



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هفتم، شماره اول، ۱۳۹۹

۱۹۷-۲۱۱

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.16809.3214

کاربرد روش GLUE در برآورد عدم قطعیت پارامترهای آلفا و n در منحنی رطوبتی خاک

سمانه اطمینان^۱، * وحیدرضا جلالی^۲، مجید محمودآبادی^۲، عباس خاشعی سیوکی^۳ و محسن پوررضا^۳

^۱دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، آدانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان،

^۲دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۳

چکیده

سابقه و هدف: منحنی رطوبتی خاک یک مفهوم کلیدی در فرآیند مدل‌سازی مطالعات فیزیکی و هیدرولوژی خاک است که نقش تعیین‌کننده‌ای در مدیریت آب‌وخاک دارد. از طرفی، دقت مدل‌های مورد استفاده در توصیف منحنی رطوبتی خاک متأثر از روند تغییرات پارامترهای آن است. تجزیه و تحلیل میزان عدم قطعیت پارامترهای هیدرولیکی منحنی رطوبتی خاک در فرآیند مدل‌سازی، تعیین پارامترهای ورودی مدل‌ها و ارزیابی میزان عملکرد مدل‌ها نقش به‌سزایی دارد. از این رو هدف از این مطالعه ارزیابی کاربرد روش شبیه‌سازی GLUE که یک روش شبیه‌سازی مبتنی بر روش مونت‌کارلو است، در برآورد میزان عدم قطعیت متغیرهای آلفا و n در سه مدل ون‌گنوختن، ون‌گنوختن-معلم و ون‌گنوختن-بوردين با ثابت فرض نمودن سایر پارامترهای منحنی رطوبتی خاک، می‌باشد.

مواد و روش‌ها: ابتدا از دو نمونه خاک غالب مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان نمونه‌برداری صورت گرفت و سپس با استفاده از داده‌های حاصل از دستگاه صفحه فشاری و نرم‌افزار RETC، منحنی رطوبتی خاک برای هر دو نمونه خاک (کلاس بافتی شن لومی و لوم رس سیلتی) بر پایه هر سه مدل مذکور، رسم و پارامترهای منحنی رطوبتی آنها استخراج شد، سپس با استفاده از روش GLUE، میزان عدم قطعیت پارامترهای آلفا و n در هر سه مدل بررسی شد. هم‌چنین در ادامه براساس عملکرد GLUE میزان عدم قطعیت ذاتی هر یک از سه مدل برای هر کدام از کلاس‌های بافتی مورد مطالعه، تحت بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نمودار پسین برای هر یک از پارامترهای هیدرولیکی مورد مطالعه برای هر سه مدل مذکور در هر کلاس بافتی به‌دست آمد، محدوده اطمینان ۹۵ درصد از شبیه‌سازی نقاط منحنی رطوبتی خاک نیز برای هر سه مدل در هر دو کلاس بافتی به‌عنوان خروجی اصلی این پژوهش حاصل شد. برای کمی‌سازی میزان عدم قطعیت مدل‌ها ۴ شاخص ارزیابی عدم قطعیت محاسبه و بررسی گردید. بر پایه شاخص‌های ارزیابی بهترین مدل برای بافت لوم رس سیلتی و شن لومی به‌ترتیب مدل ون‌گنوختن-معلم ($PCI = 85/71$, $d-factor = 0/2013$, $S = 0/079$, $T = 0/4662$) و مدل ون‌گنوختن ($PCI = 28/75$, $d-factor = 0/0766$, $S = 0/6453$, $T = 1/1034$) است.

* مسئول مکاتبه: v.jalali@uk.ac.ir

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از نمودارهای توزیع پسین نشان داد که متغیرهای هیدرولیکی آلفا و n در روند واسنجی از قابلیت شناسایی کم‌تری برخوردار بوده و نمی‌توان دامنه بهینه برای آن‌ها تعیین نمود، از این رو این دو متغیر نقش عمده‌ای در عدم قطعیت منحنی رطوبتی خاک دارند. همچنین بررسی عدم قطعیت هر سه مدل نشان داد که روش GLUE به‌خوبی توانسته است نقاط منحنی رطوبتی خاک را برآورد نماید به‌طوری‌که منحنی رطوبتی حاصل از نرم‌افزار RETC برای هر سه مدل در هر دو کلاس بافتی در محدوده اطمینان ۹۵ درصد قرار گرفت. قرار گرفتن حدود ۸۵ درصد از نقاط منحنی رطوبتی خاک برای بافت لوم رسی سیلتی در محدوده اطمینان ۹۵ درصد، بیانگر توانایی بالای روش GLUE است.

واژه‌های کلیدی: روش مونت‌کارلو، عدم قطعیت، مدل ون‌گونختن

مقدمه

حرکت آب در خاک یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در مطالعات کشاورزی و محیط‌زیست است که در حل بسیاری از مسائل مرتبط با زهکشی آب‌های زیرزمینی، آبیاری، میزان قابل‌دسترس بودن آب و تعیین رشد گیاه تحت روش‌های مدیریتی گوناگون، کمک شایانی می‌کند (۳۰). یکی از مهم‌ترین شاخص‌هایی که با استفاده از آن می‌توان به‌طور کمی به بررسی حرکت آب در خاک پرداخت، منحنی رطوبتی خاک است. منحنی رطوبتی خاک، در کنار این‌که در مسائل زهکشی و حرکت آب در خاک تحت شرایط غیراشباع بسیار کارآمد است، وضعیت ساختمان خاک و قابلیت جذب سطحی خاک را نیز به‌طور کمی مورد ارزیابی قرار می‌دهد، همچنین نقش مهمی در انعکاس خصوصیات هیدرولیکی و مکانیکی خاک‌های غیراشباع دارد (۱۰). منحنی رطوبتی خاک تحت تأثیر فاکتورهای بسیار پیچیده‌ای از جمله مقدار رطوبت اولیه (۱۴)، توزیع اندازه ذرات خاک (۱۲)، وضعیت تنش (۷) و دما (۸) می‌باشد علاوه بر فاکتورهای تأثیرگذار ذکر شده، متأثر از تعداد نقاط نمونه‌برداری، نوع مدل انتخاب‌شده و همچنین روش برآورد پارامترهای منحنی رطوبتی خاک نیز می‌باشد. روش‌های مستقیم از جمله صفحه فشاری در تعیین و

برازش پارامترهای منحنی رطوبتی خاک بکار می‌روند که البته اغلب زمان‌بر و پرهزینه می‌باشند. در کنار این روش‌های مستقیم، از روش‌های تخمین غیرمستقیم هم‌چون نرم‌افزار RETC و ROSSETA که بر پایه شبکه عصبی طراحی شده‌اند در جهت بهینه‌سازی و برآورد پارامترهای منحنی رطوبتی خاک استفاده می‌گردد. از آنجایی‌که این مدل‌ها، مقدار پارامترها را براساس برازش داده‌های آزمایشگاهی و یا روش‌های غیرمستقیم ارائه می‌دهند، بنابراین نمی‌توانند بیانگر مقدار دقیق و واقعی هر یک از این پارامترها در بافت‌های مختلف باشند. از دیگر سو به‌دلیل وجود همبستگی بین برخی پارامترها، یک یا چند پارامتر ثابت فرض می‌شود (۲۳) که در این مطالعه با ثابت فرض نمودن دو پارامتر هیدرولیکی خاک، اثر آن بر برآورد برازشی دو پارامتر هیدرولیکی دیگر (آلفا و n) و همچنین نقش آن در میزان عدم قطعیت ساختار مدل‌ها و پارامترهای هیدرولیکی مورد مطالعه قرار گرفت. مطالعات شفيعی و همکاران (۲۰۱۴) نیز بیانگر این مطلب است که پارامترهای هیدرولیکی حاصل از مدل ون‌گونختن - معلم دارای ماهیت برازشی هستند و نقش عمده‌ای در عدم قطعیت فرآیند شبیه‌سازی رطوبت خاک دارند (۲۶). از این رو، با توجه به اهمیت

