



دانشگاه گواران، دانشکده مهندسی آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هفتم، شماره پنجم، ۱۳۹۹

۲۴۹-۲۶۲

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

DOI: 10.22069/jwsc.2021.17193.3266

مقاله کامل علمی - پژوهشی

مقایسه مدل‌های نفوذ آب با تکیه بر تحلیل عدم قطعیت پارامتر در دو نوع بافت خاک

ابراهیم علی‌نیا^۱، * محسن پوررضا بیلندی^۲ و عباس خاشعی سیوکی^۳

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، ^۲دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند،

^۳استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۳

چکیده

سابقه و هدف: یکی از مواردی که در حفظ منابع آبی کشور می‌توان انجام داد مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی است. یکی از مؤلفه‌های چالش‌برانگیز که در این امر نقش به‌سزایی دارد مسأله نفوذ آب در خاک است. نفوذپذیری آب در خاک به شدت به عوامل محیطی، شرایط آب و هوایی، عرض جغرافیایی و مشخصات خاک بستگی دارد و دارای تغییرپذیری مکانی بالایی است. پژوهشگران مختلف از مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی مقدار نفوذ آب در خاک استفاده می‌کنند که پیش‌بینی درست مقدار نفوذ و شناخت میزان خطا و عدم قطعیت هر یک از این مدل‌ها با توجه به شرایط هر منطقه، امری ضروری است. پژوهش‌های زیادی در مورد برآورد کارایی مدل‌های نفوذ آب در خاک انجام شده است، که در عموم این پژوهش‌ها، صرفاً به بررسی مدل‌های نفوذ و تأثیر قرار دادن عوامل مؤثر بر نفوذ، پرداخته شده است. به این منظور مهم‌ترین نوآوری پژوهش حاضر، مقایسه نتایج حاصل از تحلیل عدم قطعیت پارامترهای مدل‌های نفوذ کاستیاکف، SCS، فیلپ و هورتون با الگوریتم GLUE است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، اندازه‌گیری مقدار نفوذ در یکی از مزارع شهرستان رشتخوار واقع در جنوب استان خراسان رضوی در سه تکرار آزمایش و در دو بافت خاک لوم شنی و لوم رسی با استفاده از روش استوانه مضاعف انجام شد. ارزیابی و تحلیل عدم قطعیت روی چهار مدل مذکور صورت گرفت. برای تعیین عدم قطعیت این چهار مدل، از الگوریتم GLUE در محیط برنامه‌نویسی متلب استفاده گردید به این صورت که با اتصال این مدل‌های نفوذ به GLUE، با ۱۰۰۰۰۰ تکرار، شبیه‌سازی انجام شد. یک درصد از بهترین شبیه‌سازی‌های انجام‌شده (۱۰۰۰ تکرار آن) به‌عنوان بهترین شبیه‌سازی‌ها انتخاب شدند. با رسم توزیع پسین پارامترها و رسم محدوده اطمینان ۹۵ درصد خروجی شبیه‌سازی‌شده، عدم قطعیت پارامترهای مدل تعیین شد. به‌منظور کمی‌سازی نتایج عدم قطعیت، از معیارهای "درصد قرارگیری داده‌های اندازه‌گیری شده در محدوده اطمینان ۹۵ درصد، پهنای نرمال‌شده باند داده‌های شبیه‌سازی‌شده در محدوده اطمینان ۹۵ درصد و دو معیار درجه عدم تقارن داده‌های شبیه‌سازی‌شده در محدوده اطمینان موردنظر که به‌اختصار به ترتیب با حروف "P، d، s و T" نمایش داده شده است، استفاده شد.

* مسئول مکاتبه: mohsen.pourreza@birjand.ac.ir

یافته‌ها: نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که در هر دو بافت خاک، از لحاظ درصد قرارگیری مقادیر نفوذ اندازه‌گیری شده در محدوده اطمینان ۹۵ درصد، مدل‌های کاستیاکف و فیلیپ، بیش‌ترین درصد و برابر با ۱۰۰ بودند. از لحاظ درجه عدم تقارن داده‌های شبیه‌سازی شده در معیار s، مدل‌های SCS، کاستیاکف و فیلیپ بین ۰ و ۰/۵ و مدل هورتون بیش‌تر از ۰/۵ و هم‌چنین در معیار T، مدل‌های SCS، کاستیاکف و فیلیپ کم‌تر از یک و مدل هورتون بیش‌تر از ۱ بودند.

نتیجه‌گیری: با توجه به چهار معیار P، d، s و T ملاحظه شد که در هر دو بافت خاک لومی شنی و لومی رسی مدل کاستیاکف به دلیل مقادیر معیارهای مناسب‌تر نسبت به سایر مدل‌ها دارای بهترین شبیه‌سازی بودند و از این نظر می‌تواند به عنوان مدلی مناسب انتخاب شود. هم‌چنین مدل‌های SCS و هورتون در رده‌های بعدی از لحاظ شبیه‌سازی برتر قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: رشتخوار، شبیه‌سازی نفوذ در خاک، عدم قطعیت، مدل‌های نفوذ، GLUE

مقدمه

فرآیند نفوذ آب در خاک یک پدیده مهم در بخش کشاورزی و منابع طبیعی، آبخیزداری و در بخش هیدرولوژی و کنترل رواناب‌های سطحی است. امروزه با توجه به این که بخش وسیعی از کشور ما را بیابان‌ها، مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد توجه به این فرآیند مهم بیش‌ازپیش آشکار ساخته است. امروزه کارشناسان و مهندسان بخش کشاورزی و مدیریت منابع آب برای تخمین مقدار نفوذ آب در خاک از مدل‌هایی که در بحث نفوذ ارائه شده است استفاده می‌کنند. به‌طور بدیهی استفاده کردن از این مدل‌ها در شرایط مختلف می‌تواند با مقدار خطا و عدم قطعیت همراه باشد تعیین این مقدار خطا و برآورد میزان عدم قطعیت آن می‌تواند به‌پیش بینی صحیح مدل بیانجامد. از آنجایی که پدیده نفوذ دارای تغییرپذیری مکانی بالایی است بنابراین، در یک شرایط معین انتظار می‌رود که مدلی خاص، دارای عملکرد بهتری نسبت به بقیه باشد. به همین منظور پژوهش‌های متعددی در مورد ارزیابی مدل‌های نفوذ صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، فکوری و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند

که در کاربری کشاورزی دقت مدل هورتون، کاستیاکف، کوستیاکف-لوییز در برآورد سرعت نفوذ و نفوذ تجمعی بالا بود. در کاربری‌های مرتع و باغ، مدل‌های کاستیاکف و فیلیپ به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین دقت برای برآورد نفوذ آب در خاک بودند (۸). شوکلا و همکاران (۲۰۰۳) طی پژوهشی، با اندازه‌گیری نفوذ به روش استوانه‌های مضاعف در منطقه اوهایو، واقع در کشور آمریکا، نشان دادند در مقایسه با سایر مدل‌های موردبررسی، مدل هورتون دارای بهترین عملکرد در بیان کمی فرآیند نفوذ است (۱۸). نشاط و پاره‌کار (۲۰۰۷) پس از بررسی روش‌های مختلف تعیین سرعت عمودی نفوذ در ۸۲ منطقه از کشور، برای تمامی شرایط به‌صورت کلی، مدل کاستیاکف را به‌عنوان مناسب‌ترین مدل معرفی نمودند (۱۳). هم‌چنین، سپهوند و همکاران (۲۰۱۰) در منطقه‌ای از استان ایلام، نشان دادند در مقادیر مختلف رطوبت خاک، مدل کوستیاکف، تخمین بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته است (۱۶).

