تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال شانزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹
Volume 16, No. 4, Winter 2021 (IR-WRR)
۱۷۴-۱۸۹

کاربرد رهیافت تخصیص پارامتر در مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز با مدل توزیعی-فیزیکی MIKE SHE (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زیارت، استان گلستان)

ابوالفضل زرقی[۱]، عبدالرضا بهره‌مند[۲*] و واحدبردی شیخ[۳]

چکیده

برآورد پارامتر یکی از مراحل اصلی در مدل‌سازی هیدرولوژیکی است. مقادیر پارامتر می‌تواند به صورت منطقی یا با واسنجی تعیین شود. در مدل‌های توزیعی مبتنی بر فیزیک، می‌توان پارامترها را تا حدودی با استفاده از ویژگی‌های حوضه آبخیز، دانش هیدرولوژیکی، خصوصیت فیزیکی پارامترها و نحوه عملکرد آنها در مدل مشخص نمود. تعیین پارامتر مبتنی بر منطق و شناخت فرآیند، تخصیص پارامتر نامیده می‌شود. این مطالعه تلاش کرده است تا این رویکرد را با مدل MIKE SHE انجام دهد و جریان سطحی در حوضه آبخیز زیارت را با این رویکرد، شبیه‌سازی و نتیجه را با رویکرد واسنجی مقایسه کند. مدل در هر دو رویکرد برای یک دوره مشخص (۱۳۹۳/۶/۳۰-۱۳۹۱/۱۱/۴) و در مرحله اعتبارسنجی برای دوره (۱۳۹۶/۶/۳۰-۱۳۹۵/۱/۲۷) اجرا شد. نتایج شبیه‌سازی بر اساس هر کدام از رویکردها با معیارهای کارآیی ناش-ساتکلیف و کلینگ-گوپتا مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس معیارهای مذکور، مدل در رویکرد تخصیص پارامتر دارای کارآیی مناسبی بوده و طبق اعتبارسنجی، نتایج منطقی‌تر و با ثبات‌تری از خود نشان داده است. همین نتیجه‌گیری که در رابطه با نتایج بیلان آب حاصل شد به‌طوری‌که مؤلفه‌های بیلان آبی در رویکرد تخصیص پارامتر منطقی‌تر و با ثبات‌تر می‌باشند. بر پایه نتایج این تحقیق می‌توان از رویکرد تخصیص پارامتر در حوضه‌های فاقد آمار استفاده کرد. با صرف زمان بیشتر برای شناخت بهتر حوضه و پارامترهای مدل می‌توان به نتایج قابل‌قبولی دست یافته و نیاز به واسنجی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد، هرچند که در خصوص بعضی پارامترها نمی‌توان از واسنجی اجتناب کرد.

کلمات کلیدی: MIKE SHE، تخصیص پارامتر، کلینگ-گوپتا، واسنجی محدود.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۸/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۱۱/۷

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲- دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۳- دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

Application of Parameter Allocation Approach in Hydrological Modeling with MIKE SHE Distributed-Physical Model (Case Study: Ziarat Watershed, Golestan Province)

A. Zarghi[1], A. Bahremand[2], and V. Sheikh[3]*

Abstract

Parameter estimation is one of the main tasks in the hydrologic modeling. Parameter values can either be specified logically or blindly calibrated. In distributed physics-based models, it is arguably possible to specify parameters using catchment characteristics, hydrologic knowledge, the physics behind the parameters and how they function in the model. Such logic-based parameter specification is called as parameter allocation. This study tries to practice this modeling approach using the MIKE SHE Model and simulate the overland flow in the Ziarat watershed. The model was executed using both approaches for a certain period from 01.23.2013 to 09.21.2014, and for the period from 04.15.2016 to 09.21.2017 as validation. The results of the simulation based on each of the approaches were evaluated by the Nash-Sutcliffe and Kling-Gupta efficiency criteria. Based on these efficiency criteria, the model in the parameter allocation approach has a good performance, and shows consistency in the validation period. Regarding the water balance, the results of the allocation approach were more resoanable and meaningful. Based on this, it can be concluded that spending more time to better understand the watershed charactristics and parameters of the model leads to more acceptable and consistent results that reduces the need for calibration, significantly.

Keywords: MIKE SHE, Parameter Allocation, Kling-Gupta, Limited Calibration.

Received: November 6, 2020

Accepted: January 26, 2021

1- M.Sc. Graduate of Watershed Management Engineering, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2- Associate Professor, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Email: abdolreza.bahremand@yahoo.com

3- Associate Professor, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

*- Corresponding Author

۱- مقدمه

علیرغم اینکه مدل‌های هیدرولوژیکی از نظر محاسباتی وکسب نتایج بسیار کارآ هستند اما براساس نمایش ساده شده فرایندهای هیدرولوژیکی و فرضیات هستند و توسط پارامترهایی کنترل می‌شوند که این پارامترها همیشه بطور مستقیم قابل اندازه‌گیری و یا قابل استنتاج از عرصه نیستند. بنابراین لازم است که مدل‌های هیدرولوژیکی در برابر داده‌های مشاهداتی واسنجی شوند (Bahremand et al., 2020; Ghonchepoor and Bahremand, 2018; Ozhan et al., 2018). واسنجی پارامتر گامی مهم در مدل‌های هیدرولوژیکی است. به صورت سنتی برای تعیین اینکه آیا نتایج مدل قابل اعتماد است یا خیر، تناسب و همخوانی میان دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بررسی می‌شود (Hu et al., 2005; Li et al., 2014; Liyong et al., 2014). این روش، امکان ارزیابی توانایی پیش‌بینی مدل در دیگر حالت‌ها (مکان یا زمان) و جریان‌های هیدرولوژیکی را فراهم نمی‌کند و همچنین هیچ‌گونه بینشی نسبت به توانایی مدل برای شبیه‌سازی الگوهای فضایی (مکانی) در یک حوضه دیگر را ندارد. برآورد پارامتر و واسنجی در حال حاضر عمدتاً برای کاهش خطاهای مدل مناسب است و تنها به بهبود محدودیت‌های مدل در الگوهای زمانی-مکانی، در فرایند شبیه‌سازی می‌پردازد، در واقع با تغییر پارامترهای مدل، عدم‌قطعیت‌ها و نبود دانش جبران می‌شود (Antonetti, 2017a). در سال‌های اخیر در علم هیدرولوژی، تمرکز بر شناخت فرایندها و مدل‌سازی جزییات هر چه بیشتر با کمک فیزیک بهتر قرار گرفته است (Bahremand, 2016). در رابطه با این بحث Gupta and Nearing (2014) پیشنهاد کردندکه با تمرکز مستقیم بر نقش پایه‌ای (و استقرایی) فرایند مدل‌سازی (بویژه ساختار سیستم) و در عین حال عدم تأکید بر بهینه‌سازی تفصیلی پارامترهای سیستم، می‌توان به دانش بیشتری دست یافت. در ادامه Gharari et al. (2014) با ارائه یک توضیح کاربردی و روش‌شناختی اشاره نمودند که از طریق تحمیل عاقلانه محدودیت‌های ارتباطی پارامتر و فرایند بر مدل (هم به صورت کلی و هم ویژه منطقه خاص)، نیاز به واسنجی به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد و حتی قابل چشم‌پوشی است و همچنین انجام این امر می‌تواند بطور قابل توجهی نتایج را بهبود دهد و در عین حال عدم‌قطعیت شبیه‌سازی را کاهش دهد. Bahremand (2016) بیان می‌کند که تمرکز باید بیشتر بر نمایش فرایندها در مدل باشد تا بر روش‌های بهینه‌سازی پارامتر؛ و لذا در خصوص مدل‌های فیزیکی و فرایند محور بر محدود کردن واسنجی از طریق رهیافت تخصیص پارامتر تاکید می‌کند و برای آن چهارچوب و مراحلی تعیین می‌کند. به‌طوری که با اجتناب از استراتژی رایج سعی و خطا برای جستجو در بهینه‌سازی، و در عوض پیش رفتن از طریق اقدامات زیر، نیاز به واسنجی مدل می‌تواند به‌سادگی بطور قابل توجهی کاهش یابد:

۱- شروع با تعدادی از مقادیر اولیه منطقی استخراج شده بر اساس مشخصات شناخته شده حوضه آبخیز؛

۲- مقداری سعی و خطا برای تصحیح مقادیر منطقی اولیه؛

۳- اعمال محدودیت‌ها و قواعد ارتباطی معنادار و مستدل

در اغلب زمان‌ها، مقادیر صحیح پارامتر (و از این رو عملکرد بهتر مدل) را می‌توان تنها با سعی کم و بدون تلاش قابل توجه، به دست آورد. با قدری تمرین و پس از کسب شناخت درباره چگونگی نمایش فرایندهای هیدرولوژیکی در مدل و چگونگی ارتباط پارامتر با مشخصات قابل مشاهده و قابل ادراک حوضه آبخیز، فرایند واسنجی مدل تا حدی ساده می‌گردد که می‌تواند دلالت بر این امر داشته باشد که مدل نیازی به واسنجی ندارد و تنها لازم است نوعی تخصیص پارامتر انجام گیرد (Bahremand, 2016).

به عنوان نمونه‌هایی از کاربرد دانش حاصل از فرایندها (دانش کارشناسی) برای محدود نمودن واسنجی پارامترها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

Vidal et al. (2007) فرایند واسنجی مدل‌های مبتنی بر فیزیک مانند مدل‌های هیدرولیکی رودخانه و مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی را با تأکید ویژه بر واسنجی دانش-محور، مورد بررسی قرار دادند. آنها بر این حقیقت که واسنجی اغلب بدون هر ملاحظه فیزیکی یا تنها با اندکی از آن انجام می‌گردد، انتقاد نمودند و از تعریف واسنجی مدل بر مبنای دانش ابداعی حاصل از تجربه مدل‌سازی جانبداری کرده و یک سیستم پشتیبان واسنجی مبتنی بر دانش برای مدل‌سازان هیدرولیکی، توسعه دادند. حاصل، یک رویکرد سعی و خطای اتوماتیک مبتنی بر دانش است که همچنین مزایای قابلیت اعتماد و قابلیت تکرارپذیری را دارد.