به تحلیل و مطالعه عدم قطعیت پارامترهای مدل هیدرولوژیکی AFFDEF در استان خوزستان پرداختند. در این پژوهش برای ارزیابی نقش عدم قطعیت پارامترهای مدل در خروجی آن، از دو فاکتور p-factor و d-factor استفاده شد (۱۹). آشفته و بزرگ حداد (۲۰۱۵) با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف پارامترهای مدل و با بکار بردن روش مونت کارلو عدم قطعیت پارامترهای مدل AOGCM را مورد ارزیابی قرار دادند (۲). روش‌های متعددی با هدف کمی‌سازی منابع عدم قطعیت وجود دارد که یکی از این روش‌ها، روش تخمین عدم قطعیت براساس درست‌نمایی تعمیم‌یافته (GLUE) می‌باشد که توسط بون و بایلنی توسعه یافته است (۳). GLUE، یک بسط نمونه‌برداری مونت کارلو است که با تکیه بر اصل همسانی نتایج سری مختلف پارامترها در روند واسنجی و فرض عدم وجود یک سری پارامتر بهینه منحصر به فرد به عنوان پارامترهای کالیبره شده در شبیه‌سازی، منجر به تعیین مجموعه‌ای از سری پارامترهای بهینه مدل و توزیع‌های احتمالاتی مربوط به آن‌ها می‌گردد (۵). شبستانی و همکاران (۲۰۱۷)، همراز و همکاران (۲۰۱۶) و جعفرزاده و همکاران (۲۰۱۶) به ترتیب به منظور ارزیابی میزان عدم قطعیت تبخیر و تعرق گیاه، پارامترهای مدل MODFLOW و بررسی کاهش عدم قطعیت در یک مدل نیمه توزیعی از روش GLUE بهره بردند (۱۱، ۲۵ و ۱۳). استیدینگر و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که اگر روش اندازه‌گیری و حد آستانه پارامترها با دقت اندازه‌گیری شده باشد، روش GLUE می‌تواند برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت و کالیبراسیون مدل، یک روش مناسب باشد (۲۷). از آنجایی که عدم قطعیت پارامترهای منحنی رطوبتی خاک نقش به‌سزایی در ساختار منحنی رطوبتی خاک ایفا می‌کند.

کاربرد پارامترهای هیدرولوژیکی خاک در مباحث گوناگون، مطالعه عدم قطعیت و ارزیابی واسنجی دقیق آن‌ها امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. احمدزاده و معروفی (۲۰۱۷) به مطالعه عدم قطعیت موجود در مدل‌های هیدرولوژیکی پرداختند و بیان نمودند که می‌توان آن را در سه دسته، داده‌های ورودی مدل، پارامترها و ساختار مدل تقسیم‌بندی کرد (۱). نجفیان و همکاران (۲۰۱۷) با وزن‌دهی به داده‌های هواشناسی به بررسی عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوهای مختلف پرداختند و با در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در داده‌ها، میزان دبی و حجم رواناب حوضه دینور کرمانشاه را ارزیابی نمودند (۱۸). هم‌چنین روحانی و همکاران (۲۰۱۷) بیان نمودند مدل‌های گردش عمومی جو، بنا به ماهیت عدم اطمینان به‌طور کامل قادر به توصیف سیستم فیزیکی نمی‌باشند از این رو با استفاده از دو روش بوت‌استرپ و باکس پلات به ارزیابی عدم قطعیت شبیه‌سازی سری زمانی بارش در دو افق در دو ایستگاه هواشناسی مشهد و همدیدی بجنورد پرداختند، نتایج ایشان بیانگر ضخامت زیاد باند عدم قطعیت در بیش‌تر ماه‌ها در ایستگاه همدیدی بجنورد بود (۲۰). به‌کار بردن باکس پلات با حذف داده‌های پرت، به‌منظور تعیین روند تغییرات تابع توزیع احتمال و تابع توزیع تجمعی داده‌ها در جهت فراهم نمودن اطلاعات جامع‌تر در زمینه پارامترها و داده‌های ورودی مدل به‌کار می‌رود و هم‌چنین از روش‌های آماری ناپارامتریک برای بررسی روند متغیرهای مختلف مدل‌ها می‌توان بهره برد که در ارزیابی میزان عملکرد و دقت مدل کمک شایانی دارند (۲۱ و ۲۲). پوررضا بیلندی و همکاران (۲۰۱۵) با هدف تعیین بهینه پارامترهای مدل هیدرولوژیکی با استفاده از دو الگوریتم مونت کارلو و زنجیره مارکوف

پارامترهای منحنی رطوبتی خاک براساس مدل ون‌گنوختن (۱۹۸۰)، ون‌گنوختن-معلم و ون‌گنوختن-بوردین به‌دست آمد (۲۸) و سپس با استفاده از روش GLUE، عدم قطعیت پارامترها و مدل‌های منحنی رطوبتی خاک در هر دو گروه بافتی، مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش تخمین عدم قطعیت GLUE: روش GLUE به‌دلیل مفاهیم ساده، کاربرد راحت و قابلیت انعطاف‌پذیری آن در ارزیابی عدم قطعیت پارامترهای مدل، داده‌های ورودی، ساختار مدل و خطای پارامترها به‌عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌ها در مطالعه عدم قطعیت مدل‌ها شناخته شده است (۳).

مراحل اجرای روش GLUE به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- تعیین محدودی اولیه پارامترها (توزیع پیشین) که براساس مطالعات پیشین، از تابع توزیع یکنواخت استفاده گردید. در این مطالعه از نرم‌افزار RETC برای برآورد مقدار پارامترها بهره گرفته شد. به‌منظور افزایش دقت در برآورد پارامترها حد بالا و پایین دامنه تغییرات به‌صورت $p+4\sigma$ و $p-4\sigma$ در نظر گرفته شد (σ : انحراف معیار و p مقدار برآورد پارامتر).

- ۲- برای تولید N مجموعه داده تصادفی برای هر پارامتر از روش نمونه‌گیری مربع لاتین (LHS) بهره گرفته شد که در این پژوهش ۱۰,۰۰۰ نمونه برای هر پارامتر تولید شده است.

- ۳- تعیین تابع درست‌نمایی: از حداقل میانگین مربعات خطا استفاده گردید.

- ۴- با وزندهی میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) عدم قطعیت پارامترهای منحنی رطوبتی خاک مورد ارزیابی قرار گرفت که بیان ریاضی آن رابطه ۱ زیر است:

$$L(\theta_i|O) = \sum_{i=1}^m RMSE = \sum_{i=1}^m \left[\frac{\sum_{j=1}^n (O_j - Y(\theta_i))^2}{n} \right] \quad (1)$$