بررسی منابع مختلف عدم قطعیت در هر شبیه‌سازی یک گام اساسی و مهم در راستای

و Mead را به اثبات رساند (۱۴). هم‌چنین پوررضا و همکاران (۲۰۱۴) عدم قطعیت پارامترهای مدل توزیعی هیدرولوژیکی را با استفاده از دو الگوریتم مختلف مونت‌کارلو زنجیره مارکف DREAM و SCENIC مورد تحلیل قرار دادند (۱۰). کلسنتز و همکاران (۱۹۹۸) در پژوهشی با استفاده از روش مونت‌کارلو، ۵۰۰۰ شبیه‌سازی، تولید و سپس عدم قطعیت ۷ مدل نفوذ را در بازه اطمینان ۹۵/۴ درصد، در دو نوع بافت خاک رسی و لوم شنی، مورد تحلیل قرار دادند (۶). یان و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش GLUE به بررسی عدم قطعیت پارامترهای منحنی رطوبتی بر پایه معادله ون گنوختن- معلم پرداختند نتایج نشان داد که روش GLUE یک روش مناسب برای ارزیابی میزان عدم قطعیت پارامترهای مدل‌های هیدرولیکی خاک می‌باشد (۲۱). هم‌چنین، استیدینگر و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که اگر روش اندازه‌گیری و حد آستانه پارامترها با دقت اندازه‌گیری شده باشد روش GLUE می‌تواند یک روشی مناسب برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت و واسنجی مدل، محسوب شود (۱۹). همراز و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی عدم قطعیت پارامترهای مدل MODFLOW را توسط روش GLUE مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان از کارایی بودن روش GLUE داشت (۹). در این بین شاید تنها جعفرزاده و همکاران (۲۰۱۶) بودند که با استفاده از روش GLUE، عدم قطعیت کمیت ورودی و خروجی جریان ماهانه در حوضه رودخانه گرگان‌رود را با مدل SWAT، ارزیابی کردند و عدم قطعیت داده‌های ورودی را ارزیابی نمودند (۱۱). هم‌چنین در ادامه این روش‌ها، احمدی‌زاده و معروفی (۲۰۱۷) به منظور کمی‌سازی عدم قطعیت و کاهش آن با استفاده از روش فیلتر ذره‌ای مدل بارش- رواناب HYMOD را مورد ارزیابی قرار دادند (۲). شفیع و همکاران (۲۰۱۴) نیز

اعتماد‌پذیری به نتایج مدل‌سازی است. منابع مختلف عدم قطعیت شامل: عدم قطعیت ساختار مدل، عدم قطعیت پارامترهای مدل و عدم قطعیت ورودی‌های مدل است که از این میان دو مورد اخیر بیش‌تر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته و پژوهش‌هایی در این زمینه انجام شده است (۱۴ و ۱۷). هم‌چنین روش‌های مختلفی در این راستا توسعه داده شده که از این میان به روش‌های مبتنی بر مونت‌کارلو (مانند GLUE و SUFI2) و روش‌های مبتنی بر مونت‌کارلو- زنجیره مارکف (MCMC) مانند DREAM می‌توان اشاره کرد. برخی از پژوهشگران متذکر شده‌اند که در مسائلی که هم ورودی‌های مدل و هم خطاهای ساختاری مدل نقش مهمی در تعیین دقت خروجی مدل ایفا می‌کنند، نتایج حاصل از روش GLUE همانند روش بیزین قابل‌اعتماد بوده و به‌عنوان روشی مناسب در واسنجی مدل می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (۳). در حالی که دو دسته روش‌های عمومی مبتنی بر شبیه‌سازی و مبتنی بر مونت‌کارلو و زنجیره مارکف هر یک دارای ویژگی‌های خاصی می‌باشند. اولی صرفاً بر پایه تعداد بالای شبیه‌سازی است و اجرای آن معمولاً زمان زیادی می‌طلبد در حالی که دومی شباهت بیش‌تری به الگوریتم‌های فراکوشی داشته و از نمونه‌گیری‌های قبلی استفاده می‌کند و از این نظر دارای مزیت بیش‌تری بوده هر چند پیاده‌سازی آن پیچیده‌تر است (۱). در ادامه به چند مورد از جدیدترین این پژوهش‌ها - اکثراً به بررسی عدم قطعیت پارامترهای مدل‌های شبیه‌سازی با الگوریتم‌های مبتنی بر مونت‌کارلو پرداخته‌اند- اشاره می‌شود:

نورعلی و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی اثر توابع درست‌نمایی مختلف الگوریتم DREAM در مدل HMS پرداختند و مقایسه کارایی آن‌ها همگی برتری نسبت به دو الگوریتم پیش‌فرض بهینه‌سازی Nelder

جداگانه در سه نقطه مجزا در هر یک از نواحی صورت گرفت اندازه‌گیری میزان نفوذ تجمعی با استفاده از روش استوانه مضاعف انجام گردید. این آزمایش از لحاظ شرایط رطوبتی در خاک کاملاً خشک و بدون رطوبت اولیه و از لحاظ کاربری اراضی در زمین زراعی انجام گرفت. آب مورد استفاده در آزمایش نفوذ دارای مقادیر PH ۷/۵، نسبت جذب سدیم $۱۸/۴۳ \text{ (mMolL}^{-1}\text{)}^{0.5}$ و هدایت الکتریکی $۷/۵۱ \text{ (mMhosCm}^{-1}\text{)}$ بود.

در این پژوهش چهار مدل نفوذ کاستیاکف، SCS، هورتون و فیلیپ ارزیابی گردید. این چهار مدل در رابطه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به‌طور اجمالی بیان شده است.

مدل کاستیاکف

$$I = \frac{b}{1-a} t^{(1-a)} \quad (۱)$$

مدل SCS

$$I = ct^d + 0.6985 \quad (۲)$$

مدل هورتون

$$I = i_f t + \frac{(i_i - i_f)}{k} (1 - e^{-kt}) \quad (۳)$$

مدل فیلیپ

$$I = St^{\frac{1}{2}} + K_s t \quad (۴)$$

در رابطه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴، I نفوذ تجمعی (متر)، t زمان (ثانیه)، S ضریب جذب آب، Ks ضریب هدایت هیدرولیکی منطقه انتقال بوده و مقدار آن کوچک‌تر یا مساوی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک است، i_i سرعت نفوذ اولیه (متر بر ثانیه)، i_f سرعت نفوذ نهایی (متر بر ثانیه)، a، b، c، d و k ضرایب تجربی هستند که از روی آزمایش نفوذ به‌دست می‌آیند.