Bloschl et al. (2008) به منظور برآورد پارامترهای مدل توزیعی مکانی سیلاب بر شناخت رفتار مدل فراتر از واسنجی معمول، تأکید کرده‌اند. Hingray et al. (2010) یک واسنجی مدل مبتنی بر نشانه در حوضه‌های آبخیز آلپی متوسط-مقیاس ارائه نمودند. در این روش واسنجی از دانش هیدرولوژیکی برای استخراج اطلاعات مفید از مجموعه داده بسیار ناهمگن در دسترس در منطقه استفاده می‌کردند. Lebedeva et al. (2014) در رویکرد خود واسنجی به شکل رویکرد خودکار برآورد پارامتر را نپذیرفتند و کاربرد رایج آن را به عنوان یکی از موانع اصلی توسعه مدل‌سازی هیدرولوژیکی مدرن در نظر گرفتند. برخی از انتشارات اخیر در رابطه با مدل‌های هیدرولوژیکی مفهومی نیز

بر استفاده از دانش کارشناسی در برآورد پارامتر و محدود نمودن واسنجی پارامتر، توجه نموده‌اند (Hachowitz et al., 2014; Gharari et al., 2014; Antonetti et al., 2016).

Ghonchepoor and Bahremand (2018) در تحقیقی با عنوان شبیه‌سازی رواناب در حوضه آبخیز خشک توسط مدل هیدرولوژیکی KINEROS2 با استفاده از رویکرد تخصیص پارامتر، نتیجه گرفتند که صرف زمان بیشتری برای شناخت بیشتر حوضه و پارامترهای مدل نتایج قابل قبول را ارائه می‌دهد و نیاز به واسنجی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد، لازم به ذکر است که واسنجی پارامتر در هنگام کار با مدل‌های مفهومی اجتناب‌ناپذیر است، اما برای مدل‌هایی با برخی از درجات ساختاری مبتنی بر فیزیک، می‌توان از آن اجتناب کرد و پارامترهای مدل را با شناخت حوضه و درک رفتار مدل، تخصیص داد.

تخصیص اولیه پارامتر استفاده شده توسط (Antonetti et al., 2016, 2017)، دانش (کسب شده بر پایه تجربه کار با مدل‌های فیزیکی) متخصص استفاده شده توسط (Antonetti and Zappa, 2017)، تخصیص پارامترهای مدل WetSpa-Python توسط (Bahremand et al., 2020) و همچنین دانش کارشناسی و پارامترهای بهینه‌شده حاصل از مطالعات قبلی توسط (Li et al., 2018) بر پایه کار با مدل هیدرولوژیکی MIKE SHE نیز از تلاش‌های دیگر مشابه برای تعیین پارامترهای مدل بدون واسنجی معمول هستند.

بطور کلی، مثال‌های ذکر شده در بالا از این اعتقاد مبنی بر اینکه "با به دست آوردن شناخت درباره فرایندهای هیدرولوژیکی و با تلاش برای مرتبط نمودن پارامترها با مشخصات قابل مشاهده (یا مفهومی) حوضه آبخیز، امکان استنتاج مقادیر منطقی برای پارامترهای مدل هیدرولوژیکی وجود دارد"، پشتیبانی می‌نمایند.

همان‌گونه که از مباحث اشاره شده در بالا پیداست، مطالعات قبلی سعی بر این داشته‌اند که واسنجی معمول را تا حد زیادی کاهش داده و به سمت تعیین پارامترها با توجه به منطق و شناخت فرآیندها گام بردارند و به نوعی از واسنجی تا حد توان چشم‌پوشی کنند. ضمناً، آنچه که در اینجا به عنوان "تخصیص پارامتر" بحث می‌شود، در حقیقت نقش مهمی در مدل‌سازی هیدرولوژیکی دارد، اما به قدر کافی مورد بحث قرار نگرفته است، "اگرچه چیزی است کـــه مـدل‌سازان بـاتجربه معمولاً در هر مطالعه مـــدل‌سازی، انجام می‌دهند" (Bahremand, 2016). این جنبه، شایسته توجه بیشتر است، چراکه در جهت دستیابی به شناخت بیشتر در مورد فرایندهای هیدرولوژیکی، نحوه ارائه آنها در مدل، و ارتباط بین پارامترهای مدل و مشخصات حوضه آبخیز است، لذا در مطالعه حاضر رویکرد "تخصیص پارامتر" به صورت گام به گام در تعیین پارامترها به کار گرفته می‌شود. لذا در اینجا هدف اصلی بررسی رهیافت تخصیص پارامتر با یک مدل قطعی و فیزیکی در یک حوضه آبخیز شناخته شده می‌باشد.

در این مطالعه مدل هیدرولوژیکی-توزیعی قطعی و مبتنی بر فیزیک MIKE SHE برای بررسی رهیافت تخصیص پارامتر آبخیز زیارت استان گلستان انتخاب و به‌کار گرفته شد.

۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز زیارت با مساحت ۹۵/۱۵ کیلومتر مربع و محیط ۴۰/۵۱ کیلومتر در استان گلستان، شهرستان گرگان بین طول جغرافیایی ۵۴ درجه، ۲۳ دقیقه تا ۵۴ درجه، ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه، ۳۶ دقیقه تا ۳۶ درجه، ۴۳ دقیقه شمالی در کشور ایران قرار گرفته است. خصوصیات فیزیوگرافی منطقه به شرح جدول ۱ می‌باشد. از بعد هواشناسی این حوضه دارای اقلیم آب و هوایی معتدل تا سرد کوهستانی است و میانگین دمای سالانه در آن ۱۰/۷۸ درجه سلسیوس و نیز بیشترین مقدار بارندگی در فصول سرد سال رخ داده و میانگین آن معادل ۷۵۰ میلی‌متر در سال برآورد و بیشینه رطوبت در فصول سرد به ۷۸ و در فصول گرم به ۷۱ درصد می‌رسد.

با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و در محیط نرم‌افزار ArcGIS مرز هیدرولوژیکی آبخیز با توجه به موقعیت ایستگاه هیدرومتری نهارخوران در خروجی حوضه تعیین گردید (شکل ۱ و ۲). هم‌چنین مرز حوضه و شبکه هیدروگرافی با سایر نقشه‌های موجود و با واقعیت تطبیق داده شد و خصوصیات کلی فیزیوگرافی منطقه که در محیط GIS، به‌دست آمده‌اند در جدول ۱ نشان داده شده است.

خاک یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌ها در مدل‌سازی هیدرولوژی یک منطقه و حوضه آبخیز است که در فرآیند نفوذ و تغذیه آب‌های زیرزمینی و سپس زهکشی به سمت رودخانه نقش اصلی را دارد و باید به صورت مناسب تهیه شود. برای تهیه نقشه خاک با استفاده از نقشه پایه خاک از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان محدوده هر نوع خاک در حوضه مشخص شد. منطقه مورد مطالعه از لحاظ خاک‌شناسی دارای چهار کلاس بافت لومی شنی، سیلت لوم، سیلت رسی لوم و رسی لوم است که بیشترین درصد از سطح حوضه مربوط به خاک‌های سیلتی لوم می‌باشد (شکل ۳).

نقشه کاربری اراضی منطقه که در اداره کل آبخیزداری و منابع طبیعی استان گلستان تهیه شده، پس از مطالعه و بازدید از منطقه و بررسی با نرم‌افزار Google Earth با پوشش گیاهی منطقه تطبیق داده و اصلاح شد. شکل ۴ پراکنش کاربری‌های اراضی موجود در حوضه آبخیر زیارت را نشان می‌دهد.

برای استخراج و تحلیل پارامترهای آب و هوایی نیاز به آمار و اطلاعات ثبت شده ایستگاه‌های هواشناسی است. جدول ۲ لیست ایستگاه‌های باران‌سنجی، تبخیرسنجی و هیدرومتری منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این تحقیق از آمار هفت ساله برای داده‌های بارش از دو ایستگاه زیارت و نهارخوران و دبی از ایستگاه نهارخوران در پایه زمانی روزانه استفاده گردید.

Table 1- Physiographic characteristics of the Ziarat watershed
جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبخیز زیارت

Characteristic factors	Value
Watershed area (km^2)	95.15
Watershed perimeter (km)	40.51
Maximum Stream elevation (m)	2946
Minimum Stream elevation (m)	759
Maximum watershed elevation (m)	3027
Average watershed elevation (m)	1915
Minimum watershed elevation (m)	472
Main Stream length (km)	16.36
Average watershed slope percentage (%)	41.4

Table 2- Characteristics of the rain and hydrometric gauge stations of the Ziarat watershed
جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری محدوده حوضه آبخیز زیارت

Code	Region	Station	Station type	River	Elevation (m)	Longitude	Latitude
12-231	Gorgan	Ziarat	Evaporation gauge	Ziarat	950	274976	4065750
12-024	Gorgan	Naharkhoran	Rain gauge	Ziarat	450	274666	4071765
12-043	Gorgan	Naharkhoran	Hydrometric gauge	Ziarat	508	274654	4071747

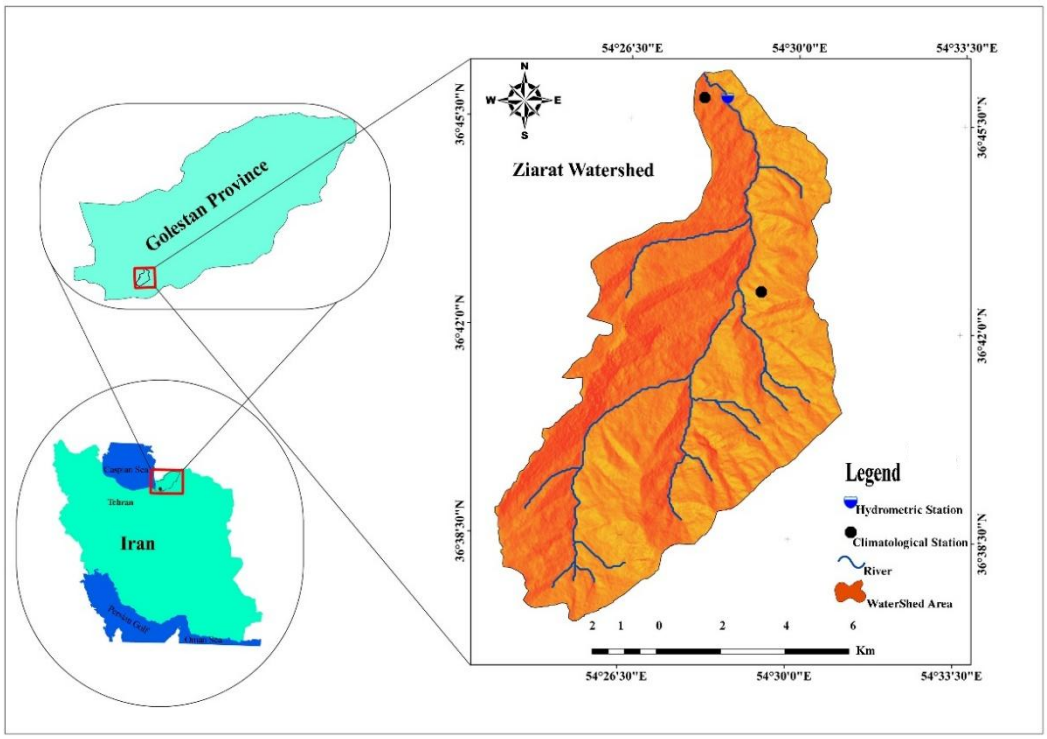

Fig. 1- Location of Ziarat watershed in Iran and Golestan province and watershed drainage network
شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز زیارت در ایران و استان گلستان و شبکه زهکشی حوضه آبخیز

