Integrated Watershed Management, Autumn, 2023, 3(3), 84-94 **Article Type: Research**

doi: 10.22034/IWM.2023.2009002.1098 **Online ISSN: 2783-4581**

Evaluating the effectiveness of MISDc and GR4J rainfall-runoff models in simulating the daily discharge of ChamAnjir Khorramabad watershed

Atefe Amiri[1], Siamak Baharvand[2]*, Mozhgan Rad[3]

1- Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2- Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran
3- Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Iran
***Corresponding author**: sbaharvand53@gmail.com

(Received: 10 August 2023 Revised: 28 August 2023 Accepted: 08 October 2023)

Extended Abstract

Introduction: Representation of natural phenomena through hydrological models is very important for planning and management of water resources, because these models provide the possibility of investigating natural processes and evaluating modeling in different designs and are of great importance in management decisions. Hydrological models are a simplified representation of the real hydrological system, which help to study the functioning of the basin in response to various inputs and to understand the hydrological processes better. Considering the diversity of hydrological models, it is difficult to choose each model for each task, and there is a need for a comparative evaluation of models to determine the capability each model in the study area. Choosing a model from complex models that require many inputs and are difficult to work with or simple models that are easy to work with is considered important for water resource planners. Also, knowing the accuracy of the models in the simulation process is important and requires investigation. In this study, two hydrological models, MISDc and GR4J, were used to simulate the flow of Cham Anjir watershed. The results of the models show that both models have an acceptable ability to simulate the flow of the studied area, but the MISDc model has a higher ability to simulate the flow, and this model can simulate the peak discharges better than the GR4j model. The advantage of these models is that they are free and the data of these models are few and available.

Materials and methods: In this research, the efficiency of MISDc and GR4j models was evaluated. The basic data used includes observational data of temperature, precipitation, discharge, and evaporation and transpiration in the period 2008-2020 from 3 selected stations in the region and its surroundings. The required data of MISDc model are: daily data of precipitation, temperature and discharge, and the required data of GR4J include daily data of precipitation, evaporation and transpiration, and discharge. The data were given to the models after preparation in MATLAB software, and each model was executed separately. The model performance evaluation process is of fundamental importance during the model development and calibration process. Various indicators are presented and used to evaluate the models. The performance evaluation of two models was investigated through NS and R^2 methods.

Results and Discussion: In order to check the performance of the two models in the period of 2008-2020, data was prepared. In order to recalibrate the models, a 9-year period was determined and to check the validity of the models, a 4-year period was determined. After entering the data into the MATLAB software for the purpose of simulation, the parameters of the models were changed manually to obtain the most appropriate values and the calibration stage was performed. Next, in the validation phase, the models optimal parameters were fixed, the new statistical period for the model was defined, and the model was implemented. Examining the performance of the two models during the calibration and validation stages shows the good performance of the two models in simulating the daily flow of Cham Anjir basin. The results of Nash coefficients evaluation and determination in the calibration stage for the MISDc model are 0.699 and 0.717, respectively, and for the GR4j model are 0.54 and 0.597 respectively. The results of the validation stage for the MISDc model are 0.794 and 0.851 respectively, and for the GR4j model are 0.70 and 0.715, respectively. These results show that the MISDc model performs better than the GR4j model. The MISDc model has been able to simulate the daily flow of the studied area well, especially in the peak discharges, and the GR4j model, due to its good simulation, has not been able to estimate the peak discharges as well as the previous model.

Conclusion: In this research, to evaluate the performance of two MISDc and GR4j models in simulating the runoff of Cham Anjir basin, the data of precipitation, temperature, evaporation and transpiration, and discharge were used in the statistical period of 2008-2020. Then, the stage of data calibration, validation, and evaluation of the model's performance was carried out and examined. The results of the investigations show the good performance of the two models and the relative superiority of the MISDc model to the GR4j model. The results obtained in this research are close to the results of research conducted in different places, so according to the results obtained from the models, it can be said that the models can be used in the studies of water resources in the region, and it is also suggested that the models be used for estimation of runoff in similar areas.

Keywords: flow modeling, Hydrological model, water resources management, Lorestan province.