با استفاده از روش GLUE، عدم قطعیت مدل SWAP را مورد ارزیابی قرار دادند نتایج نشان داد که روش GLUE به‌خوبی توانست تغییرات رطوبت را در نیمرخ خاک در دوره رشد محصول واسنجی کند (۱۷). یکی دیگر از پژوهش‌هایی که به کارا بودن الگوریتم GLUE اشاره کرده می‌توان پژوهش امامی فر و همکاران (۲۰۱۶) را نام برد که عدم قطعیت مدل DWB را با استفاده از این الگوریتم مورد بررسی قرار دادند (۱۵).

پژوهش‌های زیادی در مورد برآورد مدل‌های نفوذ آب در خاک انجام شده است، که در عموم این پژوهش‌ها، صرفاً به بررسی مدل‌های نفوذ و تأثیر قرار دادن فقط یکی از عوامل مؤثر بر نفوذ، پرداخته شده است. هدف از این پژوهش، بررسی عدم قطعیت چهار مدل نفوذ کاستیاکف، SCS، فیلیپ و هورتون روی دو بافت خاک لوم شنی و لوم رسی، به‌منظور تعیین مناسب‌ترین مدل از چهار مدل مذکور است این بررسی با استفاده از الگوریتم GLUE انجام گرفت در این پژوهش سعی شد چند عامل مؤثر بر فرآیند نفوذ شامل مشخصات آب آبیاری، نوع کاربری اراضی و درصد رطوبت اولیه خاک به‌صورت توأم مدنظر قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش، در یکی از مزارع شهرستان رشتنخوار واقع در استان خراسان رضوی انجام شد. منطقه مورد مطالعه در ۳۴ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۱۳۰ متر از سطح دریا واقع است. در منطقه مورد مطالعه، دو ناحیه‌ای که از نظر بافت خاک متفاوت بودند انتخاب گردید که یکی از این نواحی دارای بافت لوم شنی و دیگری دارای بافت لوم رسی بودند. عملیات اندازه‌گیری نفوذ تجمعی در هر یک از نواحی با سه تکرار انجام شد که هر یک از این تکرارها به‌طور

شکل ۱ مراحل اصلی تعیین عدم قطعیت با استفاده از الگوریتم GLUE می باشد. در این پژوهش، محدوده اولیه در چهار مدل نفوذ بین صفر و ۱ به GLUE معرفی شد. با استفاده از این روش نمونه‌گیری مکعب لاتین، ۱۰۰۰۰۰ تکرار انجام شد. در این پژوهش از تابع درست‌نمایی واریانس معکوس خطا با ضریب شکل N (مقدار یک در این پژوهش) استفاده گردید. رابطه ۵ تابع درست‌نمایی موردنظر را نشان می‌دهد. با انتخاب حد آستانه یک درصد از کل نمونه‌گیری‌های انجام شده (۱۰۰۰ تکرار) به‌عنوان بهترین مجموعه پارامترها در نظر گرفته شد. ۱۰۰۰ تکرار منتخب با استفاده از تابع درست‌نمایی نرمال شده به‌صورت تابع تجمعی به‌دست آمدند. رابطه ۶ تابع درست‌نمایی نرمال شده را نشان می‌دهد. سپس ۲/۵ درصد از هر یک از کران‌های بالا و پایین پارامترهای شبیه‌سازی‌شده حذف شدند و باقی پارامترهای شبیه‌سازی‌شده به‌عنوان شبیه‌سازی‌های در سطح اطمینان ۹۵ درصد حاصل شد سپس برای انجام عدم قطعیت از توزیع‌های پسین پارامترها و محدوده اطمینان ۹۵ درصد خروجی مدل‌ها استفاده گردید.

$$L_i = \left[\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (Sim_i - M)^2 \right]^{-N} \quad (5)$$

که در آن، L_i تابع درست‌نمایی واریانس معکوس خطا با ضریب شکل N در تکرار i ام، Sim_i مدل (مقادیر نفوذ) شبیه‌سازی‌شده در تکرار i ام، M داده‌های (مقادیر نفوذ) اندازه‌گیری‌شده، n تعداد کل داده‌های اندازه‌گیری‌شده.

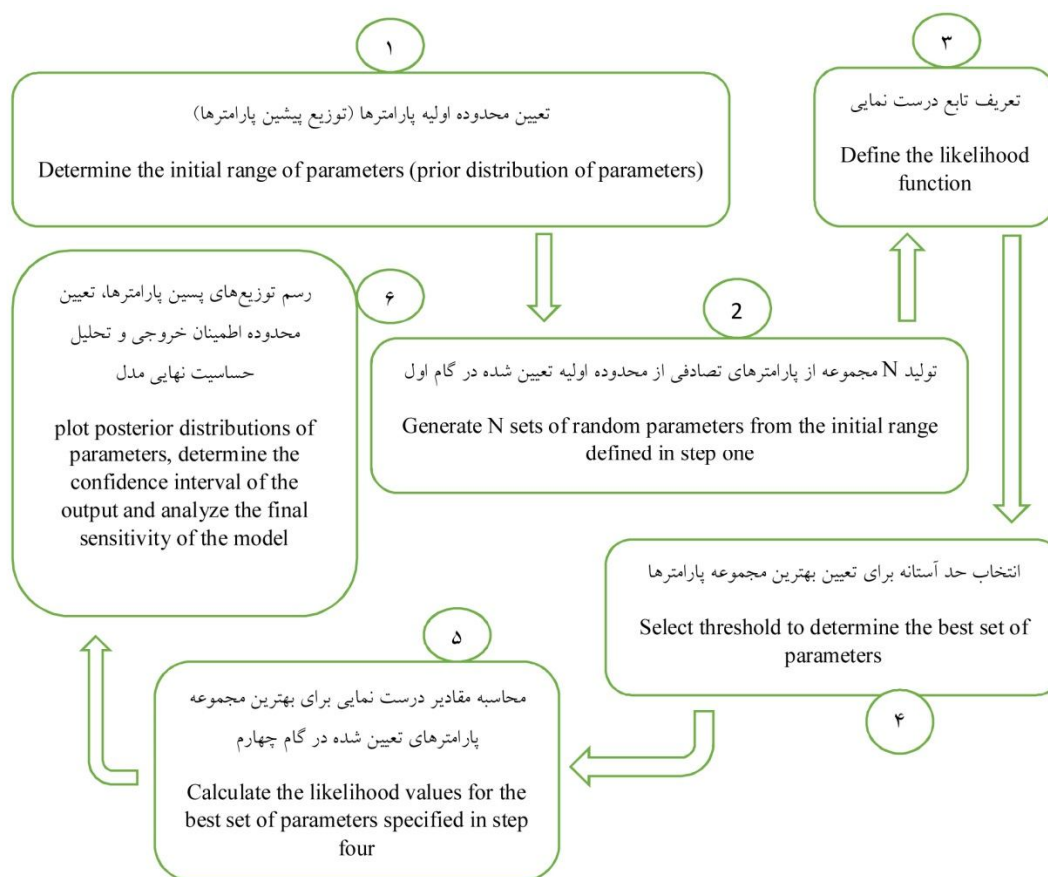
$$L_{\omega}(\theta_i) = \frac{L(\theta_i|0)}{\sum_{i=1}^N L(\theta_i|0)} \quad (6)$$

که در آن، $L_{\omega}(\theta_i)$ درست‌نمایی نرمال‌شده برای i امین مجموعه پارامترهای شبیه‌سازی‌شده (θ_i) ، N تعداد کل بهترین مجموعه پارامترهای انتخاب‌شده.