۳- روش تحقیق

۳-۱- تخصیص پارامتر

تخصیص پارامتر، برای مدل‌هایی قابل اعمال است که پارامترهای آن‌ها فیزیکی یا مفهومی باشد و به‌طور منطقی قابل توضیح باشند. با مقداری تمرین و پس از کسب شناخت در مورد چگونگی بازنمایی فرایندهای هیدرولوژیکی و اینکه چگونه پارامترها با مشخصات قابل مشاهده و مفهومی حوضه آبخیز ارتباط می‌یابند، فرد مدل‌ساز می‌تواند مقادیر پارامتر را بر اساس استدلال منطقی، مشخص نماید. البته، قابل ذکر است که هنوز برای تعدادی از پارامترها، کمی اصلاح از طریق سعی و خطا، لازم و مفید است. بنابراین، این یک روش ابتکاری است، که در آن یک حدس تجربی در رابطه با مقادیر پارامتر ایجاد می‌شود و سپس از طریق ارزیابی عملکرد مدل، می‌تواند مورد تأیید قرار گیرد. چنین رویکردی می‌تواند نوعی "واسنجی جعبه سفید" باشد و می‌تواند میزان قابل توجهی از ثبات را، هم در مقادیر پارامتر و هم در رفتار مدل، تضمین نماید (Bahremand, 2016).

البته، هنگامی که کاربر مقادیر اولیه منطقی را برای جستجوی پارامتر محلی به صورت خودکار، انتخاب می‌کند، شبیه نوعی استفاده از اطلاعات آگاهانه قبلی برای دستیابی به هدف در فرایند واسنجی، به شیوه‌ای مشابه استنتاج بیزین یا نظر کارشناسی در تصمیم‌گیری، است. بنابراین، به افزایش کارایی واسنجی کمک می‌کند و منجر به افزایش ثبات پارامتر شده و عدم قطعیت را کاهش می‌دهد که به موجب آن نتیجه کلی، بهبود می‌یابد. بطور مشابه، در یک فرایند منطقه‌ای، از دانش قبلی فرد در مورد ماهیت حوضه آبخیز و فرایندهای غالب درون آن برای کاهش (و در صورت امکان، اجتناب از) ضرورت واسنجی مدل و برآورد پارامتر، استفاده می‌نماید. در این حالت از طریق فرایند عمومی‌سازی، بر اساس طراحی پارامتر که از طریق ترکیب دانش کارشناسی و شواهد تجربی، مشخصات حوضه آبخیز را با مقادیر پارامتر مرتبط می‌سازد، روش‌هایی جستجو می‌شود که بتوان مدل را در حوضه‌های آبخیز فاقد آمار و اطلاعات به کار برد (Bergstorm, 2006; Bardossy, 2007). در مورد نظر کارشناسی مورد استفاده برای کمک به تصمیم‌گیری، اقدام مشابهی به‌کار گرفته می‌شود، نکته این است که در تمام موارد، تأکید بیشتری بر درک فرایند وجود دارد و با افزایش چنین شناختی، مشکل برآورد پارامتر، به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Bahremand, 2016).

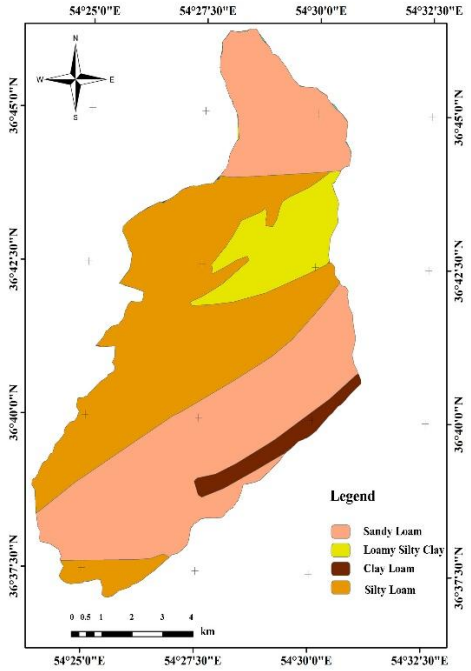

Fig. 3- Soil texture map of the Ziarat watershed

شکل ۳- نقشه بافت خاک حوضه آبخیز زیارت

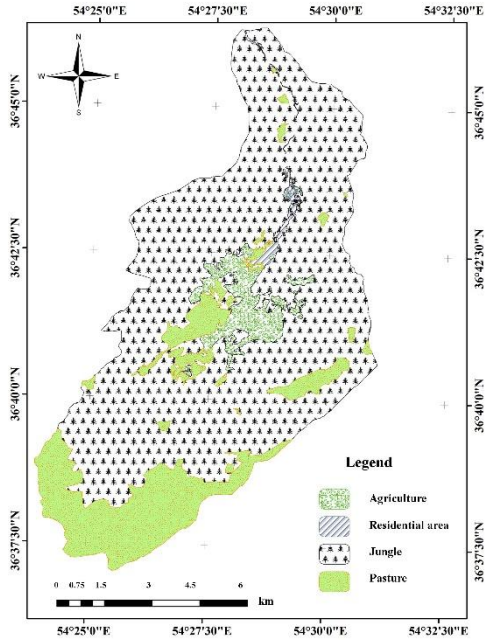

Fig. 4- Land use map of the Ziarat watershed

شکل ۴- نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز زیارت

۳-۲- گام‌های تخصیص پارامتر

در ادامه چند گام ارائه شده است که می‌تواند در رویکرد تخصیص پارامتر برای یک مدل مبتنی بر فیزیک، دنبال گردد (Bahremand, 2016).

۱- ارزیابی اولیه رفتار یا حساسیت پارامتر (یک مجموعه پارامتر بهینه از مطالعه قبلی در یک حوضه آبخیز متفاوت می‌تواند انتخاب خوبی برای شروع باشد). مدل‌ساز قصد دارد بداند که پاسخ مدل چگونه با مقادیر پارامترهای آن ارتباط می‌یابد، و چنین آزمونی به تأیید رفتار مورد انتظار برای منطقه مطالعاتی جدید، کمک می‌نماید.
۲- مقادیر پارامترهایی که می‌توان مقدار تقریبی آنها را به‌سادگی با دنبال نمودن قوانین کلی تعیین نمود، مشخص شوند (تخصیص داده شوند).
۳- هر پارامتر "غیرحساس" با مقادیر عددی منطقی، به‌طور ثابت درنظر گرفته شود. عموماً ممکن است این گام برای مدل‌های توزیعی مبتنی بر فیزیک، لازم نباشد، زیرا معمولاً پارامترهای این گونه مدل‌ها حساس هستند.
۴- مقادیر تقریبی برای پارامترهایی که دارای رفتار ارتباطی ثابتی با مشخصات حوضه آبخیز هستند، تخصیص داده شوند.
۵- تمام نابرابری‌های منطقی بین پارامترها، ارتباطات مفهومی بین پارامترها و مشخصات حوضه آبخیز (و همینطور اصول سازمانی و محدودیت‌های مربوط به بیلان آب) جمع‌آوری و فهرست شوند.
۶- شرایط نابرابری که ممکن است بین تعدادی از پارامترها وجود داشته باشد اعمال شوند. پارامترهایی که دارای محدودیت و قواعد ارتباطی هستند، با یکدیگر تخصیص داده می‌شوند. محدودیت‌ها هم می‌توانند به صورت دستی به کار گرفته یا در رویکرد خودکار، با استفاده از کدهای کامپیوتری ساده، انجام شوند.
۷- در مواردی لازم خواهد بود که پارامترها و یا فرایندهای مدل، با اصول سازمانی مانند اپتیمالیتی، و قوانین هورتون برای شبکه‌های آبراهه‌ای (مانند عدد انشعاب هورتون)، منطبق باشند. به عنوان مثالی برای مورد دوم، Schaefli and Huss (2011) داده‌های بیلان جرم یخچالی را برای محدود نمودن عدم قطعیت پارامتر برای مدل هیدرولوژیکی خود در یک حوضه یخچالی، به کار بردند (He et al., 2015).

همانگونه که در بالا ذکر شد، نتایج برای بعضی از پارامترها، به صورت دامنه پارامتر خواهد بود و نه یک مقدار قطعی، و قبل از اینکه مدل‌ساز بتواند در مورد مقادیر نهایی پارامتر تصمیم‌گیری نماید، احتمالاً هنوز مقداری تنظیمات دستی باقیمانده، به صورت سعی و خطا، لازم خواهد بود. با دستیابی به این مجموعه "تخصیص یافته"، فرد باید به آن اعتماد کرده و از نتیجه، مطمئن باشد (Bahremand, 2016).

۳-۳- راه اندازی مدل MIKE SHE

نسخه اصلی MIKE SHE یک مدل توزیعی فیزیکی برای شبیه‌سازی تمام فرآیندهای هیدرولوژیکی است. در حال حاضر، این مدل به عنوان یک مدل جامع مبتنی بر فرایند و با روش‌های مفهومی و فیزیکی توسعه داده شده است و می توان به حل مسائل مربوط به منابع آب و مشکلات اکولوژیکی در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی با توجه به اهداف پروژه و داده‌های در دسترس پرداخت (Christian et al., 2010; Thompson et al., 2012).

