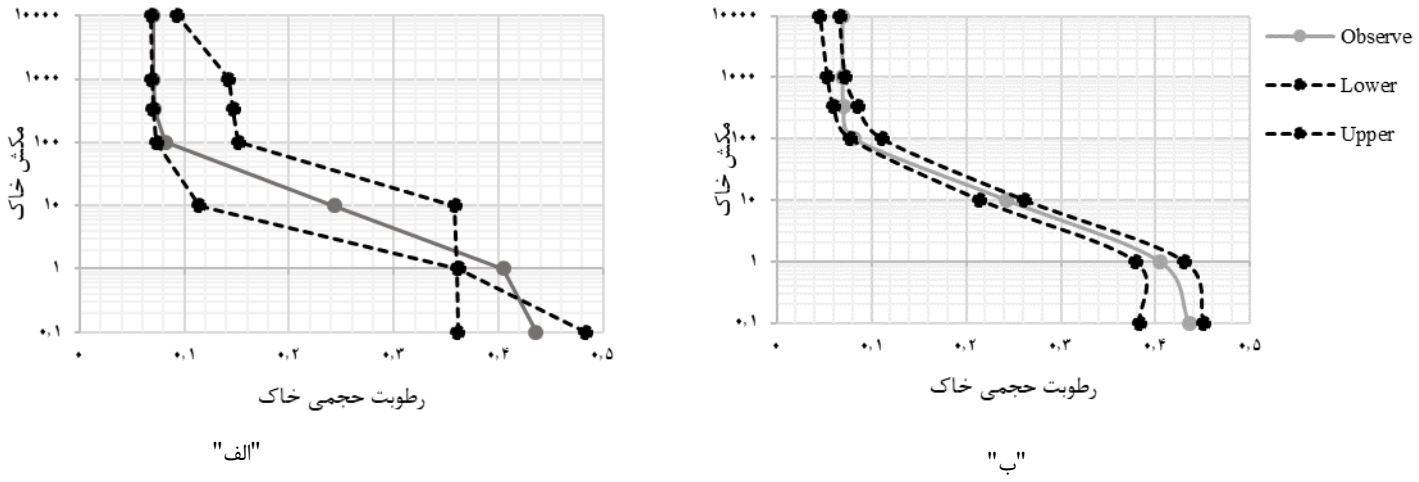
با توجه به شکل ۳ "الف" حد بالای منحنی رطوبتی خاک روندی متفاوت از منحنی رطوبتی حاصل از نرم‌افزار RETC طی می‌کند، به‌طوری که عدم توانایی روش بوت‌استرپ در شبیه‌سازی مقدار رطوبت حجمی خاک در محدوده مکش‌های پایین به‌خوبی قابل مشاهده است. وضعیت قرار گرفتن منحنی رطوبتی خاک و حد بالا و پایین محدوده اطمینان در نمودار "الف" را می‌توان به کارایی پایین روش بوت‌استرپ در این مطالعه نست داد، در حالی که روش GLUE عملکرد خوبی داشته است. حد بالا و پایین حاصل از روش GLUE روندی کاملاً مشابه با نمودار حاصل از نرم‌افزار RETC دارد. از سویی براساس نمودار "ب" پهنای باریک بازه اطمینان بیانگر توانایی بالای روش GLUE در تعیین حد بالا و پایین منحنی رطوبتی خاک می‌باشد. با توجه به نمودار حاصل در خاک شن لومی با کاهش مکش خاک، عدم قطعیت دارای روند افزایشی است که بیشترین روند در برآورد نقطه اشباع مشاهده می‌گردد. نتایج مطالعات Minasny و Field (۲۰۰۵) نیز موید افزایش عدم‌قطعیت همراه با کاهش مکش در خاک‌های سبک است. همچنین این محققین بیان نمودند که در خاک‌های با بافت سبک، دامنه تغییرات عدم‌قطعیت در محدوده مکش‌های پایین نسبت به محدوده مکش‌های بالا روند افزایشی دارد در حالی‌که در سایر بافت‌ها رفتاری متفاوت قابل مشاهده است که این عدم‌قطعیت موجود را می‌توان به توزیع اندازه ذرات خاک نسبت داد. برای ارزیابی بهتر محدوده اطمینان و روند قرار گرفتن منحنی رطوبتی در این بازه از دو شاخص P و d استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل که در جدول ۲ ارائه شده است. بیشترین مقدار P و کمترین مقدار d متعلق به روش GLUE است. هرچه پهنای بازه اطمینان باریکتر باشد مقدار شاخص d کمتر و به صفر نزدیکتر می‌باشد و در مقابل مقدار شاخص P بیشتر و به ۱۰۰ نزدیکتر خواهد بود که بیانگر کاهش عدم‌قطعیت مدل مورد مطالعه است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲، روش GLUE به خوبی توانسته است منحنی رطوبتی خاک را شبیه‌سازی کند. در مقابل روش بوت‌استرپ واجد دقت بالایی در برآورد عدم‌قطعیت مدل ون‌گنوختن است که با نتایج تحقیق Minasny و Field (۲۰۰۵) نیز مطابقت دارد.