علت ایجاد عدم قطعیت در فرآیندها، پدیده‌ها و داده‌های یک مسأله یا یک مدل می‌تواند ناشی از کمبود اطلاعات اولیه یا داده‌های ورودی به مدل (عدم قطعیت ورودی)، خطا در واسنجی پارامترهای مدل (عدم قطعیت پارامتر) و خطاهای ایجادشده ناشی از ساختار مدل شبیه‌سازی (عدم قطعیت ساختار مدل) ایجاد شود (۲۲). اگر نتایج شبیه‌سازی با واقعیت اختلاف داشته باشد باید به دنبال عدم همخوانی شرایط اعمال‌شده به مدل با آنچه در واقعیت اتفاق افتاده است باشیم. چراکه در حقیقت سهم یکی از انواع منابع خطای سه‌گانه گفته‌شده در بالا بیش‌تر شده و شبیه‌سازی را از پاسخ مناسب دور کرده است. با توجه به اهمیت عدم قطعیت پارامترهای مدل، روش‌های متعددی با هدف کمی‌سازی این منبع عدم قطعیت، وجود دارد که یکی از این روش‌ها، روش تخمین عدم قطعیت براساس درست‌نمایی تعمیم‌یافته (GLUE) است که توسط بون و بینلی (۱۹۹۲) توسعه یافته است (۴).

GLUE یک برنامه شبیه‌سازی بر اساس نمونه‌برداری مونت‌کارلو است که بر اصل همسان‌سازی نتایج سری مختلف پارامترها در روند واسنجی استوار است و فرض بر این دارد که بجای یک سری پارامتر بهینه منحصر‌به‌فرد، مجموعه‌ای از سری پارامترهای بهینه به‌عنوان پارامترهای کالبره شده در شبیه‌سازی، وجود دارند که در نتیجه آن، مجموعه‌ای از سری پارامترهای بهینه مدل و توزیع‌های احتمالاتی مربوط به آن‌ها حاصل می‌شود (۵).

روش GLUE به‌دلیل کارایی بالا، سهولت استفاده و هم‌چنین سازگاری آن با مدل‌های غیرخطی، امروزه کاربردهای گسترده‌ای دارد. این روش از سال ۱۹۹۲ برای واسنجی و ارزیابی عدم قطعیت مدل‌های هیدرولوژی، مدل بارش-رواناب و نیز درزمینه‌های مطالعاتی مانند مطالعات عمرانی و مهندسی کاربرد وسیعی داشته است (۷).



شکل ۱- فلوچارت الگوریتم GLUE.
Figure 1. Flowchart of GLUE algorithm.

داده‌های مشاهداتی که در بازه اطمینان قرار گرفته‌اند، NQ_{ALL} تعداد کل داده‌های مشاهداتی. طبق رابطه ۷، معیار P بر حسب درصد بیان می‌شود و هرچه قدر عدد به‌دست آمده از این شاخص به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده این است که شبیه‌سازی‌ها مناسب‌تر خواهند بود. معیار d پهنای نرمال شده محصور بین حد بالا و پایین متغیر شبیه‌سازی‌شده در سطح اطمینان موردنظر است. رابطه ۸ نحوه محاسبه معیار d را نشان می‌دهد.

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Limit_{U,i} - Limit_{L,i}}{Q_{O,i}} \quad (8)$$

معیارهای ارزیابی عدم قطعیت: برای تولید محدوده اطمینان ۹۵ درصد، ۲/۵ درصد از حدود بالا و پایین داده‌های شبیه‌سازی‌شده به‌عنوان داده‌های شبیه‌سازی‌شده پرت حذف شدند و حدود باقی‌مانده به‌عنوان محدوده اطمینان ۹۵ درصد به‌دست آمد. برای تحلیل کمی عدم قطعیت از معیارهای P، d، s و T استفاده شد. رابطه ۷ نحوه محاسبه معیار P را نشان می‌دهد.

$$P_{CI} = \frac{NQ_{observed}}{NQ_{ALL}} \times 100 \quad (7)$$

که در آن، P_{CI} درصد قرارگیری داده‌های اندازه‌گیری‌شده در محدوده اطمینان ۹۵ درصد، $NQ_{observed}$ تعداد

سناریو اول: جایی که مقدار f ، بین حد بالا و پایین باند باشد نشان‌دهنده تقارن بیش‌تر باند پیش‌بینی شده در اطراف نمودار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده است (h ، بین صفر و یک و s ، بین صفر و ۰/۵).

سناریو دوم: آن‌جایی که نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده (f) پایین‌تر از حد پایینی باند باشد که نشان‌دهنده عدم تقارن بیش‌تر باند پیش‌بینی شده در اطراف نمودار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده است (h ، بیش‌تر یا مساوی یک و s ، بیش‌تر از ۰/۵).

سناریو سوم: آن‌جایی که نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده بالاتر از حد بالایی باند باشد نشان‌دهنده عدم تقارن بیش‌تر باند پیش‌بینی شده در اطراف نمودار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده است (h ، کم‌تر یا مساوی صفر و s ، بیش‌تر از ۰/۵).

یکی دیگر از معیارهای درجه عدم تقارن باند پیش‌بینی شده نسبت به داده‌های نفوذ اندازه‌گیری شده، معیار T است. در رابطه‌های ۱۲ و ۱۳، روش محاسبه این معیار را نشان می‌دهد.

$$T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (12)$$

$$t_i = \left(\frac{|(q_i^u - f_i)^3 + (q_i^l - f_i)^3|}{(q_i^u - q_i^l)^3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (13)$$

تغییرات شاخص t_i بستگی به موقعیت نمودار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده در باند پیش‌بینی شده دارد. انتظار است در T مای بزرگ‌تر یا مساوی صفر و کوچک‌تر از یک، مقدار f ، برابر با میانگین حد بالا و پایین باند پیش‌بینی شده باشد در T ‌های بزرگ‌تر یا مساوی یک، عدم تقارنی باند پیش‌بینی شده در اطراف نمودار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده بیش‌تر است.

که در آن، $Limit_{U,i}$ حد بالای محدوده اطمینان در i امین مقدار شبیه‌سازی، $Limit_{L,i}$ حد پایین محدوده اطمینان در i امین مقدار شبیه‌سازی، $Q_{O,i}$ مقداری که برای متغیر موردنظر مشاهده شده است n تعداد کل داده‌های اندازه‌گیری شده.

تغییرات معیار d بین صفر و یک است و هرچقدر مقدار d به صفر نزدیک باشد نشان‌دهنده شبیه‌سازی مناسب است.