هر فرآیند هیدرولوژیکی در مدل MIKE SHE با چندین روش مختلف (بسته به داده‌های در دسترس) قابل پردازش است. در مطالعه حاضر مسیریابی جریان سطحی با استفاده از تقریب موج پخشی از معادلات دو بعدی سنت-ونانت و جریان کانال براساس تقریب موج سینماتیکی معادلات سنت-ونانت شبیه‌سازی می‌شود. محاسبات تبخیر تعرق با استفاده از روش کریستنسن-جنسن با سری زمانی تبخیر تعرق مرجع، شاخص سطح برگ (LAI) و عمق ریشه (Rd) و ضریب محصول (Kc) انجام می‌شود. جریان آب زیرزمینی غیراشباع به صورت جریان عمودی با استفاده از معادله یک بعدی ریچارد مدل می‌شود. تابع فن‌گناختن برای شبیه‌سازی جریان آب عمودی در ناحیه ریشه، که تبخیر تعرق نیز محاسبه می‌شود، ورود پیدا می‌کند (Li et al., 2018). با توجه به نوع خاک، بسیاری از ویژگی‌های هیدرولیکی خاک مانند هدایت هیدرولیکی، تخلخل، ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی، رطوبت باقیمانده و شاخص توزیع تخلخل به عنوان پارامترهای مدل تعیین می‌گردند (Refsgard, 1997). محاسبات جریان آب اشباع (جریان آب زیرزمینی) به دلیل کمبود اطلاعات با روش مخزن خطی به جای روش تفاضل محدود معادله سه‌بعدی دارسی مدل می‌شود. استفاده از روش مخزن خطی برای منطقه اشباع در MIKE SHE شامل تعریف مخازن جریان زیرقشری و مخازن جریان پایه و همچنین پارامترهای آنها است (Li et al., 2018).

۳-۴- آماده سازی داده‌ها

- نقشه‌های معرفی شده به مدل

یکی از قابلیت‌های ویژه بسته نرم‌افزاری MIKE ZERO این است که اگر فایل‌های شکلی حاصل از نرم‌افزار GIS به مدل معرفی شود، مدل خود فایل‌های چندضلعی را پردازش، شبکه بندی و به فرمت

Table 3- Components that can be simulated in MIKE SHE and its related processes
جدول ۳- مؤلفه‌های قابل شبیه‌سازی در MIKE SHE و فرآیندهای مرتبط با آن

Components	Related processes
Evapotranspiration	−Evaporation from the surface of vegetation −Evaporation from the soil surface −Evaporation from wetland detention storage −Transpiration of roots
Overland flow	-Wetland detention storage -Surface runoff (Reversed manning roughness coefficient (M))
Unsaturated zone flow	−Infiltration - Moisture distribution −Shortage of soil moisture
Saturated zone flow	−Groundwater flow - Groundwater exchange

خاص مدل یعنی (dfs2.*) تبدیل می‌کند و اگر فایل رستری به مدل معرفی شود باید با توجه به اندازه سلول شبیه‌سازی تعریف شده فایل‌های رستری تهیه گردد. با توجه به نکات فوق تمام فایل‌های مورد نیاز مدل در اندازه سلول ۱۰ متر مربع تهیه و به مدل معرفی گردید (Vázquez, 2002) برای تهیه توپوگرافی حوضه آبخیز از مدل رقومی ارتفاعی با تفکیک سلولی ۱۰ متر تهیه شده از سازمان جغرافیایی ایران استفاده و سپس با ابزارهای تعبیه شده در محیط نرم‌افزار MIKE ZERO به فرمت (dfs2.*) تبدیل و به مدل معرفی شد. برای تعیین کاربری اراضی از نقشه‌های تهیه شده از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان استفاده و سپس در محیط Google Earth به اصلاح آن اقدام و نقشه مناسب و به‌روز کاربری اراضی برای دوره شبیه‌سازی مورد نظر تهیه شد که بر این اساس حوضه آبخیز زیارت دارای ۴ نوع کاربری (به ترتیب بیشترین مساحت؛ جنگل‌های پهن و سوزنی برگ، مرتع، کشاورزی و مسکونی تقسیم می‌شود)، است. در تهیه نقشه خاک، با استفاده از نقشه پایه خاک تهیه شده از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان محدوده هر نوع خاک در حوضه مشخص و سپس به صورت میدانی نیز اقدام به تهیه نمونه‌های خاک از منطقه شد و از ۴۷ نقطه به صورتی که در محدوده هر کاربری اراضی و نوع خاک حداقل یک نمونه وجود داشته باشد از سه عمق ۵-۰، ۱۵-۵ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر به علت سطحی بودن خاک، نمونه برداشت شد. سپس در آزمایشگاه با روش هیدرومتری درصد شن، رس و سیلت خاک برای هر سه عمق در هر کدام از نمونه‌ها تعیین گردید، عمق خاک سطحی یک متر زیر سطح زمین در نظر گرفته و شبیه‌سازی شده است. اطلاعات هواشناسی از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان تهیه و سپس این اطلاعات پالایش و به صورت سری زمانی بر اساس فرمت خاص مدل (dfs0.*) درآمد. سپس با ادغام با فایل شبکه‌ای (dfs2.*)، به صورت نقشه کاملاً توزیعی (به صورتی که هر سلول دارای یک مقدار بارندگی با سری زمانی اختصاصی باشد درآمد) به مدل معرفی گردید. برای اصلاح دمای حوضه آبخیز از گرادیان نرمال دما مبنی بر کاهش ۶ درجه سانتی‌گراد از دما به ازای هر ۱۰۰۰ متر ارتفاع استفاده شد. روش فاصله معکوس برای تطبیق داده‌های شبکه استفاده می‌شود. برای شبیه‌سازی جریان در رودخانه (کانال) مدل MIKE SHE به مدل هیدرولیکی دو بعدی MIKE 11 متصل می‌شود و سپس جریان سطحی از پیوند بین این دو به فایل رودخانه تعریف شده در مدل MIKE 11 منتقل می‌شود. مدل MIKE SHE برای جفت شدن با مدل MIKE 11 به داده‌های چون شبکه رودخانه، مقاطع عرضی، شرایط مرزی و شرایط هیدرولیکی نیاز دارد. در ادامه در مورد هرکدام از این داده‌ها و نحوه ساخت آن‌ها و معرفی به مدل MIKE 11 توضیحاتی ارائه خواهد شد. شبکه رودخانه؛ بستر تمامی داده‌های مورد نیاز در مدل MIKE 11 است و می‌توان فایل‌های رستری، شکلی (نقطه، خطی و پلیگونی) و غیره را به آن معرفی کرد. هر کدام از داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل MIKE 11 در بستر شبکه رودخانه ویرایش، تصحیح و تحلیل می‌شوند. برای این مؤلفه از MIKE 11 ابتدا برای مشخص شدن محدوده مدل‌سازی، از فایل شکلی چندضلعی حوضه آبخیز زیارت استفاده شد، مسیر رودخانه با استفاده از نرم‌افزار GIS و افزونه ArcHydro از روی DEM تهیه و تبدیل به فایل نقطه‌ای شد، با اضافه کردن فایل نقطه‌ای رودخانه به مدل، مدل مسیر رودخانه را بر اساس این نقاط ترسیم می‌کند. دومین مؤلفه مقاطع عرضی است، مقاطع عرضی؛ شکل هندسی، ضریب زبری و پوشش گیاهی مسیر رودخانه را مشخص می‌کند و لذا مؤلفه بسیار مهمی در روندیابی جریان و هیدروگراف خروجی است. برای تهیه این مؤلفه ابتدا برای هرکدام

از نقاط رودخانه که در مرحله قبل به شبکه رودخانه اضافه شد، یک مقطع معرفی گردید. این مقاطع توسط نرم‌افزار GIS با افزونه HEC_GeoRas بر روی DEM با قدرت تفکیک ۱۰ متر تهیه و در ادامه با استفاده از فایل دقیق مقاطع عرضی که از شرکت آب منطقه‌ای استان تهیه شده بود مطاقبت داده و به صورت مناسب و دقیق تصحیح گردید. سپس برای هر کدام از مقاطع عرضی باید ضریب زبری مانینگ (n) و همچنین ضریب نشت به بستر نیز معرفی گردد. که بر اساس هندسه مقاطع رودخانه، جنس مصالح و پوشش گیاهی بستر رودخانه و جدول ضرایب زبری منینگ روش کووان (Cowan, 1956; Iran Ministry of Energy, 2016) به ترتیب ضریب زبری مانینگ به صورت یک بازه از ۰/۰۶۵ – ۰/۰۲۵ و ضریب نشت معادل ۰/۰۰۰۱ به مقاطع تخصیص داده شد (گام دوم تخصیص پارامتر).

۳-۵- پارامترهای تخصیص یافته

پارامترهای شاخص سطح برگ (LAI) و ضریب گیاهی (Kc) و عمق ریشه (Rd) برای کاربری اراضی، ضریب زبری مانینگ معکوس (M) و ذخیره نگهداشت (Ds) برای محاسبات جریان سطحی، از مؤلفه‌های رطوبت اشباع (θs)، مقدار رطوبت باقی‌مانده (θr) و هدایت هیدرولیکی اشباع (Ks) برای مشخص کردن خصوصیات خاک و ثابت زمانی Ki و Kb و آبدهی (عملکرد) مخصوص که به ترتیب جریان زیرقشری و جریان پایه در MIKE SHE را کنترل می‌کنند برای مخازن خطی (Li et al., 2018) و برای جریان کانال نیز که در محیط MIKE 11 شبیه‌سازی شد از پارامترهای ضریب زبری مانینگ (n) و ضریب نشت بستر رودخانه (L) استفاده شد.

هرکدام از پارامترهای فوق بر اساس منابع و مطالعات قبلی (مطالعات داخلی و بین المللی)، همچنین شناخت کامل حوضه آبخیز زیارت بر پایه تحقیقات فراوانی که در این حوضه انجام گرفته بود و دانش کارشناسی بر پایه شناخت فرآیندهای فیزیکی دخیل در مدل‌سازی فرآیند تعیین شده‌اند که به شرح جداول ۴ الی ۱۰ است.