Citation: Amiri, A., Baharvand, S., & Rad, M. (2023). Evaluating the effectiveness of MISDc and GR4J rainfall-runoff models in simulating the daily discharge of ChamAnjir Khorramabad watershed. *Integrated Watershed Management*, 3(3), 84-95. doi: 10.22034/iwm.2023.2009002.1098

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، سال سوم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، صفحات (۹۴-۸۴) نوع مقاله: پژوهشی

شاپا الکترونیکی: ۴۵۸۱-۲۷۸۳ doi: 10.22034/IWM.2023.2009002.1098

ارزیابی کارایی مدل‌های بارش-رواناب MISDc و GR4J در شبیه‌سازی دبی روزانه حوزه آبخیز چم انجیر خرم‌آباد

عاطفه امیری[۱]، سیامک بهاروند*[۲]، مژگان راد[۳]

۱- گروه آموزشی مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران

۳- دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران

***نویسنده مسئول:** sbaharvand53@gmail.com

(**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۲/۰۵/۱۹ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۶/۰۶ **تاریخ پذیرش** ۱۴۰۲/۰۷/۱۶)

چکیده

نمایش پدیده‌های طبیعی از طریق مدل‌های هیدرولوژی جهت برنامه‌ریزی و مدیریت در منابع آب بسیار مهم است، چراکه این مدل‌ها امکان بررسی فرآیندهای طبیعی و ارزیابی مدل‌سازی در طرح‌های مختلف را فراهم نموده و در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی اهمیت فراوان دارند. مدل‌های هیدرولوژی نمایش ساده‌شده‌ای از سیستم واقعی هیدرولوژی هستند که به مطالعه درباره‌ی کارکرد حوضه در واکنش به ورودی‌های گوناگون و فهم بهتر از فرآیندهای هیدرولوژی کمک می‌کنند. با توجه به تنوع مدل‌های هیدرولوژی انتخاب هر مدل برای هر کار دشوار است و نیاز به ارزیابی مقایسه‌ای بین مدل‌ها برای مشخص کردن قابلیت و توانایی هر مدل در منطقه مطالعاتی است. در این تحقیق از دو مدل هیدرولوژیکی MISDc و GR4J برای شبیه‌سازی جریان حوزه آبخیز چم انجیر استفاده شده است. دوره مشترک شبیه‌سازی این دو مدل از یک بازه ۱۳ ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۸) انتخاب شده است. در ادامه، دقت نتایج حاصله از مدل‌ها در مراحل واسنجی (۲۰۱۶-۲۰۰۸) و اعتبارسنجی (۲۰۱۷-۲۰۲۰) با استفاده از معیارهای نش- ساتکلیف و ضریب تعیین مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر به‌دست‌آمده نش- ساتکلیف و ضریب تعیین برای مدل MISDc به ترتیب ۰/۶۹۹ و ۰/۷۱۷ و برای مدل GR4J به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۵۹۷ برای دوره واسنجی و برای مدل MISDc به ترتیب ۰/۷۹۴ و ۰/۸۵۱ و برای مدل GR4J به ترتیب ۰/۷۰ و ۰/۷۱۵ و برای دوره اعتبارسنجی که بیانگر عملکرد بهتر مدل MISDc در مقایسه با عملکرد مدل GR4j در شبیه‌سازی جریان روزانه در حوزه آبخیز چم انجیر خرم‌آباد است. ارزیابی نشان می‌دهد که مدل MISDc توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی جریان روزانه حوزه چم انجیر دارد که می‌توان از مدل در مطالعات منابع آب منطقه استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی جریان، مدل هیدرولوژیکی، مدیریت منابع آب، استان لرستان

استناد: امیری، ع.، بهاروند، س؛ و راد، م. (۱۴۰۲). ارزیابی کارایی مدل‌های بارش-رواناب MISDc و GR4J در شبیه‌سازی دبی روزانه حوزه آبخیز چم انجیر خرم‌آباد. *مدیریت جامع حوزه های آبخیز* (۳)۳، ۹۴-۸۴.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وب‌سایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