یکی از شاخص‌های درجه عدم تقارن باندهای پیش‌بینی شده نسبت به داده‌های نفوذ اندازه‌گیری شده، معیار s است. در رابطه‌های ۹ تا ۱۱ شیوه محاسبه این معیار را نشان می‌دهد.

$$s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i \quad (9)$$

$$s_i = |h_i - 0.5| \quad (10)$$

$$h_i = \frac{q_i^u - f_i}{q_i^u - q_i^l} \quad (11)$$

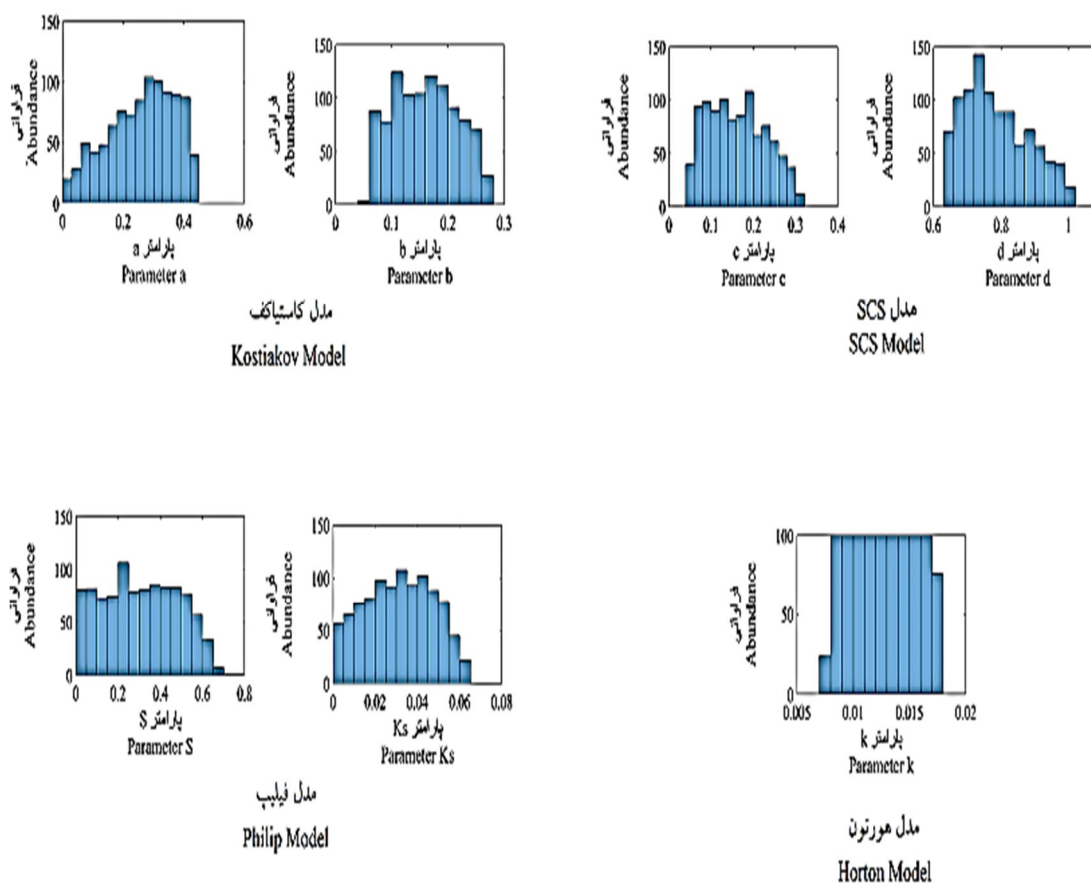
که در آن، s_i نمایه درجه عدم تقارن باندهای پیش‌بینی شده با توجه به داده‌های نفوذ اندازه‌گیری شده در مرحله i ام، h_i نرخ اختلاف بین حد بالا و نفوذ اندازه‌گیری شده به عرض باند در مرحله i ام، q_i^u حد بالای باند پیش‌بینی شده در مرحله i ام، q_i^l حد پایین باند پیش‌بینی شده در مرحله i ام، f_i مقدار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده در مرحله i ام، N تعداد کل داده‌های اندازه‌گیری شده.

مقدار s ، توسط h برای درک بهتر چگونگی تغییرات h نسبت به سناریوهای مختلف موقعیت نمودارهای نفوذ اندازه‌گیری شده، با توجه به باندهای پیش‌بینی در سه سناریو تعریف می‌شود.

نتایج و بحث

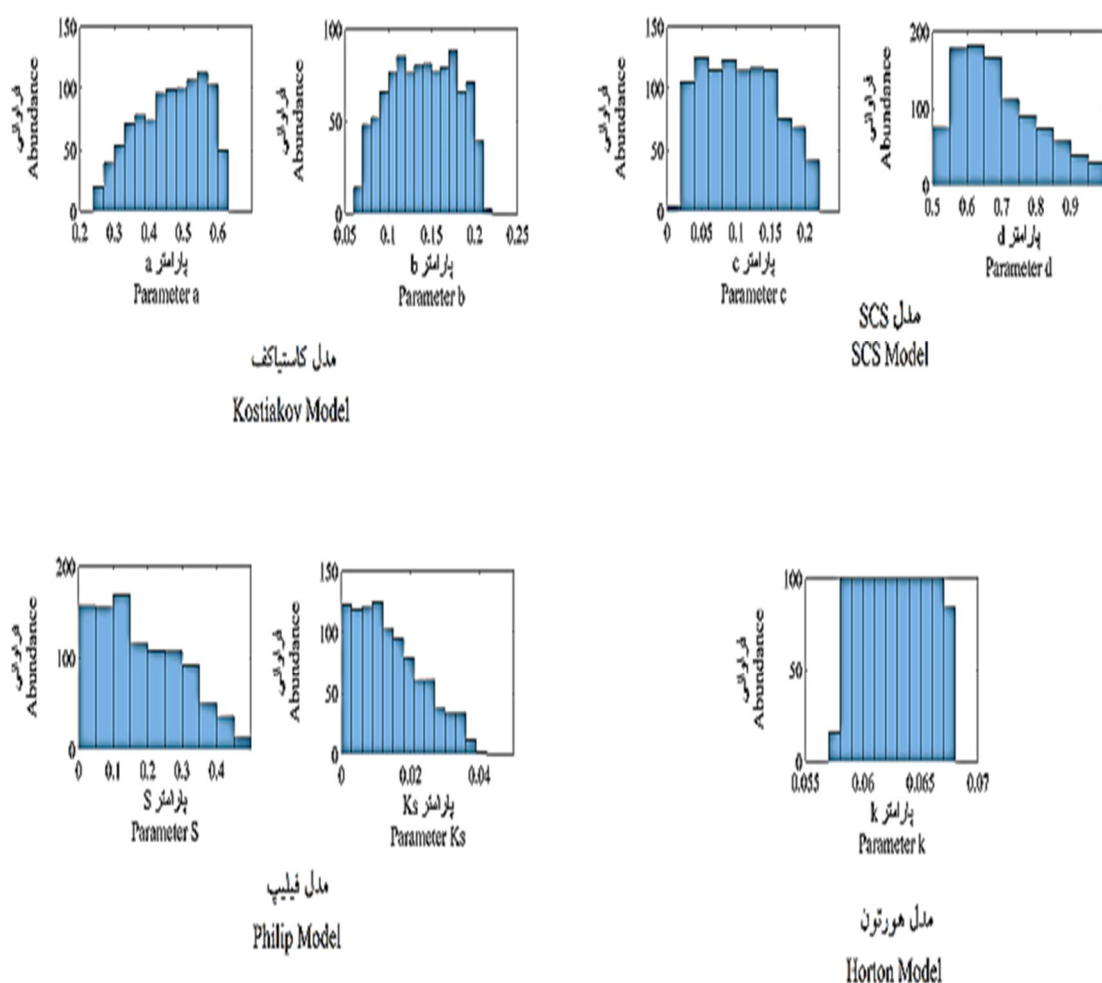
برای تعیین عدم قطعیت پارامترهای مدل، می‌توان از توابع توزیع پسین آن‌ها کمک گرفت. توابع توزیع پسین می‌تواند به‌عنوان راهنمایی در تحلیل عدم قطعیت پارامترهای شبیه‌سازی شده توسط الگوریتم GLUE به‌کار برده شود. توزیع‌های پسین با اشکال احتمالاتی نمایی و یا نرمال دارای نقاط اوج با احتمال بالا (مقدار فراوانی حداکثر)، نشان‌دهنده این است که پارامترها در مدل به‌طور صحیح شبیه‌سازی شده‌اند، اما توزیع‌های مسطح (شبیه توزیع‌های یکنواخت)