۳-۶- پارامترهای هیدرولیکی خاک

مدل Rozetta یک نرم‌افزار خاک است که برای تعیین پارامترهای هیدرولیکی خاک به کار می‌رود و با دریافت نوع خاک به عنوان ورودی، بیشتر پارامترهای خاک را به عنوان خروجی تولید می‌کند. این مدل به گونه‌ای تعریف شده است که می‌تواند درصد هر نوع از شن، رس و سیلت را نیز به عنوان ورودی بپذیرد که در این صورت پارامترهای خاک را به صورت دقیق‌تری محاسبه می‌کند و به نوعی یک آزمایشگاه خاک است (Oogathoo, 2006).

Table 4- Leaf area index used as model input

جدول ۴- شاخص سطح برگ استفاده شده به عنوان ورودی مدل

Plant	Minimum	Average	Maximum	References
Autumn wheat	2.25	3.98	5.69	Tesmema et al. (2014), Bakhshande et al. (2012)
Barley (Average Different Types)	1.2	2.8	4.8	Tesmema et al. (2014), Etesami et al. (2010)
Perennial Medicago	1.56	2.82	3.78	Tesmema et al. (2014), Danesh kar araste et al. (2017)
Rangeland plants (perennial grasses)	2.5	3	5.6	Tesmema et al. (2014), FAO 56
Broad-leaf forests	3	3.5	5.2	Tesmema et al. (2014), FAO 56

Table 5- The crop coefficient (Kc) used as model input

جدول ۵- ضریب‌گیاهی (Kc) استفاده شده به عنوان ورودی مدل

Plant	Beginning of growth period	Average growth period	End of growth period	References
Autumn wheat	0.33	0.82-1.5	0.64	Majnooni et al. (2015), liv et al. (2010)
Barley (Average Different Types)	0.3	0.3-0.8	1.03	Najarchi (2005), FAO 56
Perennial Alfalfa	0.95	1.32	0.74	Zareie et al. (2015), FAO 56
Rangeland plants (perennial grasses)	0.325	0.519	0.66	Tajammolian et al. (2012), FAO 56
Broad-leaf forests	1.2	1.2	1.2	MIKE SHE model user manual

Table 6- Crop root (Cm) depth used as model input

جدول ۶- عمق ریشه (cm) استفاده شده به عنوان ورودی مدل

Plant	Beginning of growth period	Average growth period	End of growth period	References
Autumn wheat	10	40	20	MIKE SHE model user manual
Barley (Average Different Types)	10	40	20	MIKE SHE model user manual
Perennial Alfalfa	20	60	40	MIKE SHE model user manual
Rangeland plants (perennial grasses)	30	70	50	MIKE SHE model user manual
Broad-leaf forests	150	150	150	MIKE SHE model user manual

Table 7- Surface roughness coefficient values

جدول ۷- مقادیر ضریب زبری جریان سطحی

Landuse	Reversed manning (M) roughness coefficient $(m^{(1/3)}/s)$	References
Broad-leaf forests	1.69-2.25	Wetspa model user manual
Grasslands	2.1-3.33	Wetspa model user manual
Rangeland	2.3-4	Engman (1986)
Agricalture	2.87-3	Wetspa model user manual
Paved area (Residential and asphalted area)	40-52.4	Engman (1986)

Table 8- Wetland detention storage factor

جدول ۸- مقادیر ضریب نگهداشت چالابی

Landuse	Wetland detention storage (mm)	References
Broad-leaf forests	3.02	Calibrated results of Wetspa model
Grasslands	3.5	Calibrated results of Wetspa model
Rangeland	3.2	Calibrated results of Wetspa model
Agricalture	1.75	Calibrated results of Wetspa model
Paved area (Residential and asphalted area)	0.32	Calibrated results of Wetspa model

Table 9- Values of soil properties prepared from experiments and Rozetta model

جدول ۹- مقادیر ویژگی‌های خاک تهیه شده از آزمایشات و مدل Rozetta

Polygon number	Field capacity moisture	Saturated moisture	Wilting point moisture	Hydraulic conductivity (m/s) * 10^{-6}
1	0.242	0.4192	0.04	9.82
2	0.276	0.4320	0.044	11.5
3	0.306	0.4370	0.0502	9.85
4	0.327	0.4250	0.053	8.53
5	0.338	0.450	0.051	9.17
6	0.309	0.430	0.053	9.55
7	0.288	0.424	0.052	7.55
8	0.299	0.404	0.0614	5.54
9	0.350	0.46	0.065	5.6
10	0.220	0.44	0.055	7.8

Table 10- Values assigned to linear conceptual reservoir parameters

جدول ۱۰- مقادیر اختصاص داده شده به پارامترهای مخزن مفهومی خطی

Interflow reservoir	Parameter Values	Baseflow reservoir	Parameter Values	Unit
Specific yield	0.43	Specific yield	0.43	-
Interflow time constant	14	Fraction of percolation to reservoir	0.5	day
Percolation time constant	14	Time constant for base	100	day
Treshold depth	6	Threshold depth	7.9	m
Initial depth	6	Initial depth	8	m

با استفاده از این مدل هر کدام از پارامترهای خاک برای هر کدام از اعماق نمونه‌ها تعیین شد. حال به علت این که نیازی به درونیابی نبود (مدل MIKE SHE برای نقشه خاک ابتدا یک فایل شبکه‌بندی شده و یا یک فایل‌شکلی چندضلعی برای هر کدام از انواع خاک را به عنوان ورودی می‌پذیرد و سپس برای هرکدام از این شبکه‌ها، ویژگی‌های خاک را از فایلی با همین نام (ویژگی‌های خاک) و پسوند (*.uzs) دریافت می‌کند، لذا نیاز است که کاربر پارامترهای خاک را در فایل مورد نظر به صورت دستی وارد کند)، تعداد نمونه‌های در هر کاربری و نقشه خاک پایه تعیین و میانگین هر پارامتر این نمونه‌ها تعیین و به مدل معرفی شد.

۳-۷- معیارهای کارآیی

برای ارزیابی عملکرد مدل از معیارهای کارآیی نش-ساتکلیف (NSE) (Nash-Sutcliffe, 1970)، و کلینگ-گوپتا (KGE) که در روابط (۱) و (۲) ارائه شده،اند، استفاده گردید. معیار نش-ساتکلیف به شرح رابطه (۱) ارائه شده است:

$$NSE=1-\frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_{comp\,i}-Q_{obs\,i})^2}{\sum_{i=1}^{N}(Q_{obs\,i}-\overline{Q_{obs}})^2} \qquad (۱)$$

که در آن Q_{obsi}: دبی مشاهداتی در زمان iام، Q_{compi}: دبی محاسباتی در زمان iام، $\overline{Q_{obs}}$: میانگین دبی مشاهداتی هستند.

معیار کلینگ-گوپتا (KGE) که در رابطه (۲) ارائه شده است که جدیدترین معیار ارزیابی برای مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی می‌باشد. Gupta et al. (2009) ضمن معرفی این شاخص به مقایسه و بررسی آن نسبت به معیار مشهور نش-ساتکلیف پرداختند:

$$N\,KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2+(\alpha-1)^2+(\beta-1)^2} \qquad (۲)$$

در فرمول مذکور r ضریب همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری می‌باشد. α نسبت انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی شده به انحراف معیار مقادیر اندازه‌گیری شده است، β نسبت میانگین مقادیر شبیه‌سازی به میانگین مقادیر اندازه‌گیری است. بهترین مقدار برای معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا عدد ۱ می‌باشد که نشان دهنده تطابق کامل هیدروگراف‌ها است.

مدل بر اساس هیدروگراف خروجی مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری ناهارخوران واقع در خروجی حوضه آبخیز زیارت برای دوره ۱۳۹۱/۱۱/۴-۱۳۹۳/۶/۳۰ اجرا و سپس برای دوره ۱۳۹۹/۶/۳۰-۱۳۹۵/۱/۲۷ اعتبارسنجی شد، گام زمانی شبیه‌سازی به صورت روزانه تعیین شد. ۵ ماه اول شبیه‌سازی به عنوان دوره آماده شدن[1] مدل از ابتدای شبیه‌سازی حذف گردید (Li et al., 2018). در ادامه به ارائه نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای هر کدام از رویکردهای تخصیص پارامتر و معمول واسنجی (محدود) پراخته می‌شود.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

نتایج معیارهای کارایی مدل در جدول ۱۱ آورده شده است:

Table 11- Model performance criteria results in simulation priod

جدول ۱۱- نتایج معیارهای کارایی مدل در دوره شبیه‌سازی

Performance criteria	Values			
	Allocation	Calibration	Validation of allocation approach	Validation of calibration approach
Correlation (R)	0.76	0.74	0.62	0.6
Nash-Sutcliffe (NSE)	0.46	0.51	0.38	0.31
Kling-Gupta (KGE)	0.73	0.74	0.5	0.55

در رویکرد تخصیص پارامتر، مدل بر اساس هیدروگراف مشاهداتی برای دوره ۱۳۹۳/۶/۳۰–۱۳۹۱/۱۱/۴ اجرا شد که نمودار هیدروگراف شبیه‌سازی در مقایسه با هیدروگراف مشاهداتی در شکل ۵ ارائه شده است.

در رویکرد واسنجی به علت اینکه مدل با روش تعادل آب دو لایه اجرا شده بود و این روش به طور قابل توجهی به تبخیر–تعرق وابسته است، تنها پارامترهای مؤثر بر تبخیر و تعرق مانند ضریب گیاهی، شاخص سطح برگ بر اساس روش معمول سعی و خطا تعیین گردید، و مدل بر اساس دبی مشاهداتی برای دوره ۱۳۹۳/۶/۳۰–۱۳۹۱/۱۱/۴ اجرا شد و نمودار هیدروگراف شبیه‌سازی در مقایسه با هیدروگراف مشاهداتی در شکل ۶ ارائه شده است.