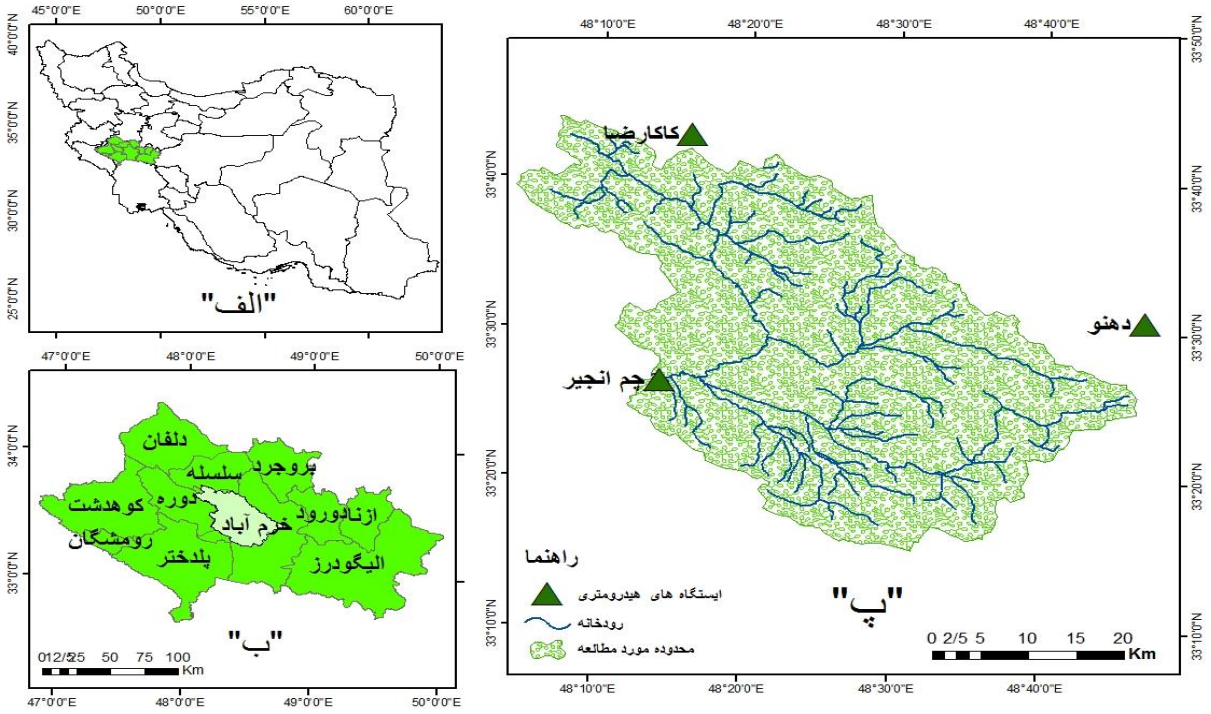
بارش مهم‌ترین و مؤثرترین منبع آب یک حوزه‌ی آبخیز است. در دسترس بودن اطلاعات پیوسته‌ی بارش که می‌تواند برای پیش‌بینی مقدار رواناب مورد استفاده قرار گیرد شروع خوبی برای شبیه‌سازی پدیده‌ی بارش-رواناب به شمار می‌رود (Lorrai & Sechi, 1995). مدل‌های بارش-رواناب برای توضیح فرآیندهای غیرخطی، پیش‌بینی حوادث و ارزیابی تأثیرات پتانسیل در اقلیم آینده و کاربری اراضی استفاده شده‌اند (Aghakoucha *et al*., 2013). ارزیابی و تخمین اثرات هیدرولوژی در تغییر پوشش و مدیریت زمین ازجمله کاربردهای مدل‌های هیدرولوژیکی است (Schreider *et al.*, 2000). مدل‌های بارش-رواناب قابلیت درون‌یابی و برون‌یابی جریان را متناسب با داده‌های ورودی به مدل دارند. مدل‌های هیدرولوژیکی حوزه اعم از مدل‌های تجربی در برابر مدل‌های فیزیکی، مدل‌های رویدادگرا در برابر پیوسته و مدل‌های یکپارچه در مقابل مدل‌های توزیعی طبقه‌بندی می‌شوند (Mengistu, 2009). انتخاب یک مدل مناسب وابسته به فاکتورهایی از قبیل شبیه‌سازی متغیرهای طراحی (رواناب سطحی، آب‌های زیرزمینی، باررسوب و غیره)، دقت داده‌های در دسترس و مقیاس مکانی و زمانی است (Aghakoucha *et al*., 2013). درزمینه مدل‌سازی هیدرولوژیکی پژوهشگران داخل و خارج از کشور تحقیقاتی انجام داده‌اند. Lupakov و همکاران (۲۰۲۳) به‌منظور شبیه‌سازی رواناب در حوزه رودخانه Ussuri از مدل GR4J استفاده کردند. در این پژوهش رواناب ۱۷ حوزه آبخیز تودرتو موردبررسی قرار گرفت که نتایج تمامی شبیه‌سازی‌ها با توجه به معیارهای ارزیابی معمول در هیدرولوژی توسط مدل در بازه رضایت‌بخش تا بهتر قرار گرفته است. Cantoni و همکاران (۲۰۲۲) به‌منظور بررسی عملکرد هیدرولوژیکی تحلیل مجدد ERA5 برای مدل‌سازی سیل در تونس از مدل‌های LISFLOOD و GR4J استفاده کردند. Ding و همکاران (۲۰۲۲) به‌منظور بررسی جریان رودخانه Huai چین از مدل MISDc استفاده کردند. در این تحقیق به‌منظور بررسی عملکرد مدل از داده‌های رطوبت خاک برای مدل استفاده شد که نتایج تحقیقات بیانگر بهبود عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان رودخانه است. Alessio و همکاران (۲۰۱۹) به‌منظور بررسی سیلاب و منابع آب منطقه Po در غرب ایتالیا از مدل MISDc استفاده کردند و پارامترهای بهینه مدل با استفاده از استراتژی‌های مختلف منطقه‌بندی شدند. عملکرد مدل از طریق چندین شاخص تجزیه‌وتحلیل رژیم هیدرولوژیکی، شرایط جریان بالا و منحنی طول مدت جریان (FDC) بررسی شد. نتایج این تحقیق بیانگر عملکرد مناسب مدل برای پیش‌بینی سیلاب منطقه بوده است. نتایج بررسی بیانگر مناسب بودن داده‌های ERA5 برای مناطق کم داده و عملکرد مناسب مدل‌ها در شبیه‌سازی سیل بوده است. Camici و همکاران (۲۰۱۸) به‌منظور بررسی عملکرد داده‌های SRPs در شبیه‌سازی سیل به‌جای داده‌های اندازه‌گیری در ۱۵ حوزه در مدیترانه از مدل MISDc استفاده کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده عملکرد نسبتاً ضعیف داده‌های SRPs در شبیه‌سازی سیل در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری است. Mostafazadeh و Asgari (۲۰۲۱) پژوهشی درزمینهٔ ارزیابی کارایی مدل بارش-رواناب GR4J در آبخیز نیرچای اردبیل انجام دادند. نتایج شبیه‌سازی نشان داده است که علیرغم بیش تخمینی مقادیر شبیه‌سازی‌شده مدل در مرحله اعتبارسنجی، شبیه‌سازی مدل در روند تغییرات جریان و نیز دوره‌های جریان کمینه مناسب بوده است. Amiri و Salimi (۲۰۲۱) به‌منظور بررسی برآورد دبی روزانه حوزه کاکارضا از مدل‌های HBV و MISDc استفاده کردند. نتایج بررسی‌ها نشان از توانایی خوب مدلMISDc در شبیه‌سازی جریان روزانه حوزه کاکارضا داشته است. Amiri و همکاران (۲۰۱۹) به‌منظور شبیه‌سازی رواناب حوزه کشکان افرینه از مدل MISDc استفاده کردند. نتایج حاصل از معیارهای ارزیابی بیانگر توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی جریان