نشان‌دهنده عدم قطعیت بیشتر پارامترهای مدل است (۱۲). نتایج هر سه تکرار آزمایش مشابه بودند و تغییرات فراوانی مشاهده نشد، به این منظور فقط نتایج یکی از تکرارها ذکر شد. شکل ۲ توزیع پسین پارامترهای مدل‌های نفوذ در خاک لوم شنی و شکل ۳ در خاک لوم رسی نشان داده شده است. در این شکل‌ها، محور افقی معرف مقدار پارامترهای شبیه‌سازی شده و محور عمودی معرف فراوانی مقدار پارامترها است.



شکل ۲- توزیع‌های پسین مدل‌های نفوذ در خاک لوم شنی.

Figure 2. Posterior distribution of infiltration models in sandy loam soil.



شکل ۳- توزیع‌های پسین مدل‌های نفوذ در خاک لوم رسی.

Figure 3. Posterior distribution of infiltration models in clay loam soil.

نرمال و به صورت کاهشی است به طوری که چگالی فراوانی در دامنه‌های ابتدایی شکل بیشتر به چشم می‌خورد. پارامتر d دارای توزیعی مشابه c است (عدم قطعیت پارامتر d و c در یک حد است و نمی‌توان در مورد مقدار این دو پارامتر دقیق‌تر اظهار نظر کرد). در مدل فیلیپ، پارامتر K_s توزیعی نرمال دارد. ولی پارامتر S دارای توزیع یکنواخت است که نشان می‌دهد پارامتر K_s عدم قطعیت بیشتری نسبت به پارامتر S دارد. در مدل هورتون، پارامتر k دارای توزیعی کاملاً یکنواخت است که نشان‌دهنده عدم قطعیت بسیار بالای این پارامتر است.

با مقایسه عدم قطعیت پارامترها در هر مدل در شکل‌های ۲ و ۳، ملاحظه می‌شود در بافت لوم شنی، در مدل کاستیاکف، پارامتر a دارای توزیعی شبیه توزیع خطی است به طوری که چگالی فراوانی با مقدار فراوانی بیشتر به انتهای شکل کشیده شده است که بیانگر این مطلب است مقادیر حدود بالای پارامتر نماینده بهتری از بقیه فضای پارامتری برای این پارامتر خاص می‌باشند. در حالی که پارامتر b توزیع یکنواخت را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده عدم قطعیت بالاست (پارامتر b نسبت به a قطعیت کمتری دارد). در مدل SCS، پارامتر c دارای توزیع خطی مایل به لوگ

نشان‌دهنده عدم قطعیت بسیار بالای این پارامتر می‌باشد.

روش‌های تحلیل عدم قطعیت این امکان را فراهم می‌سازند تا بتوان اطلاعات بیشتری در مورد خروجی‌های مدل پیش‌بینی به‌دست آورد و همچنین ابزاری هستند که خطاهای موجود در مدل‌سازی را به‌صورت بازه‌های اطمینان ارائه می‌کنند. محدوده عدم قطعیت به‌دست آمده در روش الگوریتم GLUE، تقریبی از همه انواع منابع خطا را در فرآیند مدل‌سازی منعکس ساخته و عدم قطعیت‌های مربوط را در پیش‌بینی مدل نشان می‌دهد (۲۰). پس از کنار گذاشتن ۵ درصد از شبیه‌سازی‌های پرت (۲/۵ درصد از هر طرف)، حدود باقی‌مانده به‌عنوان حدود اطمینان ۹۵ درصد تعیین شد و محدوده موردنظر رسم گردید. در این پژوهش برای تحلیل دقیق‌تر و ازلحاظ کمی، از معیارهای P، d، s و T استفاده شد. همچنین در این پژوهش به‌دلیل مشابه بودن نتایج تکرارها، فقط نتایج یکی از تکرارها ذکر شد. جدول‌های ۱ و ۲، نتایج این چهار معیار را برای مدل‌های نفوذ در دو بافت خاک نشان می‌دهند.

در بافت لوم رسی، نشان می‌دهد که در تکرار اول، مدل کاستیاکف، در مورد پارامتر a، چگالی توزیع به‌صورت خطی - افزایشی است به‌طوری‌که چگالی توزیع با مقدار فراوانی بیش‌تر به انتهای دامنه شکل کشیده شده است که می‌تواند نشان‌دهنده عدم قطعیت متوسط این پارامتر باشد درحالی‌که پارامتر b دارای توزیع تقریباً یکنواخت مایل به نرمال است (پارامتر a دارای عدم قطعیت کم‌تری نسبت به پارامتر b است). در مدل SCS، پارامتر c دارای توزیع تقریباً یکنواخت است که نشان‌دهنده عدم قطعیت بالای این پارامتر است درحالی‌که پارامتر d دارای توزیع لوگ نرمال است به‌طوری‌که چگالی توزیع با مقدار فراوانی بیش‌تر در ابتدای دامنه شکل قرار دارد که این نشان‌دهنده عدم قطعیت پایین این پارامتر است (میزان عدم قطعیت پارامتر d نسبت به c کم‌تر است). در مدل فیلیپ، هر دو پارامتر دارای توزیع لوگ نرمال می‌باشند اما پارامتر S دارای شیب بیش‌تری نسبت به پارامتر Ks دارد که نشان‌دهنده عدم قطعیت پایین S نسبت به Ks می‌باشد. در مورد مدل هورتون، پارامتر k دارای توزیع کاملاً یکنواخت را نشان می‌دهد که

جدول ۱- نتایج معیارهای P، d، s و T برای ارزیابی مدل‌های نفوذ در خاک لوم شنی.

Table 1. Results of P, d, s and T indices for evaluating infiltration models in sandy loam soil.