در مرحله اعتبارسنجی با ثابت نگه‌داشتن پارامترهای حاصل از رویکرد تخصیص پارامتر و رویکرد واسنجی، مدل برای دوره ۱۳۹۶/۶/۳۰–۱۳۹۵/۱/۲۷ اعتبارسنجی شد، هیدروگراف شبیه‌سازی مدل در مقایسه با هیدروگراف مشاهداتی در ادامه ارائه شده است. نتیجه مدل در مرحله اعتبارسنجی رویکرد تخصیص پارامتر به صورت مقایسه نمودار هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی در شکل ۷ ارائه شده است.

نتیجه مدل در مرحله اعتبارسنجی رویکرد واسنجی به صورت مقایسه نمودار هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی در شکل ۸ ارائه شده است.

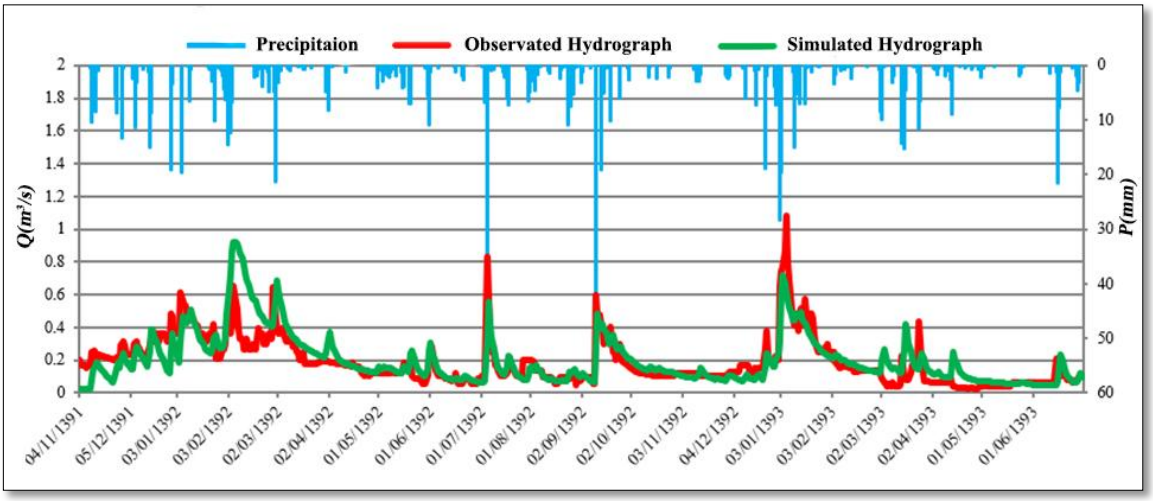

Fig. 5- Comparison of observed hydrographs and simulated hydrographs in parameter allocation approach

شکل ۵- مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و هیدروگراف شبیه‌سازی شده در رویکرد تخصیص پارامتر

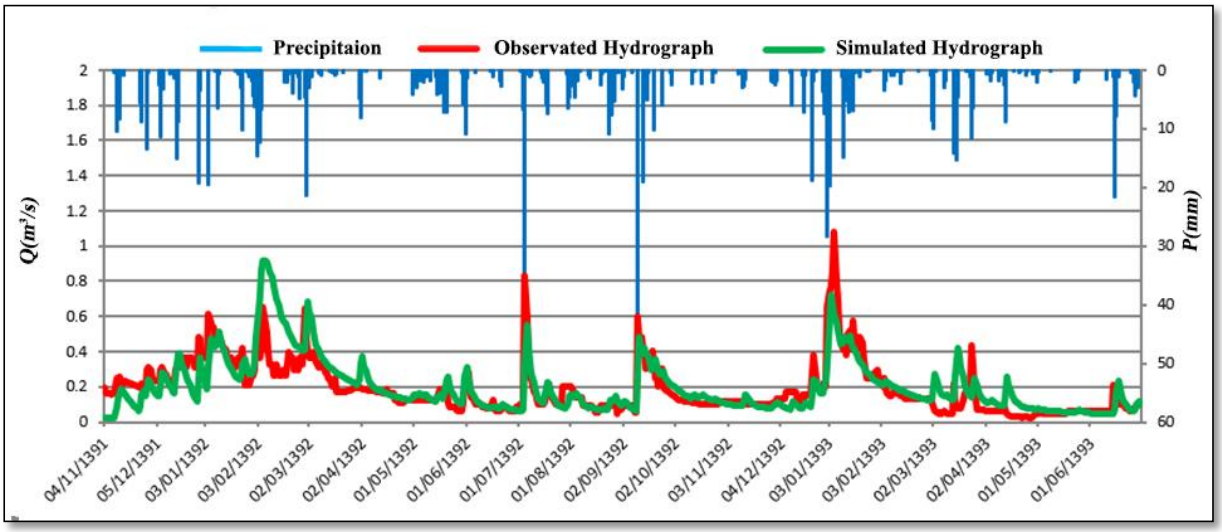

Fig. 6- Comparison of observed hydrographs and simulated hydrographs in parameter calibration approach

شکل ۶- مقایسه بین هیدروگراف مشاهداتی و هیدروگراف شبیه‌سازی شده در رویکرد واسنجی محدود

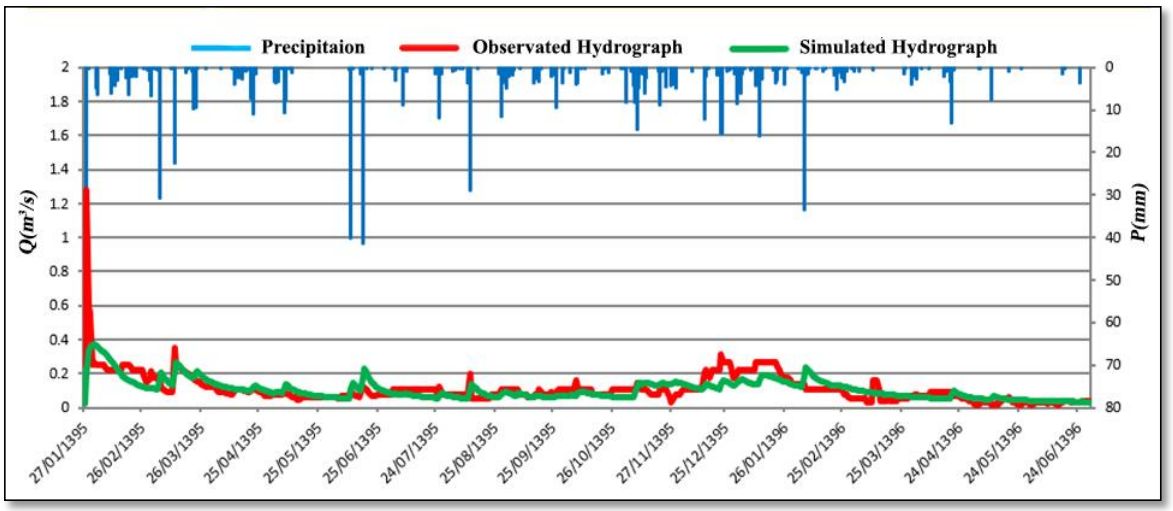

Fig. 7- Comparison of observed hydrographs and simulated hydrographs in the parameter allocation approach at the validation period

شکل ۷- مقایسه بین هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله اعتبارسنجی رویکرد تخصیص پارامتر

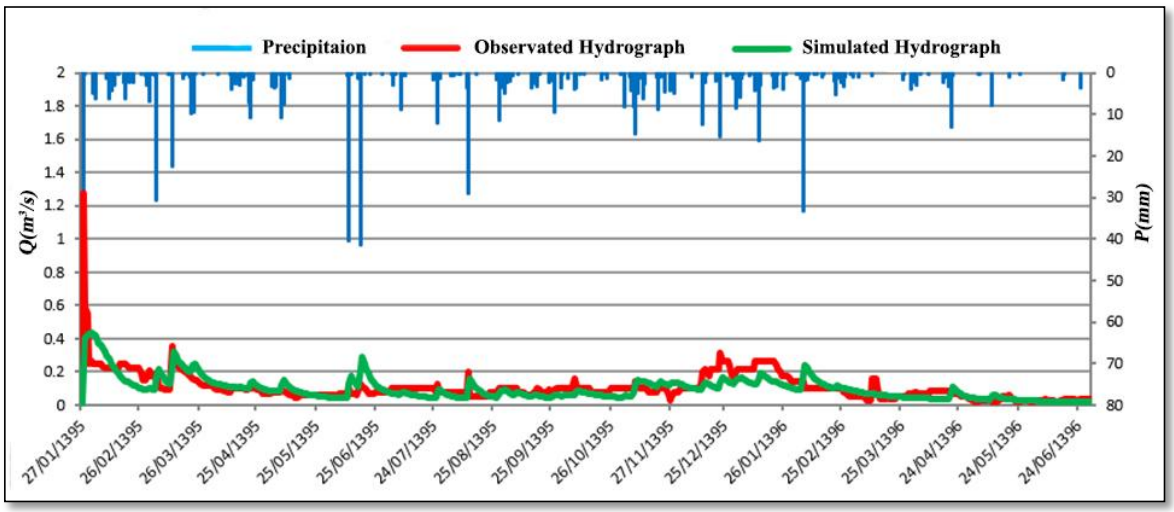

Fig. 8- Comparison of observed hydrographs and simulated hydrographs in the calibration approach at the validation period

شکل ۸- مقایسه بین هیدروگراف مشاهداتی و هیدروگراف شبیه‌سازی شده در مرحله اعتبارسنجی واسنجی محدود

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در رویکرد تخصیص پارامتر بر اساس معیارهای کارایی نش–ساتکلیف، کلینگ–گوپتا و همبستگی که به ترتیب ۰/۴۶، ۰/۷۳، ۰/۷۶ (جدول ۱۰) هستند مدل دارای نتیجه مناسبی است (Moriasi et al., 2007; Kalin et al., 2010). از طرفی انطباق مناسب هیدروگراف شبیه‌سازی با هیدروگراف مشاهداتی، حساسیت مدل به دبی‌های اوج و همچنین پاسخ هیدروگراف شبیه‌سازی (هم از نظر زمان و هم مقدار دبی) به بارش حادث شده در حوضه مشخص می‌شود که مدل دارای قدرت شبیه‌سازی منطقی و مناسبی است. مطابق نتایج حاضر، Rujner et al. (2018)، Zhang et al. (2017) و Usmanov et al. (2016) در شبیه‌سازی با مدل MIKE SHE نتیجه گرفتند که مدل دارای قدرت شبیه‌سازی مناسب و خوبی است.