و به‌ویژه در مقادیر دبی پیک حوزه است. Daregharibi Zandi و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی کارایی دو مدل بارش–رواناب IHACRES و GR2M در شبیه‌سازی جریان ماهانه حوزه دره تخت را مورد ارزیابی قرار دادند. شبیه‌سازی‌ها حاکی از عملکرد رضایت‌بخش دو مدل در شبیه‌سازی جریان است. انتخاب یک مدل از بین مدل‌های پیچیده که نیاز به ورودی‌های زیادی دارند و کار کردن با آن‌ها سخت است و یا مدل‌های ساده که کار کردن با آن‌ها آسان است برای برنامه‌ریزان منابع آب امری مهم تلقی می‌شود. همچنین آگاهی از میزان دقت مدل‌ها در فرآیند شبیه‌سازی امر مهمی است که باید موردبررسی قرار گیرد در راستای این هدف در این تحقیق دو مدل MISDc و GR4J برای اولین بار به‌صورت مقایسه‌ای برای شبیه‌سازی رواناب حوزه چم-انجیر مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار می‌گیرند و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند. با توجه به نوع مدل‌ها و نتایج به‌دست‌آمده از اجرای آن‌ها در نقاط مختلف انتظار می‌رود هر دو مدل شبیه‌سازی را در حد قابل قبولی انجام دهند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه چم‌انجیر با مساحت ۱۲۲۱ کیلومترمربع در استان لرستان، با موقعیت جغرافیایی طول ۴۸ درجه و ۲ دقیقه و ۵۲ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه و ۱۳ ثانیه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۱۳ دقیقه و ۲۹ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۴۳ دقیقه و ۱۰ ثانیه شمالی یکی از زیرحوزه‌های مهم کشکان در استان لرستان است. میانگین بارش سالانه در این حوضه ۴۲۴ میلی‌متر و میانگین تبخیر سالانه ۲۰۹ میلی‌متر است. این حوزه در بخش میانی سلسله جبال زاگرس قرار گرفته است. این زیرحوزه که در بخش جنوبی زیر حوزه هرو و در ناحیه زاگرس رورانده واقع شده از نظر زمین‌شناسی دارای ساختار پیچیده‌ای است (Amiri *et al.*, 2023).