از این‌رو، بررسی و مطالعه عدم قطعیت پارامترهای منحنی رطوبتی خاک در بهبود برآورد پارامترهای هیدرولیکی و شبیه‌سازی فرآیندها در مقیاس‌های بزرگ کمک شایانی می‌تواند به پژوهشگران داشته باشد. با توجه به مطالعات صورت گرفته روش GLUE روشی بسیار کارآمد در برآورد میزان عدم قطعیت پارامترهای مدل‌ها می‌باشد، بنابراین در این مطالعه از این روش برای ارزیابی میزان عدم قطعیت پارامترهای مدل‌های فیزیکی خاک در دو بافت متفاوت بهره گرفته شده است. از این‌رو هدف این پژوهش بررسی عدم قطعیت پارامترهای موثر منحنی رطوبتی خاک (آلفا و n) در سه مدل ون‌گنوختن، ون‌گنوختن-معلم و ون‌گنوختن-بوردین تحت نرم‌افزار RETC، با استفاده از روش GLUE در دو کلاس بافتی شن لومی و لوم رس سیلتی بود و در مرحله بعد میزان عدم قطعیت ذاتی مدل‌ها با استفاده از روش GLUE برای هر کلاس بافتی مورد نظر بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از دو گروه بافت غالب (شن لومی، لوم رس سیلتی) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان نمونه‌برداری صورت گرفت. از هر گروه بافتی مورد مطالعه، ۵۰ نمونه تهیه و پس از هوا خشک نمودن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. توزیع اندازه ذرات خاک با استفاده از روش پیپیت و منحنی رطوبتی خاک نیز با استفاده از روش صفحه فشاری اندازه‌گیری شدند. برای به دست آوردن مقادیر اولیه پارامترهای منحنی رطوبتی خاک (توزیع پیشین پارامترها) از نرم‌افزار RETC که توسط ون‌گنوختن (۱۹۹۱) ارائه شده است (۲۹) و در جهت تحلیل و آنالیز ویژگی‌های هیدرولیکی و منحنی رطوبتی خاک در حالت غیراشباع کاربرد دارد، استفاده گردید.

که در آن، $NQ_{observed}$ تعداد متغیر مشاهداتی که در فاصله اطمینان قرار گرفته‌اند و NQ_{All} ، تعداد کل متغیر به دست آمده است.

۲- معیار d -factor پهنای نرمال شده محصور بین حد بالا و حد پایین متغیر شبیه‌سازی شده در سطح اطمینان مورد نظر می‌باشد (۱۵).

$$d - factor = \frac{1}{n} \sum \frac{Limit_{Upper,t} - Limit_{Lower,t}}{Q_{Obs,t}} \quad (4)$$

که در آن، $Limit_{Upper,t}$ و $Limit_{Lower,t}$ به ترتیب مقدار رطوبت حجمی ($cm^3 cm^{-3}$) در حد بالا و حد پایین فاصله اطمینان محاسبه شده در t امین مقدار شبیه‌سازی است. n تعداد کل اندازه‌گیری شده و $Q_{Obs,t}$ مقداری رطوبت حجمی ($cm^3 cm^{-3}$) که در مکش مورد نظر مشاهده شده است، می‌باشد. هم‌چنین با هدف ارزیابی کم‌ترین درجه نامتقارنی و انحراف باندهای برآورد شده نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده، می‌توان از دو شاخص میانگین درجه عدم تقارن (S, T) شامل معیارهای S و T استفاده نمود (۳۱). (شکل ۱).

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i \quad (5)$$

$$s_i = |h_i - 0.5| \quad (6)$$

$$h_i = \frac{q_i^u - Q_i}{q_i^u - q_i^l} = \frac{q_i^u - Q_i}{b_i} \quad (7)$$

$$T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (8)$$

$$t_i = \left[\frac{(q_i^u - Q_i)^2 + (q_i^l - Q_i)^2}{(q_i^u - q_i^l)^2} \right]^{1/2} \quad (9)$$

که در آن، $L((\theta_i|O))$ تابع احتمال مجموعه پارامترها θ_i ، m تعداد نمونه خاک مشاهده‌ای، $Y(\theta_i)$ مقدار رطوبت حجمی ($cm^3 cm^{-3}$) مشاهداتی در زمان j ، O_j مقدار رطوبت حجمی ($cm^3 cm^{-3}$) شبیه‌سازی شده برای سری i ام پارامترها در زمان j ، n تعداد نمونه رطوبت حجمی خاک مشاهداتی است.

۵- برای پذیرش مجموعه پارامترهای قابل قبول حد آستانه انتخاب می‌شود. با توجه به درست‌نمایی تابع هدف، مجموعه پارامترهایی که تابع هدف بیش‌تر از حد آستانه باشد، مجموعه پارامترهای باقی‌مانده به‌عنوان مجموعه قابل قبول شناخته می‌شوند. در این پژوهش برای در نظر گرفتن حد آستانه، یک درصد از بهترین شبیه‌سازی‌ها به‌عنوان شبیه‌سازی‌های برتر در نظر گرفته شد (۱۶).

۶- محاسبه مقادیر درست‌نمایی برای مجموعه پارامترهای قابل قبول. در این مرحله مقادیر احتمالی از راه‌حل‌های باقی‌مانده، مجدداً مقیاس می‌شوند تا تابع توزیع تجمعی (CDF) را از پیش‌بینی خروجی به‌دست آورند به شرطی که مجموعه درست‌نمایی همه مدل‌ها برابر با یک باشد.

$$L_w(\theta_i) = \frac{L(\theta_i|O)}{\sum L(\theta_i|O)} \quad (2)$$

که در آن، درست‌نمایی نرمال شده برای i امین مجموع پارامترهای ورودی است.

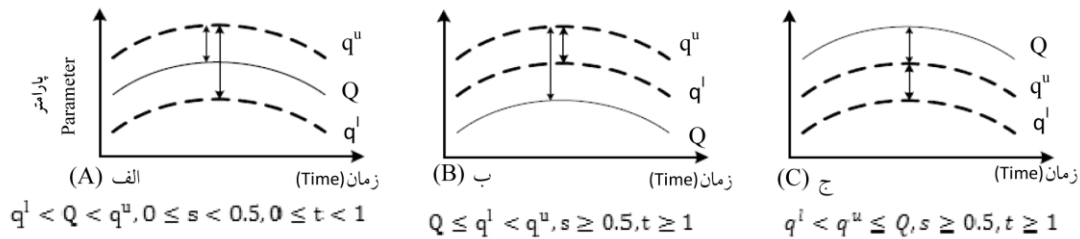
معیارهای ارزیابی عدم قطعیت: در این پژوهش از معیارهای زیر برای بررسی میزان عدم قطعیت پارامترهای مورد نظر استفاده گردید:

۱- معیار p -factor (P_{CI}) درصد قرارگیری داده‌های اندازه‌گیری شده در محدوده فاصله اطمینان را نشان می‌دهد (۱۰).

$$P_{CI} = \frac{NQ_{observed}}{NQ_{All}} \times 10 \quad (3)$$

رطوبت حجمی ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) که در حد پایین فاصله اطمینان به دست آمده است.

که در آن‌ها، Q_i مقداری رطوبت حجمی ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) که در مکش مورد نظر مشاهده شده است. مقدار q_i^u رطوبت حجمی ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) در حدبالا و q_i^l مقدار



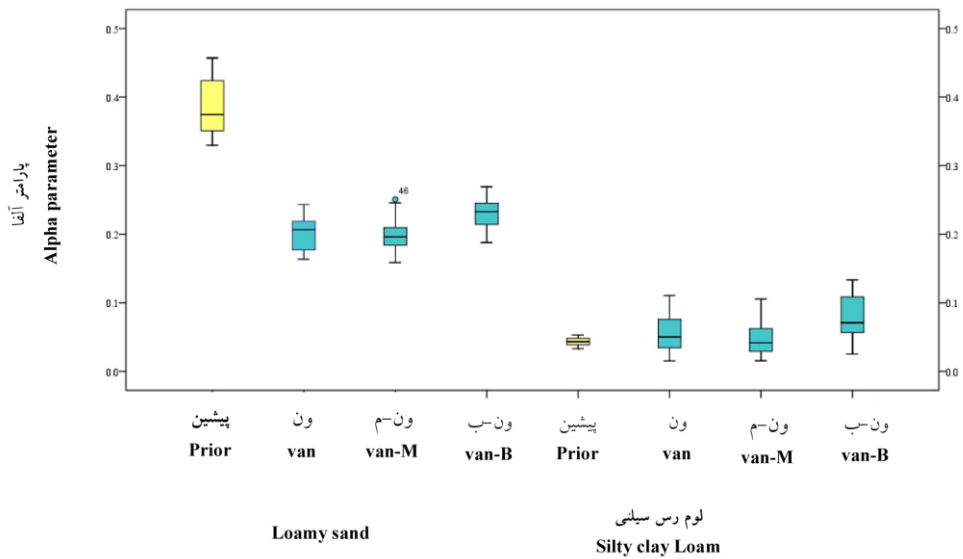
شکل ۱- سه سناریو برای قرارگرفتن مقادیر رطوبت خاک اندازه‌گیری ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) شده نسبت به مقدار برآورد شده.