جدول ۲- ارزیابی کمّی عدم‌قطعیت مدل ون‌گنوختن

	روش	P	d
مدل ون‌گنوختن	بوت‌استرپ	۲۸/۵۷	-۰/۵۹
	GLUE	۸۵/۷۱	۰/۲۶

نتیجه‌گیری

عدم‌قطعیت یک ویژگی ذاتی است که در ساختار مدل، پارامترها و داده‌های ورودی مدل نهفته می‌باشد. از آن‌جایی که برآورد مجموعه بهینه از پارامترها به‌ویژه در روابط غیرخطی به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد و همواره با خطا مواجه است، کاربرد روش‌های عدم‌قطعیت این امکان را فراهم می‌سازد تا خطای موجود در فرآیند مدل‌سازی با استفاده از محدوده اطمینان مشخص گردد. نتایج این تحقیق بیانگر وجود



"الف" "ب"

شکل۳- بازه اطمینان منحنی رطوبتی خاک براساس مدل ون‌گنوختن. "الف":روش بوت‌استرپ، "ب" : روش GLUE

عدم‌قطعیت در پارامترهای مدل ون‌گنوختن می‌باشد. بیشترین و کمترین عدم‌قطعیت به ترتیب در نقطه برآورد اشباع خاک و رطوبت باقی‌مانده خاک مشاهده گردید که می‌توان به توزیع اندازه ذرات و روش بکار رفته در تعیین نقاط منحنی رطوبتی خاک نسبت داد. همچنین بازه اطمینان حاصل از روش GLUE به خوبی بیانگر توانایی این روش در واسنجی پارامترهای مدل ون‌گنوختن است به‌طوری که تمام نقاط اندازه‌گیری شده در بازه اطمینان ۹۵ درصد قرار گرفته است و ضخامت بازه اطمینان نسبتاً کم می‌باشد. در حالی که در روش بوت‌استرپ بازه اطمینان دارای ضخامتی پهن‌تر می‌باشد که نشاندهنده پرت بودن تخمینهای صورت‌گرفته و قرار نگرفتن نقاط اندازه‌گیری در محدوده اطمینان توسط این روش می‌باشد که در مجموع این روش در برآورد نقاط رطوبتی عملکرد ضعیفی نشان داده است.

منابع:

صبری، م.، نیشابوری، م. ر.، قربانی، م. ع.، شهبازی، ف. و ولیزاد، خ. ۱۳۹۴. تخمین شاخص کیفیت فیزیکی خاک و عدم‌قطعیت با به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی بوت‌استرپ (BANNs). نشریه دانش آب و خاک، ۲۶ (۱/۲)، ۱۸۷-۱۷۳.

Beven, K., Binley, A. 1992. The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction. Hydrological processes. Journal. 6: 279-298. https://doi:10.1002/hyp.3360060305.