شکل ۱- نقشه موقعیت حوضه چم انجیر در استان لرستان و کشور

Figure 1- Location map of Cham Anjir basin in Lorestan province and Iran

معرفی مدل‌ها

مدل MISD[1]

MISDc یک مدل بارش و رواناب نیمه‌توزیعی است که اولین بار به‌منظور پیش‌بینی وقایع سیلاب در حوزه رودخانه Tever در مرکز ایتالیا توسعه پیدا کرد (Brocca *et al.*, 2011). ورودی‌های این مدل را داده‌های روزانه بارندگی و دمای هوا در سطح حوزه تشکیل می‌دهند و تغییرات تدریجی آب موجود در خاک را به دو حالت مستقل W1 و W2 شبیه‌سازی می‌کند. آب از لایه اول توسط تبخیر و تعرق خارج می‌شود که از طریق تابع خطی بین تبخیر پتانسیل (برآورد شده از رابطه بلانی و کریدلی اصلاح‌شده به‌وسیله Doorenbos و Pruitt، 1997) و اشباع خاک محاسبه می‌شود. نفوذ از سطح خاک به ناحیه ریشه از رابطه غیرخطی پیشنهادشده توسط Famiglietti و Wood (1994) محاسبه می‌شود (Amiri *et al.*, 2019).

سه مؤلفه مختلف باعث تولید رواناب می‌شوند که عبارت‌اند از: رواناب سطحی، مازاد اشباع از لایه سطحی و لایه دوم و مؤلفه رواناب زیرسطحی. دو مورد اول به‌وسیله‌ی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی (GIUH) جمع شده و تا خروجی روندیابی می‌شوند، درحالی‌که رواناب زیرزمینی به‌وسیله یک روش مخزن خطی به بخش خروجی منتقل می‌شود. برای هر دو حالت، زمان تأخیر توسط رابطه پیشنهادشده توسط Melone و همکاران (2001) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Amiri *et al.*, 2019).