Figure 1. The three possible scenarios for determining the value of measured soil water ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) to the predicted bounds.

داده‌هایی که از هر سه مدل منجر به بهترین شبیه‌سازی شدند، ترسیم شد (شکل ۳). توزیع پسین پارامترهای مدل، شاخصی برای ارزیابی میزان عدم قطعیت مدل است. توزیع‌های با حداکثر فراوانی مربوط به پارامترهایی است که به‌درستی در مدل شناخته شده‌اند درحالی‌که 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 مدل‌سازی دارد. با توجه به دامنه تغییرات پسین پارامتر آلفا در بافت شن لومی که نسبت به مقادیر پیشین در بازه کوچکی در حال نوسان است، این پارامتر دارای عدم قطعیت بالایی است. براساس نتایج حاصل از شکل ۳، روند توزیعی پارامتر آلفا در هر سه مدل برای خاک شن لومی و همچنین در دو مدل ون‌گنوختن و ون‌گنوختن-بوردین برای خاک لوم رسی سیلتی به شکلی است که به سمت دامنه‌ای با بیش‌ترین فراوانی همگرا نیست که نشان‌دهنده عدم‌شناسایی و تخمین مناسبی برای پارامتر آلفا در مدل‌های مذکور است و فقط در مدل ون‌گنوختن-معلم، خاک لوم رسی سیلتی دارای توزیع لوگ‌نرمال می‌باشد.

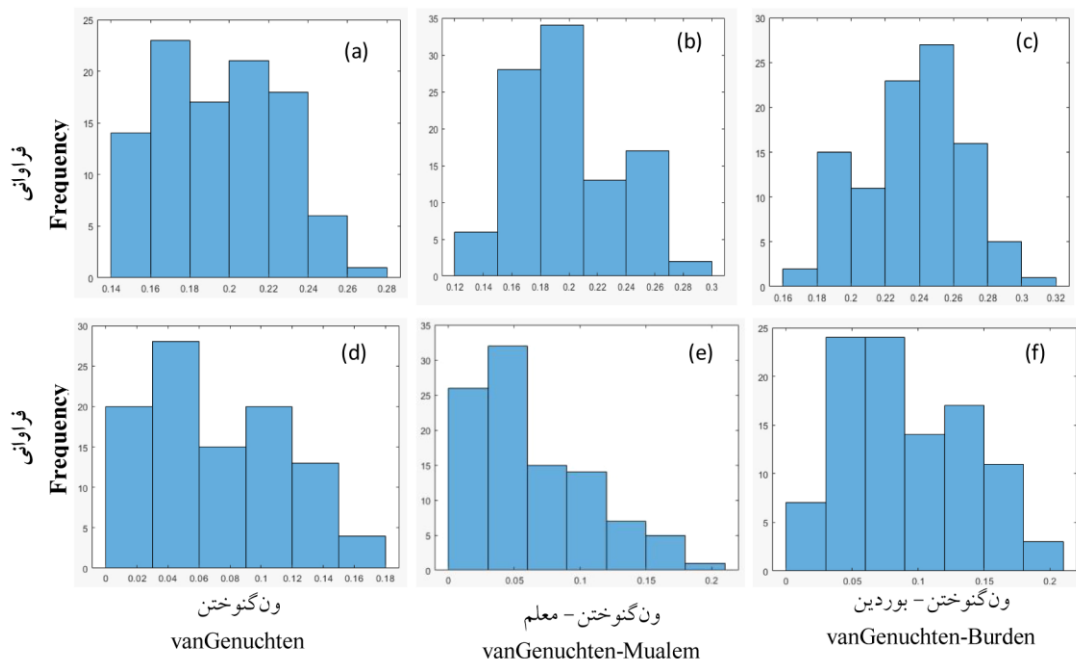
نتایج و بحث

۱- عدم قطعیت پارامتر آلفا (α) خاک: برای بررسی روند تغییرات اولیه (پیشین) و پسین پارامتر آلفا، نمودار جعبه‌ای این پارامتر برای دو خاک شن لومی و لوم رس سیلتی ترسیم گردید (شکل ۲). نمودار جعبه‌ای ابزاری برای بررسی روند تغییرات پارامتر موردنظر در محدوده پسین است که شکل توزیع پسین می‌تواند در تعیین درجه عدم قطعیت پارامتر کمک شایانی کند. با استفاده از نمودارهای جعبه‌ای در محدوده پسین، تفاوت رفتاری پارامتر آلفا در هر سه مدل مورد مطالعه به خوبی نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲ می‌توان بیان نمود که دامنه تغییرات پسین پارامتر آلفا در دو مدل ون‌گنوختن و ون‌گنوختن-معلم دارای روند مشابه در هر دو نمونه خاک هستند. دامنه تغییرات محدوده پسین پارامتر آلفا در نمونه خاک شن لومی نسبت به محدوده پیشین پارامتر آلفا آن کاملاً متفاوت است درحالی‌که برای خاک لوم رس سیلتی دامنه تغییرات پیشین به‌طور تقریبی در محدوده چهارک میانی دامنه تغییرات مقادیر پسین دو مدل ون‌گنوختن و ون‌گنوختن-معلم قرار دارد. همچنین هیستوگرام فراوانی پارامتر آلفا برای هر ۲ نمونه خاک براساس بهترین سری از



شکل ۲- نمودار جعبه‌ای محدودده مقادیر پیشین و پسین پارامتر آلفا (-) در خاک شن لومی و لوم رس سیلتی. نمودار زرد رنگ محدودده مقادیر پیشین و نمودار آبی رنگ محدودده پسین پارامتر آلفا را نشان می‌دهد.

Figure 2. The Box plots of prior and posterior alpha parameter (-) ranges in loamy sand and silty clay loam respectively. The yellow plots represent the prior parameter ranges and the Blue plots represent the posterior parameter ranges.

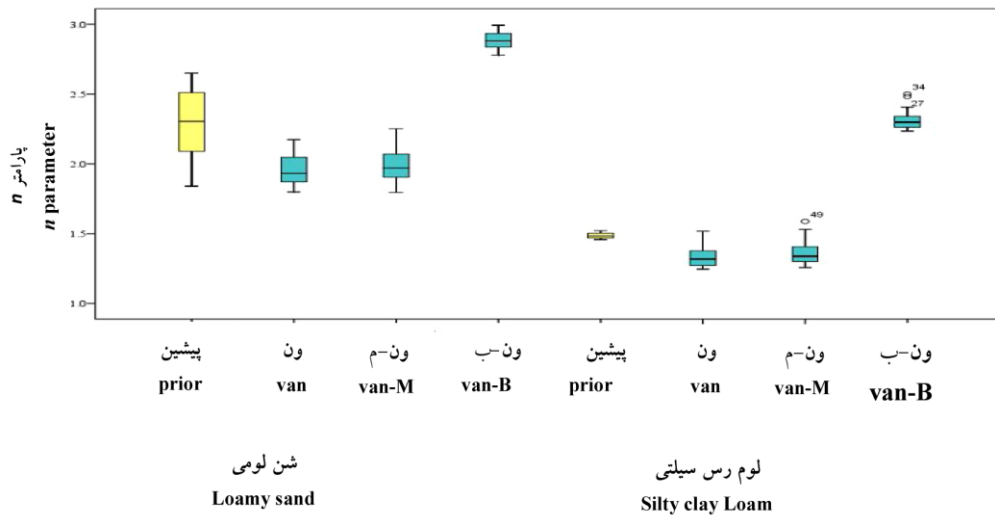


شکل ۳- هیستوگرام فروانی پارامتر پسین آلفا (-) برای خاک شن لومی (a, b, c) و خاک لوم رسی سیلت (d, e, f).