معیار Criterion	نوع مدل Model type			
	هورتون Horton	فیلیپ Philip	SCS	کاستیاکف Kostiakov
P (%)	68.75	100	75	100
d	0.171	0.479	0.322	0.378
s	12.323	0.054	0.294	0.055
T	15.816	0.39	0.699	0.388

جدول ۲- نتایج معیارهای P، d، s و T برای ارزیابی مدل‌های نفوذ در خاک لوم رسی.

Table 2. Results of P, d, s and T indices for evaluating infiltration models in clay loam soil.

معیار Criterion	نوع مدل Model type			
	هورتون Horton	فیلیپ Philip	SCS	کاستیاکف Kostiakov
P (%)	61.53	100	76.92	100
d	0.045	0.826	0.381	0.519
s	3.071	0.162	0.366	0.147
T	4.124	0.583	0.764	0.558

خوبی برخوردارند اما مدل هورتون عدم تقارنی باندها را نشان می‌دهد.

در این پژوهش آزمایش نفوذ آب با در نظرگیری شرایط مختلف از جمله خصوصیات آب، شرایط رطوبتی خاک (در خاک کاملاً خشک و بدون رطوبت اولیه) و از لحاظ کاربری اراضی در زمین زراعی انجام گرفت. عدم قطعیت چهار مدل منتخب با استفاده از الگوریتم GLUE تعیین شد. نتیجه حاصل با پژوهش‌های نشاط و پاره‌کار (۲۰۰۷)، سپهوند و همکاران (۲۰۱۰) و پژوهش فکوری و همکاران (۲۰۱۱)، از لحاظ کاربری مرتع و باغ همخوانی دارد ولی با پژوهش شوکلا و همکاران (۲۰۰۳)، متفاوت است (۱۳)، (۱۶)، (۸)، (۱۸)، که دلیل آن هم می‌تواند به علت اینکه پژوهش صورت گرفته در خارج کشور بوده و از لحاظ شرایط محیطی و جغرافیایی نسبت به ایران متفاوت است، باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که در هر دو بافت خاک، از لحاظ درصد قرارگیری مقادیر نفوذ اندازه‌گیری شده در محدوده اطمینان ۹۵ درصد، مدل‌های کاستیاکف و فیلیپ، بیشترین درصد و برابر

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود مدل‌های کاستیاکف و فیلیپ بالاترین درصد قرارگیری مقادیر نفوذ مشاهداتی را در محدوده اطمینان ۹۵ درصد (P) را دارا می‌باشند و در رده‌های بعدی به ترتیب، مدل‌های SCS و فیلیپ قرار دارند ولی از طرفی مدل هورتون کم‌ترین پهنای باند اطمینان ۹۵ درصد (d) را داراست و مدل‌های SCS، کاستیاکف و فیلیپ به ترتیب در رده‌های بعدی قرار دارند. همچنین مدل‌های SCS، کاستیاکف و فیلیپ از تقارن خوبی برخوردارند (سهای بین صفر و ۰/۵ و Tهای بزرگ‌تر یا مساوی صفر و کوچک‌تر از یک) اما مدل هورتون عدم تقارنی باندها را نشان می‌دهد. در جدول ۲ همان‌طور که ملاحظه می‌شود در خاک لوم رسی، مدل‌های کاستیاکف و فیلیپ بیشترین درصد قرارگیری داده‌های اندازه‌گیری شده در محدوده اطمینان ۹۵ درصد را به خود اختصاص داده‌اند اما در عوض مدل فیلیپ کم‌ترین پهنای باند اطمینان را دارد. در رده‌های بعدی از لحاظ مقدار شاخص p بالا به ترتیب، مدل‌های SCS و هورتون قرار می‌گیرند. اما دقیقاً عکس آن، مدل‌های هورتون، SCS، کاستیاکف و فیلیپ به ترتیب، دارای کم‌ترین مقدار d هستند. همچنین مدل‌های SCS، کاستیاکف و فیلیپ از تقارن

مناسب باندهای پیش‌بینی‌شده در اطراف نمودار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده و هم‌چنین به‌علت اختلاف کم پهنای باند اطمینان نسبت به سایر مدل‌ها دارای بهترین شبیه‌سازی بودند که مدل کاستیاکف به‌علت پهنای باند اطمینان باریک‌تر نسبت به مدل فیلیپ به‌عنوان مدلی مناسب انتخاب شد. هم‌چنین مدل‌های SCS و هورتون در رده‌های بعدی از لحاظ شبیه‌سازی برتر قرار گرفتند. با توجه به نتیجه حاصل از این پژوهش و پژوهش‌های مشابه صورت گرفته، می‌توان گفت که مدل کاستیاکف در شرایط اقلیمی ایران خوب جواب داده و می‌توان از این مدل در برآورد میزان نفوذ آب در خاک، در بخش کشاورزی مانند طراحی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار مانند آبیاری قطره‌ای و بارانی، با هدف صرف جویی در مصرف آب استفاده کرد هم‌چنین در بخش هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی و نیز هیدرولوژی آب‌های سطحی مانند پیش‌بینی میزان رواناب احتمالی از یک رگبار در سطح یک حوضه و کنترل و مدیریت آن، با هدف استحصال آب از این‌گونه پدیده‌های جوی و جلوگیری از هدررفت آن، می‌توان در برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح آب بهره برد

با ۱۰۰ بودند. هم‌چنین در خاک لومی شنی و خاک لومی رسی به ترتیب در مدل SCS، ۷۵، ۷۶/۹۲ و مدل هورتون ۶۸/۷۵، ۶۱/۵۳ بودند و عکس آن از لحاظ کم‌ترین پهنای نرمال‌شده باند شبیه‌سازی در خاک لومی شنی و خاک لومی رسی به ترتیب در مدل هورتون ۰/۱۷۱، ۰/۰۴۵، مدل SCS ۰/۳۲۲، ۰/۳۸۱، مدل کاستیاکف ۰/۳۷۸، ۰/۵۱۹ و مدل فیلیپ ۰/۴۷۹، ۰/۸۲۶ مشاهده شد. از لحاظ درجه عدم تقارن داده‌های شبیه‌سازی‌شده در معیار S، مدل‌های SCS، کاستیاکف و فیلیپ بین ۰ و ۰/۵ و مدل هورتون بیش‌تر از ۰/۵ و هم‌چنین در معیار T، مدل‌های SCS، کاستیاکف و فیلیپ کم‌تر از یک و مدل هورتون بیش‌تر از ۱ بودند. بنابراین با توجه به معیارهای درصد قرارگیری داده‌های اندازه‌گیری‌شده در محدوده اطمینان موردنظر، پهنای نرمال‌شده باند داده‌های شبیه‌سازی‌شده در محدوده اطمینان موردنظر و دو معیار درجه عدم تقارن داده‌های شبیه‌سازی‌شده در محدوده اطمینان موردنظر، ملاحظه شد که در هر دو بافت خاک لومی شنی و لومی رسی مدل‌های کاستیاکف و فیلیپ به‌دلیل درصد بالای قرارگیری مقادیر نفوذ اندازه‌گیری‌شده در محدوده اطمینان ۹۵ درصد و دارای درجه تقارنی

منابع

1. Aghakhani Afshar, A., Hassanzadeh, Y., Pourreza Bilondi, M., and Memarian, H. 2019. Uncertainty analysis of a continuous hydrological model using DREAM-ZS algorithm. *Iran. J. Sci. Technol.* 44: 2-4. 1-17.
2. Ahmadi Zadeh, M., and Maroofi, S. 2017. Bayesian analysis and particle filter application in rainfall-runoff models and quantification of uncertainty. *J. Water Soil Cons.* 24: 1. 251-264.
3. Beven, K. 1993. Prophecy, reality and uncertainty in distributed hydrological modelling. *Advances in water resources.* 16: 1. 41-51.
4. Beven, K., and Binley, A. 1992. The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction. *Hydrological processes.* 6: 3. 279-298.
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. Clausnitzer, V., Hopmans, J.W., and Starr, J.L. 1998. Parameter uncertainty analysis of common infiltration models. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 62: 6. 1477-1487.