معیارهای همبستگی و کلینگ–گوپتا نشان دهنده همبستگی بین دو هیدروگراف و کارایی خوب مدل است. با توجه به دو هیدروگراف، علت کم بودن مقدار معیار کارآیی نش–ساتکلیف را می‌توان اینگونه توضیح داد که در ابتدای شبیه‌سازی که دوره آماده شدن[1] مدل گفته می‌شود هیدروگراف شبیه‌سازی دارای کمترین انطباق با هیدروگراف مشاهداتی است و همین نیز باعث کاهش قابل توجه مقدار این معیار می‌باشد. مطابق نتایج تحقیق حاضر، Antonetti et al. (2016) و Gharari

et al. (2014) نیز نتیجه گرفتند که از طریق محدودیت‌های ارتباطی بین پارامترها و فرآیند بر مدل مورد تحقیق، می‌توان نیاز به واسنجی را به طور چشمگیری کاهش داد و در عین حال نتایج بهبود یافته و عدم قطعیت شبیه‌سازی هم کاهش پیدا می‌کند.

رویکرد واسنجی بر اساس معیارهای کارآیی نش–ساتکلیف، کلینگ–گوپتا و همبستگی که به ترتیب ۰/۵۱، ۰/۷۴، ۰/۷۴ (جدول ۱۰) است تناسب بهتری نسبت به رویکرد تخصیص پارامتر برخوردار است. از طرفی انطباق خوب هیدروگراف شبیه‌سازی و مشاهداتی نیز نشان دهنده کارآیی منطقی و مناسب مدل است.

در مرحله اعتبارسنجی رویکرد تخصیص پارامتر با توجه به تغییر کم معیار نش–ساتکلیف، همچنین تغییرات کم معیارهای همبستگی و کلینگ–گوپتا (معیارهای نش–ساتکلیف، کلینگ–گوپتا و همبستگی به ترتیب ۰/۳۸، ۰/۵، ۰/۶۲ است (جدول ۱۰)) و انطباق خوب هیدروگراف شبیه‌سازی با هیدروگراف مشاهداتی، همچنین حساسیت مدل به بارش و شناسایی هیدروگراف‌های اوج نشان از کارآیی رویکرد تخصیص پارامتر دارد.

در مرحله اعتبارسنجی رویکرد واسنجی بر اساس معیارهای نش–ساتکلیف، همبستگی و کلینگ–گوپتا که به ترتیب ۰/۳۱، ۰/۵۵، ۰/۶ است (جدول ۱۰)، نسبت به رویکرد واسنجی و همچنین انطباق هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی نشان‌دهنده کارآیی مناسب مدل برای شبیه‌سازی جریان سطحی و زیرزمینی در حوضه آبخیز زیارت است. بر اساس معیارهای کارایی مدل در رویکرد تخصیص پارامتر و واسنجی قبل از اعتبارسنجی شبیه‌سازی، می‌توان نتیجه گرفت که نتایج رویکرد واسنجی بهتر است که طبیعتاً باید این‌گونه باشد، چرا که مدل را برای دوره‌ای که می‌خواهیم از آن نتیجه بگیریم واسنجی کرده و فقط مهم هیدروگراف خروجی است (هر چند باید بازه‌ای منطقی برای هر پارامتر رعایت شود).

بر اساس معیارهای کارآیی در مرحله اعتبارسنجی هر دو رویکرد تخصیص پارامتر و واسنجی در این دوره مشاهده می‌شود که کاهش مقادیر معیارهای کارآیی مدل برای روش واسنجی بیشتر از دوره تخصیص پارامتر است که نشان دهنده ثبات بیشتر رویکرد تخصیص پارامتر می‌باشد، هرچند معیارهای کارآیی در رویکرد تخصیص پارامتر کمتر از رویکرد واسنجی است (قبل از اعتبارسنجی رویکردها) اما تغییرات معیارهای کارآیی مدل در دوره اعتبارسنجی، در روش تخصیص پارامتر کمتر از روش معمول واسنجی است. Bahremand (2018) و Bahremand et al. (2020)، نیز به در دو مطالعه با مدل هیدرولوژیکی Wetspa در حوضه‌های مختلف به این نتایج دست پیدا کردند. همچنین بررسی چشمی انطباق هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی با یکدیگر در مرحله اعتبارسنجی نشان از انطباق بهتر در روش تخصیص پارامتر است.

راه دیگر اثبات منطقی‌تر بودن نتایج رویکرد تخصیص پارامتر (که می‌توان مقادیر پارامترها را پس از شناخت کامل فرآیندهای حوضه آبخیز و همچنین فرآیندهای مدل‌سازی با منطق و استدلال تعیین کرد) توجه به بیلان آب شبیه‌سازی شده است. بر این اساس می‌توان این‌گونه استنباط کرد که در بیلان آب حاصل از روش تخصیص پارامتر تمامی مؤلفه‌ها منطقی هستند، به طور مثال تبخیر و تعرق در تخصیص پارامتر حدوداً ۵ درصد کمتر از بارش سالیانه است که منطقی می‌باشد (البته تبخیر و تعرق بالای حوضه به علت پوشش جنگلی متراکم می‌باشد). اما در رویکرد واسنجی هرچند هیدروگراف شبیه‌سازی و معیارهای کارایی دارای نتایج و ظاهری مناسب و عمدتاً بهتری نسبت به تخصیص پارامتر هستند (البته در مرحله اعتبارسنجی معیارهای کارآیی مدل برای روش تخصیص پارامتر دارای تغییرات بسیار کمتری نسبت به روش واسنجی هستند و کارآیی و ثبات روش تخصیص پارامتر در مرحله اعتبارسنجی کاملاً مشخص است)، اما مشاهده می‌شود که تنها سعی شده هیدروگراف‌ها باهم منبطق شوند، در حالی که مؤلفه‌های بیلان آب (مثلاً تبخیر و تعرق که حدود ۳ درصد بیشتر از بارش سالانه است) منطقی نیست و حال اگر بخواهیم بیلان آب را تصحیح و منطقی کنیم باید از انطباق هیدروگراف صرف‌نظر کنیم، لذا با توجه به بیلان آب در هر دو روش، حتی قبل از اینکه این دو روش اعتبارسنجی شوند، کارایی بهتر روش تخصیص پارامتر مشخص است، چراکه علاوه بر انطباق و همبستگی خوب هیدروگراف بیلان آب نیز منطقی است. در مرحله اعتبارسنجی هر دو رویکرد تخصیص پارامتر و واسنجی نیز با اینکه در هر دو رویکرد مؤلفه تبخیرتعرق بیشتر از مقدار بارش در حوضه است اما باید توجه داشت که در روش تخصیص پارامتر این اختلاف کمتر از روش واسنجی است و بیلان رویکرد تخصیص پارامتر مناسب‌تر از رویکرد واسنجی است.

با توجه به نتایج بیلان آب حاصل از شبیه‌سازی، تغییرات جریان آب زیرزمینی غیر منطقی است و جریان آب زیرزمینی در حال تغذیه شدن است، در حالی که با توجه به خشکسالی‌های اخیر نباید این‌گونه باشد. برای توضیح این مطلب باید توجه شود که حوضه آبخیز زیارت یکی از منابع تأمین آب شهر گرگان است. لذا ابتدا مقادیر تغییرات آب‌های زیرزمینی بر اساس مساحت حوضه به حجم و با تقسیم بر زمان به دبی

روزانه تبدیل شد. سپس با داده‌های برداشت آب در زمستان و تابستان برای شهر گرگان تطبیق داده و نتیجه‌گیری شد که علت تغییرات مثبت و تغذیه آب زیرزمینی این است که بخشی از آب تولیدی حوضه آبخیز در سر شاخه‌ها برداشت می‌شود و در شبیه‌سازی اعمال نمی‌گردد. همچنین قسمتی از آب سرشاخه‌های حوضه آبخیز زیارت توسط آبخیزنشینان و افراد محلی برای باغ‌های کشاورزی برداشت می‌شود که اطلاعاتی از آن در دست نیست. با توجه به کوهستانی بودن و ارتفاع بالا حوضه آبخیز زیارت سفره آب زیرزمینی در اعماق بوده و هیچگونه بهره‌برداری به صورت چاه در داخل حوضه و بالادست وجود ندارد.

بر اساس نتایج تحقیق حاضر رویکرد تخصیص پارامتر علاوه بر اینکه به شناخت فرد مدل‌ساز از فرایند کمک می‌کند، می‌تواند از زمان بسیار زیادی که برای سعی و خطا و یا واسنجی خودکار مدل بکاهد. هرچند جهت صرفه‌جویی در زمان می‌توان از رویکرد واسنجی خودکار استفاده کرد اما زمانی که مدل به صورت خودکار واسنجی می‌شود، هدف الگوریتم واسنجی خودکار فقط این است که دو هیدروگراف شبیه‌سازی و مشاهداتی با هم منطبق شوند و دارای درک تعیین منطقی پارامترهای مدل نیست، لذا پارامترها بسیار غیرمنطقی و دور از واقعیت تعیین می‌شود و نیز کمکی به فرد مدل‌ساز در جهت شناخت فرآیند نمی‌کند. از طرفی این رویکرد به دانش ما در مورد طبیعت کمک کند که بتوانیم بدون هر کدام از پارامترهای مدل را بر اساس منطق، مستدل و مستند تعیین کنیم.

۵-تشکر و قدردانی

تحقیق حاضر مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول به راهنمایی و مشاوره نویسنده دوم و سوم می‌باشد. از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تقدیر و تشکر می‌گردد. انجام این تحقیق با مجوز شرکت توسعه‌دهنده مدل (Danish Hydraulic Institute) بوده و با عقد قرارداد (Student Agreement #۲۲۱۱۶۰) و در قالب یک لیسانس دانشجویی به شماره ۲۲۱۱۶۰ انجام گرفت. از DHI بخاطر این مجوز قدردانی فراوان می‌گردد.