Figure 3. Frequency histograms of posterior alpha parameter (-) in Loamy Sand (a, b, c), and Silty Clay Loam (d, e, f).

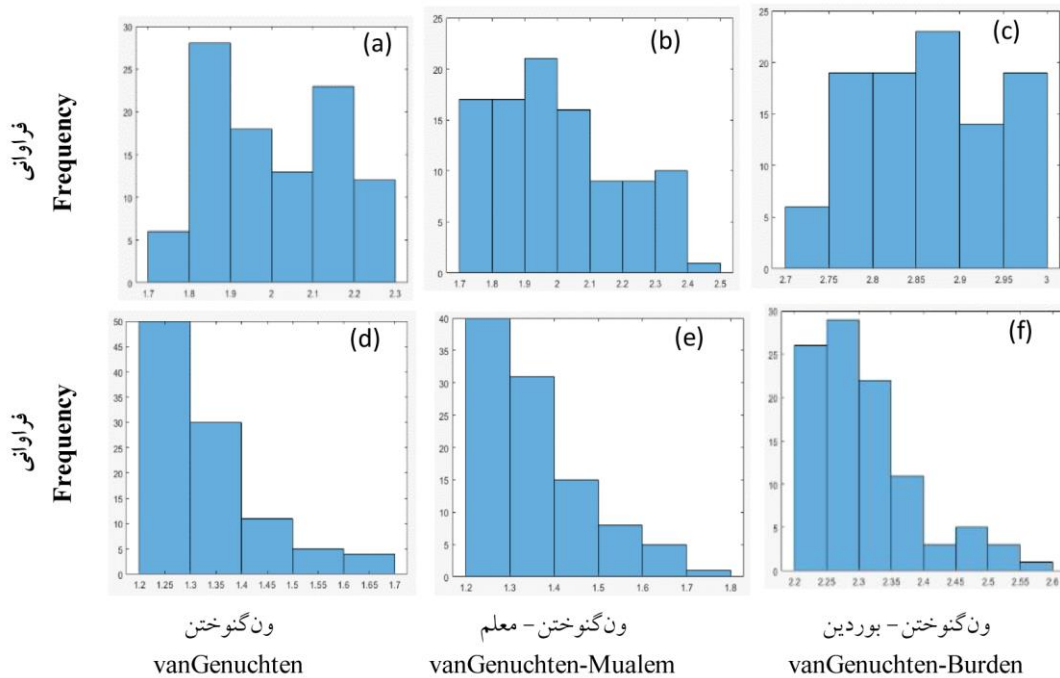
۲- **عدم قطعیت پارامتر (n):** براساس شکل ۴، دامنه تغییرات پسین پارامتر n در هر سه مدل دارای روند متفاوت نسبت به دامنه تغییرات پیشین است. البته دامنه تغییرات این پارامتر در مدل ون‌گنوختن-بوردین نسبت به دو مدل دیگر کاملاً متفاوت می‌باشد. این تفاوت را می‌توان به حد آستانه متفاوت n در مدل ون‌گنوختن-بوردین نسبت داد. روند تغییرات پسین پارامتر n برای دو مدل ون‌گنوختن و ون‌گنوختن-معلم در محدوده چهارک اول و دوم مقادیر پیشین پارامتر n در نمونه خاک شن لومی قرار دارد. درحالی‌که فقط چهارک اول مقادیر پسین پارامتر n برای خاک لوم رسی سیلتی شامل مقادیر پیشین آن است. هیستوگرام فراوانی پارامتر پسین n نیز برای هر دو نمونه خاک، در شکل ۵ نشان داده شده است. مقادیر بالای پارامتر n در نمونه خاک شن لومی را می‌توان به بافت سبک آن و توزیع اندازه ذرات خاک نسبت داد که در مقایسه با نمونه خاک دیگر ویژگی‌های شنی در این خاک غالب بوده و انتظار می‌رود اندازه خلل و فرج در این خاک درشت‌تر باشد. حتی نتایج حاصل از مدل ون‌گنوختن-بوردین نیز مؤکد بالاتر بودن دامنه تغییرات پارامتر n بوده است. با توجه به هیستوگرام فراوانی پسین، میزان عدم قطعیت پارامتر n در خاک شن لوم در هر سه مدل قابل مشاهده است. درحالی‌که در بافت لوم رسی سیلتی روند توزیع پارامتر n در دو مدل ون‌گنوختن و ون‌گنوختن-معلم از نوع لوگ‌نرمال است. به‌طوری‌که به‌سمت یک دامنه با فراوانی بیش‌تر همگرایی دارد که بیانگر برآورد دقیق آن براساس نقاط اندازه‌گیری است. روند تغییرات پسین پارامتر n در خاک لوم رسی سیلتی بیانگر حساسیت پارامتر مورد مطالعه در دو مدل ون‌گنوختن و ون‌گنوختن-معلم است. پارامترهای آلفا و n، در بافت شن لومی دارای توزیع غیریکنواخت می‌باشند که این امر بیانگر وجود

عدم قطعیت در برآورد نرم‌افزار RETC در این نمونه بافت برای هر سه مدل مذکور می‌باشد. عدم قطعیت این پارامترها برای خاک شن لومی و همچنین عدم برآورد مقداری مشخص برای پارامتر آلفا در هر سه مدل برای خاک لوم رسی سیلتی و پارامتر n در مدل ون‌گنوختن-بوردین مؤکد این مطلب است. همچنین تفاوت رفتاری کاملاً مشخصی در توزیع پیشین و پسین دو پارامتر هیدرولیکی مورد نظر در هر سه مدل برای بافت شن لومی مشاهده شد که بیانگر وجود عدم قطعیت در برآورد این دو پارامتر است. هرچند که این تفاوت رفتار برای پارامتر آلفا نیز در بافت لوم رس سیلتی به‌خوبی مشاهده گردید. یان و همکاران (۲۰۱۷) نیز به بررسی میزان عدم قطعیت پارامترهای منحنی رطوبتی خاک حاصل از مدل ون‌گنوختن-معلم از نرم‌افزار RETC برای خاک‌های لوم رس شنی، شن لومی و لوم شنی با استفاده از روش GLUE پرداختند. نتایج حاصل از ارزیابی توزیع پسین و پیشین پارامترهای منحنی رطوبتی حاصل از نرم‌افزار RETC بیانگر میزان عدم قطعیت موجود در پارامترهای هیدرولیکی خاک است (۳۲). چن و همکاران (۲۰۱۶) به مطالعه عدم قطعیت و حساسیت پارامترهای مدل ون‌گنوختن در یک خاک لوم سیلتی با استفاده از روش GLUE پرداختند. نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که دامنه تغییرات پارامترهای آلفا، n و رطوبت اشباع به‌راحتی قابل شناسایی نیست و دارای عدم قطعیت بالایی در نمونه بافت مورد مطالعه هستند (۶). مطالعات شفيعی و همکاران (۲۰۱۴) در یک بافت کاملاً رسی نشان داد که توزیع پسین پارامتر آلفا در مدل ون‌گنوختن-معلم دارای توزیع نمایی است و دارای عدم قطعیت بالایی است درحالی‌که توزیع پسین پارامتر n دارای توزیع لوگ‌نرمال بوده و روند مشخصی را طی می‌کند (۲۶).