7. Dzotsi, K.A., Basso, B., and Jones, J.W. 2013. Development, uncertainty and sensitivity analysis of the simple SALUS crop model in DSSAT. *Ecological Modelling*. 260: 62-76.
8. Fakuri, T., Imami, H., and Gahreman, B. 2011. Effect of different uses on water penetration in soil. *Water Research in Agriculture*. 25: 2. 195-205.
9. Hamraz, B., Akbarpour, A., and Pourreza-Bilondi, M. 2015. Assessment of parameter uncertainty of modflow model using glue method (case study: birjand plain). *J. Water Soil Cons.* 22: 6. 61-79.
10. Imamifar, S., Davari, K., Ansari, H., Gahreman, B., Hosseini, M., and Nasser, M. 2016. Uncertainty Analysis of DWB Model Using GLUE Method (Case Study: Novel Andarab and Faroub Watersheds). *J. Water Soil Cons.* 6: 1. 125-142.
11. Jafarzadeh, M., Rouhani, H., Salmani, H., and Fath Abadi, A. 2016. Reducing uncertainty in a semi distributed hydrological modeling within the glue framework. *J. Water Soil Cons.* 23: 1. 83-100.
12. 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.
13. Neshat, A., and Parez Kar, M. 2007. Comparison of methods for determining the velocity of water penetration in soil. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 14: 3. 186-195.
14. Nourali, M., Ghahraman, B., Pourreza Bilondi, M., and Davary, K. 2017. Uncertainty estimation of HEC-HMS flood simulation model using Markov Chain Monte Carlo Algorithm. *J. Water. Manage. Res.* 8: 15. 235-249.
15. Pourreza Bilandi, M., Akhund Ali, A.M., Ghaherman, B., and Talouri, R. 2014. Uncertainty Analysis a single event distributed rainfall-runoff model with using two different Markov Chain Monte Carlo methods. *J. Soil Cons. Res.* 21: 5. 1-26.
16. Sepahvand, A., Tayyi Semiromi, M., Mirnia, Kh., and Moradi, H.R. 2010. Evaluation of the sensitivity of penetration models to soil moisture variability. *J. Soil Water (Agricultural Sciences and Technology)*. 25: 2. 338-346.
17. Shafiei, M., Ghaherman, B., Saghafian, B., Davari, K., and Vazifeh Doost, M. 2014. Calibration and uncertainty analysis of SWAP model using GLUE method. *J. Water Res. Agric.* 28: 2. 477-488.
18. Shukla, M., Lal, R., Owens, L., and Unkefer, P. 2003. Land use and management impacts on structure and infiltration characteristics of soils in the North Appalachian region of Ohio. *Soil Science*. 168: 3. 167-177 .
19. Stedinger, J.R., Vogel, R.M., Lee, S.U., and Batchelder, R. 2008. Appraisal of the generalized likelihood uncertainty estimation (GLUE) method. *Water resources research*. 44: 12.
20. Vrugt, J.A., Ter Braak, C.J., Gupta, H.V., and Robinson, B.A. 2009. Equifinality of formal (DREAM) and informal (GLUE) Bayesian approaches in hydrologic modeling?. *Stochastic environmental research and risk assessment*. 23: 7. 1011-1026.
21. Yan, Y., Liu, J., Zhang, J., Li, X., and Zhao, Y. 2017. Quantifying soil hydraulic properties and their uncertainties by modified GLUE method. *International Agrophysics*. 31: 3. 433-445.
22. Yen, B.C., and Tang, W.H. 1976. Risk-Safety Factor Relation for Storm Sewer Design. *J. Environ. Engin. Div. ASCE*. 102(E2): 509-516.



Comparing of infiltration models through parameters uncertainty analysis into two types of soil texture

E. Alinia¹, *M. Pourreza-Bilondi² and A. Khashei-Siuki³

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Water Sciences and Engineering, University of Birjand,

²Associate Prof., Dept. of Water Sciences and Engineering, University of Birjand,

³Professor, Dept. of Water Sciences and Engineering, University of Birjand

Received: 09.29.2019; Accepted: 05.12.2020

Abstract

Background and Objectives: One of the main important strategies can be achieved to preserve the water resources is the optimal use of water in the agricultural sector. Water infiltration as a key component of water resource plays a significant role in this challenging problem. Water permeability in soil strongly depends on environmental factors, climatic conditions, latitude and soil characteristics, and has high spatial variability. The different simulation models are used to predict the amount of water infiltration in the soil. There has been a lot of research on the estimation of water infiltration models in the soil, which tried to study assessment of infiltration models and dependent effective factors. Thus, main novelty of current study is comparison of parameter uncertainty analysis of several infiltration models (Kostiakov, SCS, Philip and Horton) through GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation) algorithm.

Materials and Methods: Their measurement is conducted in one of the farms of the county in Roshtkhar located in south of Khorasan Razavi province. The measurements data through double cylindrical method were carried out in three iterations and in two different soil textures, sandy loam and clay loam. In this research, the uncertainty assessment was performed by four mentioned infiltration models. Uncertainty prediction of these four models through GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation) algorithm was used in the MATLAB programming environment, with 100,000 iterations. Here, one percent of best simulations were selected to define the 95 percent prediction uncertainty (95PPU). Then posterior distribution of each model parameters is plotted and assessed. In order to quantify the results of uncertainty, four indicators include; "the percentage of data placement measured in the 95PPU", "the bandwidth of the simulated data in the 95PPU", and two criteria involved with "the degree of asymmetry of the simulated data in the 95PPU", which is briefly shown as letters P, d, s, and T respectively, are used in this study.

Results: The 95PPU results showed the p-factor with maximum amount (100%) in two Kostiakov and Philip models in both soil textures. The results adopted from s index revealed that SCS, Kostiakov and Philip model simulations had least amounts (0 to 0.5) while Horton had s index more than 0.5. Based on T index value, all simulation models except of Horton was less than 1.

Conclusion: According to the four P, d, s, and T indices, it was found that the parameters of Kostiakov model has more certainty than other model parameters, which can be considered as an appropriate model. Also, based on these performance criteria, SCS and Horton models is placed in next ranks.

Keywords: GLUE, Infiltration models, Roshtkhar, Simulating the water infiltration into soil, Uncertainty

* Corresponding Author; Email: mohsen.pourreza@birjand.ac.ir