پی‌نوشت‌ها

1- Warmup Period

۶- مراجع

Antonetti M, Buss R, Scherrer S, Margreth M, Zappa M (2016) Mapping dominant runoff processes: an evaluation of different approaches using similarity measures and synthetic runoff simulations. Hydrology and Earth System Sciences 20:2929-2945

Antonetti M, Scherrer S, Kienzler PM, Margreth M, Zappa M (2017) Process-based hydrological modelling: The potential of a bottom-up approach for runoff predictions in ungauged catchments. Hydrological Processes 31(16):2902-2920

Antonetti M, Zappa M (2017) How can expert knowledge increase the realism of conceptual hydrological models? A case study in the Swiss Pre-Alps. Hydrology and Earth System Sciences Discuss 22(8):4425-4447

Bahremand A, Ahmadyousefi S, Sheikh V, Komaki C (2020) A parameter allocation approach for flow simulation utilizing the WetSpa-Python model. Hydrological Processes 35(1)

Bahremand A (2016) Advocating process modeling and de-emphasizing parameter estimation. Hydrology and Earth System Sciences 20(4):1433-1445

Bahremand A (2018) WetSpa model application with and without calibration. In Egu, Pico Hs1:12

Bakhshandeh A, Soltani A, Zinali A, Kalateh Arabi M, Ghadirian R (2011) Evaluation of allometric relationships of leaf area and vegetative traits in wheat and durum wheat cultivars. Journal of Crop Sciences 13(4):657-642 (In Persian)

Bárdossy A (2007) Calibration of hydrological model parameters for ungauged catchments. Hydrology and Earth System Sciences 11(2):703-710

Bergstrom S (2006) Applications of the HBV hydrological model in prediction in ungauged basins. in: Large Sample Basin Experiments for Hydrological Model Parameterization: Results of the Model Parameter Experiment-MOPEX, IAHS Publication 307:97– 107

Blöschl G, Reszler C, Komma J (2008) A spatially distributed flash flood forecasting model. Environmental Modelling and Software 23:464–478

Christian RJ, Storm B, Clausen, T (2010) Système Hydrologique Europeén (SHE): Review and perspectives after 30 years development in distributed physically-based hydrological modelling. Hydrology Research 41(5):355-377

Cowan, WL (1956) Estimating hydraulic roughness coefficients. Agricultural Engineering 37(7):473-475

Daneshkarasteh P, Sotoudehnia S, Sotoudehnia A, Kaviani A (2016) Estimation of dry matter using leaf area index. Journal of Water Management and Irrigation 1:13-1 (In Persian)

prediction in mesoscale Alpine catchments. Hydrology Sciences Journal 55(6):1002-1016

Hrachowitz M, Fovet O, Ruiz L, Euser T, Gharari S, Nijzink R, Freer J, Savenije H H G, Gascuel-Odoux C (2014) Process consistency in models: The importance of system signatures, expert knowledge, and process complexity. Water Resource Research 50(9):7445–7469

Hu C, Guo S, Xiong L, Peng D (2005) A modified Xinanjiang model and its application in Northern China. Hydrology Research 36(2):175–192

Iran Ministry of Energy (2016) Guideline for determination of the hydraulic roughness coefficient of rivers. Bulletin No 688:106p (In Persian)

Kalin L, Isik S, Schoonover JE, Lockaby B G (2010) Predicting water quality in unmonitored watersheds using artificial neural networks. Journal of Environmental Quality 39(4):1429–1440

Lebedeva L, Semenova O, Vinogradova T (2014) Simulation of active layer dynamics, upper Kolyma, Russia, using the Hydrograph hydrological model. Permafrost Periglac 25(4):270– 280

Li D, Liang Zh, Li B, Lei X, Zhou Y (2018) Moving beyond run-off calibration-multivariable optimization of a surface -subsurface-atmosphere model. Hydrological Processes 32(17):2654-2668

Li B, Yu Z, Liang Z, Acharya K (2014) Hydrologic response of a high altitude glacierized basin in the central Tibetan Plateau. Global Planet Change 118:69–84

Liyang Z, Tang T, Li B, Liu T, Wang J, Hu Y (2017) Long-term streamflow forecasting using SWAT through the integration of the random forest precipitation generator: case study of Danjiangkou Reservoir. Hydrology Research 49(5):1513–1527

Majnooni HA, Nazemi A, SadroDini A, Neyshabouri M, Shakiba M (2015) Determination of evapotranspiration, plant coefficient and growth stages of rapeseed using lysimetric data. Journal of Soil and Water Knowledge 25(5):153-163

Moriasi D N, Arnold J G, Van Liew M W, Bingner R L, Harmel R D, Veith T L (2007) Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Trans ASABE 50(3):885–900

Najarchi M (2005) Estimation of barley crop coefficient in Arak city. In: The Second National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources Management, Kerman, Iran (In Persian)

DHI: MIKE SHE Technical Reference, Version 2014 (2014) DHI water and environment. Danish Hydraulic Institute, Denmark

DHI, MIKE SHE User's Manual, Volume 1 and 2 (2014) An integrated hydrological modelling framework. 697p

Engman T (1986) Roughness coefficients for routing surface runoff. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 112(1):39-53

Etesami M, Galeshi S, Soltani A, Nourinia A (2009) Study of yield and leaf area index of 10 barley genotypes and comparison with logistic and exponential growth curves. Journal of Plant Ecophysiology 1(2):80-68 (In Persian)

FAO-56 (2005) Dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions.

Feiznia S (2008) Applied sedimentology with emphasis on soil erosion and sediment production. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publications, 356p (In Persian)

Gharari S, Hrachowitz M, Fenicia F, Gao H, and Savenije H H G (2014) Using expert knowledge to increase realism in environmental system models can dramatically reduce the need for calibration. Hydrology and Earth System Sciences 18(12):4839-4859

Ghonchepoor D, Bahremand A (2018) Runoff simulation in an arid catchment by KINEROS2 hydrological model through parameter allocation approach. Innovative Research Methods in Hydrology. Vinograndov Conference, Russia 3:277-282

Gupta HV, Kling H, Yilmaz K K, Martinez G F (2009) Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. Journal of Hydrology 377(1):80–91

Gupta HV, Nearing GS (2014) Debates-The future of hydrological sciences: A (common) path forward? Using models and data to learn: A Systems theoretic perspective on the future of hydrological science. Water Resource Research 50(6):5351–5359

He ZH, Tian FQ, Gupta HV, Hu HC, Hu HP (2015) Diagnostic calibration of a hydrological model in a mountain area by hydrograph partitioning. Hydrology and Earth System Sciences 19(4):1807-1826

Hingray B, Schaefli B, Mezghani A, Hamdi Y (2010) Signaturebased model calibration for hydrological

Tajmalian M, Irannejadpayezi M, Malekinejad H, Rad M, Sodaeizadeh H (2013) Determining water requirement, plant coefficient and water use efficiency in Qalam rangeland plant (BOIS.FORTUYNIA BUNGEI). Iranian Range and Desert Research 4:96-105 (In Persian)

Tesemma K, Yongping W, Andrew W, Murray P (2014) Leaf area index variation for crop, pasture, and tree in response to climatic variation in the Goulburn–Broken catchment, Australia. Journal of Hydrometeorology 15(4):1592-1606

Thompson JR (2012) Modelling the impacts of climate change on upland catchments in southwest Scotland using MIKE SHE and the UKCP09 probabilistic projections. Hydrology Research 43(4):507–530

Usmanov S, Mitani Y, Kusuda T (2016) An integrated hydrological model for water balance estimation in the Chirchik river basin, Northern Uzbekistan. Computational Water, Energy, and Environmental Engineering 5(3):87-97

Vázquez RF, Feyen L, Feyen J, Refsgaard JC (2002) Effect of grid size on effective parameters and model performance of the MIKE-SHE code. Hydrology Process 16(2):355–372

Vidal JP, Moisan S, Faure JB, Dartus D (2007) River model calibration, from guidelines to operational support tools. Environment Modelling and Software 22(11):1628–1640

Yan J, Smith K (1994) Simulation of integrated surface water and ground water systems-Model formulation. Journal of the American Water Resources Association 30(5):1–12

Zarei A, Amiri M, Zahrabi S, Bumeh F (2013) Determination of Crop Coefficient (KC) in Species (MEDICAGO POLYMORPHA) using weight microLysimeter. Iranian Range Magazine 10(2):52-65 (In Persian)

Zhang J, Zheng Z, Guo B (2017) Sensitivity and uncertainty-based evaluation and simulation of MIKE SHE Model in Guishui River Basin, Beijing, China. International Journal of Water 11(2):103-114

Nash JE, Sutcliffe JV (1970) River flow forecasting through conceptual model. Journal of Hydrology 10:282–290

Oogathoo Sh (2006) Runoff simulation in the Canagagigue Creek watershed using the MIKE SHE Model. M.Sc. Thesis, Dept Bioresource Engineering, McGill University, Montreal, Canada

Osareh A, Tavakolizadeh A (2006) Hydrological simulation system. Islamic Azad University of Ahvaz Publications, First Edition, 260pp (In Persian)

Ozhan M, Bahremand A, Sheykh V, Komaki CH (2018) Prediction of Floods extent with different return periods using 2-D hydraulic model, LISFLOOD-FP. Iran-Water Resources Research 13(4):190-195 (In Persian)

Panahi P, Pourhashem M, Hassani Nejad M (2013) Comparison of leaf area of three species of Zagros native oak in the National Botanical Garden of Iran. Journal of Forest Ecology 1(2):58-47 (In Persian)

Refahi H (2003) Water erosion and its control. University of Tehran Press, 671p (In Persian)

Refsgaard J (1997) Parameterization, calibration and validation of distributed hydrologic models. Journal of Hydrology 198(1-4):69–97

Rostamian R (2006) Estimation of runoff and sediment in Behesht Abad basin in North Karun using SWAT2000 model M.Sc. Thesis, Faculty of Irrigation and Drainage, Isfahan University of Technology, 192p (In Persian)

Schaefli B, Huss M (2011) Integrating point glacier mass balance observations into hydrologic model identification. Hydrology and Earth System Sciences 15(4):1227–1241

Sharifi F, Bozorg Haddad A, Ali Mohammadi S (2005) Flow prediction using artificial neural networks. Fifth Iranian Hydraulic Conference, Shahid Bahonar Collage of Engineering, Kerman (In Persian)

Shabanloo S, Hamrang MR (2011) Comparison of flood hydrographs estimated by integrated and distributed models (Case study of Karun watershed). Second National Conference on Applied Research in Water Resources of Iran, Zanjan Regional Water Company, Zanjan, Iran (In Persian)