شکل ۴- نمودار جعبه‌ای محدودده مقادیر پیشین و پسین پارامتر n (-) در خاک شن لومی و لوم رس سیلتی. نمودار زردرنگ محدودده مقادیر پیشین و نمودار آبی رنگ محدودده پسین پارامتر n را نشان می‌دهد.

Figure 4. Box plots of prior and posterior 'n' parameter (-) ranges in loamy sand and silty clay loam respectively. The yellow plots represent the prior parameter ranges and the Blue plots represent the posterior parameter ranges.



شکل ۵- هیستوگرام فراوانی پارامتر پسین n (-) در خاک شن لومی (a, b, c) و لوم رس سیلتی (d, e, f).

Figure 5. Frequency histograms of posterior n parameter (-) in Loamy Sand (a, b, c), and Silty Clay Loam (d, e, f).

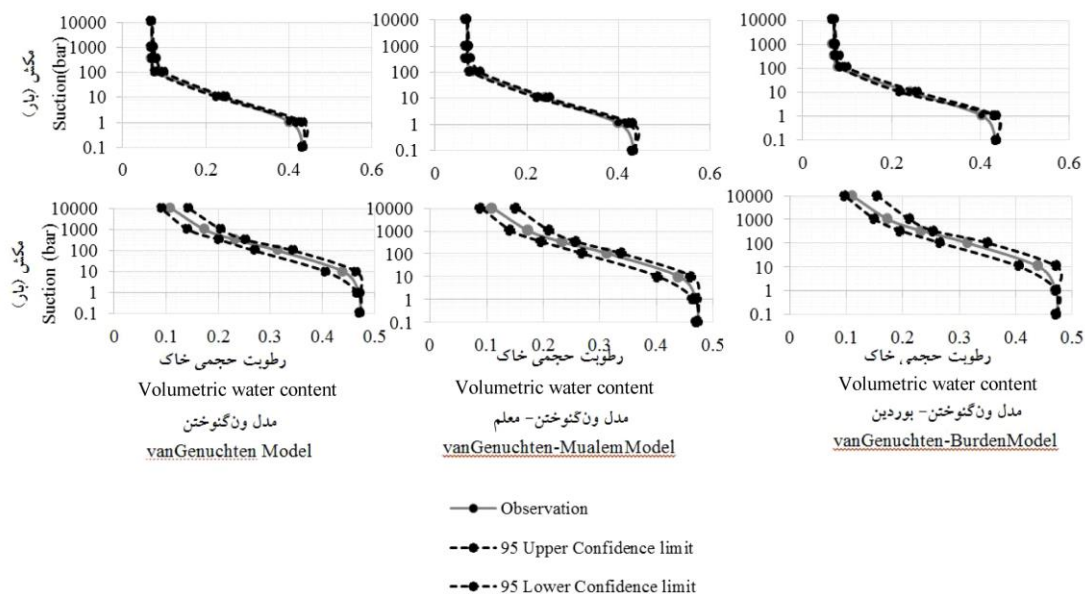
تحلیل عدم قطعیت مدل‌های منحنی رطوبتی خاک:

نتایج شبیه‌سازی نقاط منحنی رطوبتی خاک با استفاده از روش GLUE به صورت محدودده اطمینان ۹۵ درصد در شکل ۶ نشان داده شده است. محدودده اطمینان با مرتب نمودن پارامترهای قابل قبول به دست آمده از مرحله (۴) از روش GLUE و با در نظر گرفتن مجموعه پارامترهای قرار گرفته بین ۲/۵ درصد حد بالا و پایین برای هر یک از مدل‌ها به دست می‌آید. در شکل ۶- الف، نمودار منحنی رطوبتی خاک شن لومی برای هر سه مدل نشان داده شده است. با توجه به پهنای باریک محدودده اطمینان در هر سه مدل، می‌توان ذکر نمود که عدم قطعیت ذاتی هر سه مدل برای خاک شن لومی پایین می‌باشد. البته عمده نقاط منحنی رطوبتی به استثناء دو نقطه در محدودده اطمینان قرار گرفته است، به طوری که در هر سه مدل مورد مطالعه نقطه ورود هوا به خاک، خارج از محدودده اطمینان ۹۵ درصد قرار دارد. علت عدم قرارگیری نقطه ورود هوا در محدودده اطمینان ۹۵ درصد را می‌توان به روش اندازه‌گیری به کار رفته برای تعیین منحنی رطوبتی خاک نسبت داد. در واقع می‌توان بیان کرد روش صفحه فشاری روش مناسبی برای تعیین مقدار رطوبت خاک در محدودده مکش‌های کم‌تر از ۰/۳ بار به منظور تعیین نقطه ورود هوا نیست. همچنین می‌توان به این نکته نیز اشاره نمود که در این مطالعه مقادیر پارامترهای رطوبت باقی مانده و اشباع براساس مطالعات سینک و همکاران (۲۰۱۰) ثابت در نظر گرفته شده است که نتایج حاصل بیان‌گر این است که پارامترهای هیدرولیکی در ترکیب با یکدیگر در برآورد منحنی رطوبتی خاک تأثیرگذار هستند (۲۴) و با توجه به نتایج شفيعی و همکاران (۲۰۱۴) پارامترهای هیدرولیک خاک دارای ماهیت برازشی

هستند و نمی‌تواند مقدار یک یا چند پارامتر را ثابت در نظر گرفت (۲۶). براساس محدودده اطمینان به دست آمده برای خاک لوم رس سیلتی، منحنی رطوبتی خاک در مدل ون‌گنوختن- معلم در وسط محدودده اطمینان قرار گرفته است. دو مدل ون‌گنوختن و ون‌گنوختن- معلم به خوبی نقطه ورود هوا به خاک را برآورد گردید و در حقیقت با توجه به نمودارهای حاصل، مقدار برآورد شده به روش GLUE مشابه همان مقداری است که در آزمایشگاه برای نقطه ورود هوا به دست آمده، اما در مدل ون‌گنوختن- بوردین نقطه ورود هوا مماس با حد پایین اطمینان است. به منظور ارزیابی کمی عدم قطعیت هر یک از مدل‌ها از شاخص‌های PCI، d-factor، S و T استفاده شد که نتایج حاصل از این شاخص‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. بر پایه نتایج ارائه شده در جدول ۱، مدل ون‌گنوختن- بوردین یک مدل ناکارآمد برای خاک شن لومی است و مدل ون‌گنوختن و ون‌گنوختن- معلم روند تغییرات مشابه داشتند اما مدل ون‌گنوختن با تفاوت بسیار اندک نسبت به مدل ون‌گنوختن- معلم عملکرد بهتری داشته است. همچنین بهترین مدل برای خاک لوم رس سیلتی، مدل ون‌گنوختن- معلم است. با توجه به مقادیر به دست آمده از شاخص d-factor مدل‌های منحنی رطوبتی برای خاک شن لومی کم‌ترین عدم قطعیت را دارا هستند در مقابل برای بافت لوم رسی سیلتی دارای عدم قطعیت بالای هستند. با توجه به شکل (۶- ب) نیز به خوبی قابل مشاهده است که در خاک لوم رسی سیلتی با افزایش مکش خاک پهنای محدودده اطمینان نسبت به مکش‌های پایین افزایش یافته که بیانگر افزایش عدم قطعیت مدل‌های مورد مطالعه است. قویدل‌فر و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از

مورد مطالعه، به خوبی توانسته است منحنی رطوبتی خاک را شبیه سازی کند. به طوری که در بیش تر موارد منحنی رطوبتی در محدود اطمینان قرار گرفته و پهنای محدوده نیز کم است که کم ترین مقدار پهنای محدوده اطمینان، در خاک شن لومی مشاهده گردید. نتایج مطالعات یان و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان داد که روش GLUE به خوبی توانسته است نقاط منحنی رطوبتی خاک را برآورد نماید و منحنی حاصل از نرم افزار RETC برای بافت شن لومی در محدوده اطمینان ۹۵ درصد قرار گرفته است. هم چنین نتایج ایشان نشان داد روش GLUE روشی مناسب برای برآورد عدم قطعیت پارامترهای منحنی رطوبتی خاک حاصل از برازش مدل ون گنوختن- معلم تحت نرم افزار RETC است. (۳۲).