Brooks, R., and Corey, T. 1964. HYDRAU uc Properties of Porous Media. Hydrology Papers, Colorado State University.

Calamak, M., Melih Yanmaz, A., and Kentel, E. 2017. Probabilistic evaluation of the effects of uncertainty in transient seepage parameters. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 143(9), 06017009.

Efron, B., and Tibshirani, R. J. 1993. An introduction to the bootstrap. Chapman and Hall, New York, NY.

Deng, H., Ye, M., Schaap, MG., and Khaleel, R. 2009 .Quantification of uncertainty in pedotransfer function- based parameter estimation for unsaturated flow modeling. Water. Resource. Research. Journal. 45(4).

Harrison, K. W., Kumar, S. V., Peters- Lidard, C. D., and Santanello, J. A. 2012 .Quantifying the change in soil moisture modeling uncertainty from remote sensing observations using Bayesian inference techniques. Water. Resource. Research. Journal. 48(11).

Han, Z. and Vanapalli, S.K. 2016. Stiffness and shear strength of unsaturated soils in relation to soil-water characteristic curve. Géotechnique Journal. 66(8):627-647.

Izady, A., Davary, K., Alizadeh, A., Ziaei, A. N., Akhavan, S., Alipoor, A., and Brusseau, M. L. 2015. Groundwater conceptualization and modeling using distributed SWAT-based recharge for the semi-arid agricultural Neishaboor plain, Iran. Hydrogeology Journal. 23(1): 47-68.

Jin, X., Xu, C.Y., Zhang, Q., Singh, V.P. 2010. Parameter and modeling uncertainty simulated by GLUE and a formal Bayesian method for a conceptual hydrological model. Hydrology Journal. 383(3-4):147-155.

Liu, W., Luo, X., Huang, F., Fu, M. 2017. Uncertainty of the Soil–Water Characteristic Curve and Its Effects on Slope Seepage and Stability Analysis under Conditions of Rainfall Using the Markov Chain Monte Carlo Method. Water Journal. 9(10): 758.

Minasny, B., and Field, D. J. 2005. Estimating soil hydraulic properties and their uncertainty: the use of stochastic simulation in the inverse modelling of the evaporation method. Geoderma, 126(3-4), 277-290.

van Genuchten, M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils 1. Soil science society of America journal. 44(5): 892-898.

Yan, Y., Liu, J., Zhang, J., Li, X., and Zhao, Y. 2017. Quantifying soil hydraulic properties and their uncertainties by modified GLUE method. Int. Agrophys Journal. 31(3): 433-445.

16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019

Topic for submission: soil physics and growth plant

Uncertainty assessment of van Genuchten parameters using Bootstrap and GLUE method

Samaneh Etminan[1], Vahidreza Jalali[* 2], Majid Mahmoodabadi[2], Abbas Khashei siuki[3], Mohsen Pourreza Bilondi[3]

[1]Ph.D. candidate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

[2]Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman.

[3]Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand.

Abstract:

Studying soil hydraulic properties specially the parameters of soil water retention curve is useful and effective for agriculture, environmental and engineering applications purposes. The parameters of soil water retention curve not only have insignificant role to estimate soil water and determine the plant-water requirement, but also are very effective to performance and efficiency other physical soil models to soil and water management. So, in this research assessed van Genuchten parameters of uncertainty in Loamy sand texture using Bootstrap and GLUE methods, also investigated the ability of these methods to estimate uncertainty of soil water retention curve parameters. For this purpose, were selected completely random 50 soil sample points of agriculture faculty, Shahid Bahonar university of Kerman. Using RETC software, van Genuchten model parameters were estimated, then uncertainty parameters were assessed with applied Bootstrap and GLUE method. The results represent that existence of uncertainty in the parameters of the van Genuchten model especially n, α and Θ_s. On the other hand the results showed that GLUE method had ability to assess van Genuchten model uncertainty.

Keyword: Soil water retention, Physical soil model, RETC.

[*]Corresponding author, Email: v.jalali@uk.ac.ir