الگوریتم GLUE به ارزیابی عدم قطعیت ۱۲ کلاس بافت شنی طی برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک با کاربرد مدل ون گنوختن (۱۹۸۰) پرداختند. نتایج ایشان بیانگر پهنای عریض محدوده اطمینان حاصل از الگوریتم GLUE می باشد که نشان دهنده اثر عدم قطعیت پارامترهای هیدرولیکی خاک در برآورد منحنی رطوبتی خاک است (۹). مطالعات مینانسی و فیلد (۲۰۰۵) نیز بیانگر این مطلب است که با افزایش مکش خاک میزان عدم قطعیت روند افزایشی دارد در حالی که در نقاط مرطوب (کاهش مکش خاک) میزان عدم قطعیت روند کاهشی دارد که نشان دهنده برآورد بسیار خوب رطوبت اشباع خاک است (۱۷). از این رو می توان ذکر نمود این مدل ها برای خاک های با بافت سبک کارایی بالایی دارند. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱، روش GLUE در هر سه مدل



شکل ۶- محدود اطمینان منحنی رطوبتی خاک در خاک های شنی لوم (۶-الف) و لوم رس سیلنتی (۶-ب).

Figure 6. Confidence limit of soil water curves in Loamy sand (6-a) and Silty Clay Loam (6-B).

جدول ۱- ارزیابی کمی عدم قطعیت مدل‌های منحنی رطوبتی خاک.

Table 1. Quantitative assessing of uncertainty of soil water curve models.

T	S	d-factor	P_{CI}	مدل Model	نمونه خاک Soil sample
0.5122	0.1402	0.2268	85.71	ون‌گنوختن van Genuchten	
0.4642	0.079	0.2013	85.71	ون‌گنوختن - معلم vanGenuchten-Mualem	لوم رس سیلتی Silty clay loam
0.9225	0.5023	0.2184	71.42	ون‌گنوختن - بوردین vanGenuchten-Burden	
1.0665	0.6142	0.0849	28.75	ون‌گنوختن van Genuchten	
1.1034	0.6453	0.0766	28.75	ون‌گنوختن - معلم vanGenuchten-Mualem	شن لومی Sandy loam
2.6363	1.913	0.076	14.28	ون‌گنوختن - بوردین vanGenuchten-Burden	

نتیجه‌گیری کلی

لوم رس سیلتی بالاست و مدل‌های مورد مطالعه از نظر ساختاری در خاک شن لومی، عدم قطعیت قابل توجهی ندارند. هرچند که باین وجود این مدل‌ها نتوانستند نقطه ورود هوا به خاک را با دقت بالایی برآورد کنند. عدم توانایی مدل‌های منحنی رطوبتی خاک در برآورد نقطه ورود هوا را می‌توان به روش اندازه‌گیری منحنی رطوبتی خاک یعنی صفحه فشاری نسبت داد. در نهایت برای ارزیابی کمی عدم قطعیت از دو شاخص دیگر S و T که بیانگر وضعیت قرار گرفتن منحنی رطوبتی خاک نسبت به منحنی‌های حاصل از روش GLUE است، استفاده شد که نتایج حاصل نشان داد که مدل ون‌گنوختن - بوردین برای هیچ‌کدام از نمونه خاک‌های مورد مطالعه برای برازش منحنی رطوبتی خاک کارایی دقیقی ندارد. همچنین مدل ون‌گنوختن برای خاک شن لومی بهترین مدل و مدل ون‌گنوختن - معلم مناسب‌ترین مدل برای خاک لوم رس سیلتی است.

در این مطالعه میزان عدم قطعیت پارامترها و ساختار مدل‌های متداول منحنی رطوبتی خاک با استفاده از روش GLUE در دو بافت متمایز شن لومی و لوم رس سیلتی بر اساس سه مدل ون‌گنوختن، ون‌گنوختن - معلم و ون‌گنوختن - بوردین مطالعه شد. نتایج حاصل از توزیع رفتار مقادیر اولیه (پیشین) و پسین دو نمونه خاک شن لومی و لوم رس سیلتی نشان داد که پارامتر آلفا دارای عدم قطعیت بالایی در هر سه مدل مورد مطالعه است. همچنین، با توجه به نمودارهای پسین حاصل از پارامتر n نیز در هر سه مدل برای بافت شن لومی و در مدل ون‌گنوختن - بوردین برای بافت لوم رسی سیلتی می‌توان ذکر نمود که در هیچ‌کدام از نمودارهای پسین چگالی (تابع توزیع تجمعی) بالا و مقدار مشخصی مشاهده نگردید، بنابراین، مقدار پارامتر مذکور به وضوح قابل استخراج نیست. با توجه به شاخص d-factor میزان عدم قطعیت مدل‌های منحنی رطوبتی خاک در بافت

منابع

1. Ahmadizadeh, M., and Marosi, S. 2017. Bayesian analysis and particle filter application in rain fall-runoff models and quantification of uncertainty. *Gorgan, J. Water Soil Cons.* 24: 1. 251-264. (In Persian)
2. Ashofteh, P.S., and Bozorg haddad, O. 2015. A new approach for performance evaluation of AOGCM models in simulating runoff. *Gorgan. J. Water Soil Cons.* 22: 2. 92-110. (In Persian)
3. Beven, K., and Binley, A. 1992. The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction. *Hydrol. Process.* 6: 3. 279-298.
4. Beven, K. 1993. Prophecy, reality and uncertainty in distributed hydrological modelling. *Adv. Water Resour.* 16: 1. 41-51.
5. Blasone, R.S., Madsen, H., and Rosbjerg, D. 2008. Uncertainty assessment of integrated distributed hydrological models using GLUE with Markov chain Monte Carlo sampling. *J. Hydrol.* 353: 1-2. 18-32.
6. Chen, G., Jiao, L., and Li, X. 2016. Sensitivity Analysis and Identification of Parameters to the van Genuchten Equation. *J. Chem.* 1-8. 10.1155/2016/9879537.
7. Elkady, T.Y., Al-Mahbashi, A.M., and Al-Refeai, T.O. 2013. Stress-dependent soil-water characteristic curves of lime-treated expansive clay. *J. Mater. Civ. Eng.* 27: 3. 04014127.
8. Gao, H., and Shao, M. 2015. Effects of temperature changes on soil hydraulic properties. *Soil Till. Res.* 153: 145-154.
9. Ghavidelfar, S., Shamseldin, A.Y., and Melville, B.W. 2015. Estimation of soil hydraulic properties and their uncertainty through the Beerkan infiltration experiment. *Hydrol. Process.* 29: 17. 3699-3713.
10. Han, Z., and Vanapalli, S.K. 2016. Stiffness and shear strength of unsaturated soils in relation to soil-water characteristic curve. *J. Géotechnique.* 66: 8. 627-647.
11. Hamraz, B.S., Akbarpour, A., and Pourreza-Bilondi, M. 2016. Assessment of parameter uncertainty of MODFLOW model using GLUE method. *Gorgan, J. Water Soil Cons.* 22: 6. 61-79.
12. Hong, W.T., Jung, Y.S., Kang, S., and Lee, J.S. 2016. Estimation of soil-water characteristic curves in multiple-cycles using membrane and TDR system. *J. Mater.* 9. 1019. 10.3390/ma9121019.
13. Jafarzadeh, M.S., Rouhani, H., Salmani, H., and Fathabadi, A. 2016. Reducing uncertainty in a semi distributed hydrological modeling within the GLUE framework. *Gorgan, J. Water Soil Cons.* 23: 1. 83-100. (In Persian)
14. Jiang, Y., Chen, W., Wang, G., Sun, G., and Zhang, F. 2017. Influence of initial dry density and water content on the soil-water characteristic curve and suction stress of a reconstituted loess soil. *B. Eng. Geol. Environ.* 76: 3. 1085-1095.
15. Jin, X., Xu, C.Y., Zhang, Q., and Singh, V.P. 2010. Parameter and modeling uncertainty simulated by GLUE and a formal Bayesian method for a conceptual hydrological model. *J. Hydrol.* 383: 3-4. 147-155.
16. Li, L., Xia, J., Xu, C.Y., and Singh, V.P. 2010. Evaluation of the subjective factors of the GLUE method and comparison with the formal Bayesian method in uncertainty assessment of hydrological models. *J. Hydrol.* 390: 3-4. 210-221.
17. 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.
18. Najafian, S., Yazdani, M.R., Azari, A., and Rahimi, M. 2017. Climate change impacts on the maximum daily discharge under conditions of uncertainty (Dinavar basin in Kermanshah). *Gorgan. J. Water Soil Cons.* 24: 1. 139-156. (In Persian)

19. Pourreza Bilondi, M., Akhoond Ali, A.M., Gharaman, B., and Telvari, A.R. 2015. Uncertainty analysis of a single event distributed rainfall-runoff model by using two different Markov chain Monte Carlo methods. *Gorgan. J. Water Soil Cons.* 21: 5. 1-25 (In Persian)
20. Rouhani, H., Ghandi, A., Seyedian, S.M., and Kashani, M. 2017. Uncertainty analysis of rainfall projections (Case study: Bojnourd and Mashhad synoptic gauge station). *Gorgan. J. Water Soil Cons.* 24: 1. 189-202. (In Persian)
21. Salarijazi, M. 2017. Determination of distributional changes of annual rainfall in some semi-northern stations in Iran. *Gorgan. J. Water Soil Cons.* 24: 4. 143-159. (In Persian)
22. Salarijazi, M. 2017. Quantiles trend estimation of variables of annual maximum floods. *Gorgan. J. Water Soil Cons.* 24: 1. 25-46. (In Persian)
23. Scharnagl, B., Vrugt, J.A., Vereecken, H., and Herbst, M. 2011. Inverse modelling of in situ soil water dynamics: Investigating the effect of different prior distributions of the soil hydraulic parameters. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15: 10. 3043-3059.
24. Singh, U.K., Ren, L., and Kang, S. 2010. Simulation of soil water in space and time using an agro-hydrological model and remote sensing techniques. *Agric. Water Manage.* 97: 8. 1210-1220.
25. Shabestani, A., Darzi-Nafchali, A., and Karandish, F. 2017. Estimating and uncertainty analysis of potential evapotranspiration under climate change in Shiraz. *Gorgan. J. Water Soil Cons.* 23: 5. 159-174. (In Persian)
26. Shafiei, M., Ghahraman, B., Saghafian, B., Davary, K., Pande, S., and Vazifedoust, M. 2014. Validation and uncertainty SWAP model using GLUE method. *J. Water Res. Agric.* 28: 2. 476-488. (In Persian)
27. Stedinger, J.R., Vogel, R.M., Lee, S.U., and Batchelder, R. 2008. Appraisal of the generalized likelihood uncertainty estimation (GLUE) method. *Water Resour. Res.* 44: 12. 2-17.
28. van Genuchten, M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils 1. *S.S.S.A. J.* 44: 5. 892-898.
29. van Genuchten, M.V., Leij, F.J., and Yates, S.R. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. EPA/600/2-91/065, R.S. 83.
30. Wassar, F., Gandolfi, C., Rienzner, M., Chiaradia, E.A., and Bernardoni, E. 2016. Predicted and measured soil retention curve parameters in Lombardy region north of Italy. *I. S. W. C. R.* 4: 3. 207-214.
31. Xiong, L., Wan, M., Wei, X., and O'connor, K.M. 2009. Indices for assessing the prediction bounds of hydrological models and application by generalised likelihood uncertainty estimation/Indices pour évaluer les bornes de prévision de modèles hydrologiques et mise en œuvre pour une estimation d'incertitude par vraisemblance généralisée. *H. S. J.* 54: 5. 852-871.
32. 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.* 31: 3. 433-445.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 27(1), 2020

http://jwsc.gau.ac.ir

DOI: 10.22069/jwsc.2020.16809.3214

Application of GLUE method to estimate uncertainty of alpha and n parameters in soil moisture characteristic curve

**S. Etminan¹, *V.R. Jalali², M. Mahmoodabadi², A. Khasheie Siuki³
and M. Pourreza³**

¹Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman,

²Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman,

³Associate Prof., Dept. of Water Science and Engineering, Birjand University

Received: 06.23.2019; Accepted: 12.04.2019

Abstract

Background and Objectives: The soil moisture characteristic curve (SMCC) is a key concept in the modeling process of physical and hydrological studies of soil that plays a critical role in soil and water management. At the same time, the accuracy of the models used to describe the SMCC is affected by the trend of its parameters changes. The uncertainty analysis of hydraulic parameters of SMCC plays an important role in the modeling process, determining the model input parameters and evaluating the performance of the models. Therefore, the objective of this study was to evaluate the application of the GLUE simulation method, which is based on Monte Carlo simulation method, to estimate the uncertainty of alpha and n variables with constant assumption of other SMCC parameters, in three models of vanGenuchten, vanGenuchten-Mualem and vanGenuchten-Burden.

Materials and Methods: Initially, two soil samples were taken from Shahid Bahonar University of Kerman field and the SMCC for both soil samples (sandy loam and silty clay loam textures) was plotted on the basis of all three models using the Pressure Plate data and RETC Software and their moisture curve parameters were derived. Then, using the GLUE method, the uncertainty of alpha and n parameters in all three models were investigated. In addition, based on GLUE performance, the intrinsic uncertainty of each of the three models was evaluated for each of the tissue classes studied.

Results: The posterior distribution for each of the studied hydraulic parameters were obtained for three models in each textural class. The 95% confidence interval of SMCC simulations was obtained for all three models in two texture classes as the main output of this study. To quantify the uncertainty of the models, four uncertainty assessment indices were calculated and evaluated. Based on the evaluation indices, the best models for silty clay loam and loamy sand were the vanGenuchten-Mualem model (PCI=85.71, d-factor 0.2013, S=0.079, T=0.4642) and the vanGenuchten model, (PCI=28.75, d-factor=0.0766, S=0.6453, T=1.1034), respectively.

Conclusion: The results of the posterior distributions diagrams showed that the alpha and n hydraulic variables were less identifiable in the calibration process and could not determine the optimal range for them, therefore, these two variables play a major role in the uncertainty of soil moisture curve. Also, the uncertainty analysis of all three models showed that GLUE method was able to estimate soil moisture curve points so that the moisture curve obtained by RETC software for all three models was within 95% confidence level. The presence of about 85% of the soil moisture curve points for silty clay loam texture within the 95% confidence interval indicates the high capability of the GLUE method.

Keywords: Monte Carlo method, Uncertainty, VanGenuchen model

* Corresponding Author; Email: v.jalali@uk.ac.ir