MISDc شامل دو جزء اصلی است: (۱) یک ماژول برای شبیه‌سازی الگوی زمانی رطوبت خاک (مدل SWB) و (۲) یک مدل بارش_رواناب (RR) رویدادی نیمه‌توزیعی (MISD) برای شبیه‌سازی سیل. با ترکیب این دو مدل از طریق یک رابطه تجربی، ساختار مدل بارش _رواناب پیوسته شکل می‌گیرد. تحلیل تأثیر وضعیت رطوبت پیشین (AWC) بر پاسخ هیدرولوژیک حوزه در منطقه موردمطالعه، علت اصلی انتخاب، این نوع ساختار مدل بوده است (Melone *et al.*, 2001; Amiri *et al.*, 2019; Brocca, 2007, 2009).

تخمین مقادیر پارامترها

برای این مدل بارش-رواناب، نه پارامتر باید برآورد شود. دامنه پارامترهای واسنجی مدل MISDc در جدول (۱) آورده شده‌اند (Amiri *et al.*, 2019).

جدول ۱- پارامترهای مدل MISDc

Table 1- parameters of MISDc model

پارامتر Parameter	توضیح Discription	محدوده Range
W_{max}	حداکثر ظرفیت آب در لایه خاک	50-700
K_s	هدایت هیدرولیکی اشباع	0.3-20
ψ/L	*رطوبت* بخش بالایی خاک تقسیم بر ضخامت لایه خاک	0.22(ثابت) -
λ	شاخص توزیع اندازه ذرات خاک	0.05-0.5
b	فاکتور تصحیح برای تبخیر و تعرق	۰.7-2
η	پارامتر مناطق تأخیر	۰.5-2
c	سرعت	1-5
D	توزیع‌پذیری	4(ثابت)
α	پارامتر خطی از روابط مدل MISD و SWB	1-5

مدل GR4J[2]

مدل GR4J یک مدل بارش-رواناب یکپارچه است. این مدل آخرین نسخه اصلاح‌شده از مدل GR3J است که به‌وسیله Edijatno و Michel ارائه شده است و به‌منظور شبیه‌سازی جریان، برنامه‌های کاربردی مانند برآورد سیل، پیش‌بینی سیل و خشک‌سالی کاربرد دارد (Perrin *et al.*, 2001). داده‌های ورودی مدل شامل بارش و تبخیر و تعرق است. مدل با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای دبی، واسنجی می‌شود. مدل دارای چهار پارامتر مستقل است که دامنه پارامترهای مدل در جدول (۲) آورده شده‌اند (راهنمای مدل).

1. Modello Idrologico Semi-Distribuito in continuo

1. Genie Rural whit 4 Parameters Journalier

جدول ۲-پارامترهای مدل GR4J
Table 2- parameters of GR4J model

پارامتر Parameter	توضیح Discription	محدوده Range
X_1	ظرفیت پذیرش آب در لایه‌های سطحی خاک	10-900
X_2	ضریب تبادل آبی حوضه با بیرون از خود	-20-10
X_3	ظرفیت ذخیره روز قبل، مسیر ذخیره	1-200
X_4	زمان تا اوج هیدروگراف واحد	0.8-3.5

داده‌ها

در این تحقیق داده‌های پایه مورداستفاده شامل داده های مشاهداتی دما، بارش، دبی و تبخیر و تعرق در دوره ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰ میلادی از ۳ ایستگاه منتخب منطقه و اطراف آن است (جدول شماره ۳). اطلاعات موردنیاز مدل MISDc عبارت‌اند از: داده‌های روزانه بارش، دما و دبی و داده‌های موردنیاز GR4J شامل داده های روزانه بارش، تبخیر و تعرق و دبی است.

جدول ۳- مشخصات ایستگاه‌های موردمطالعه
Table 3- Characteristics of the studied stations

ردیف Row	نام ایستگاه Station name	مختصات Coordinates		ارتفاع (متر) Height
		X	Y	
1	خرم‌آباد	48-22	33-29	1147
2	کاکارضا	48-16	33-43	1550
3	دهنو	48-46	33-31	1800

ارزیابی کارایی مدل

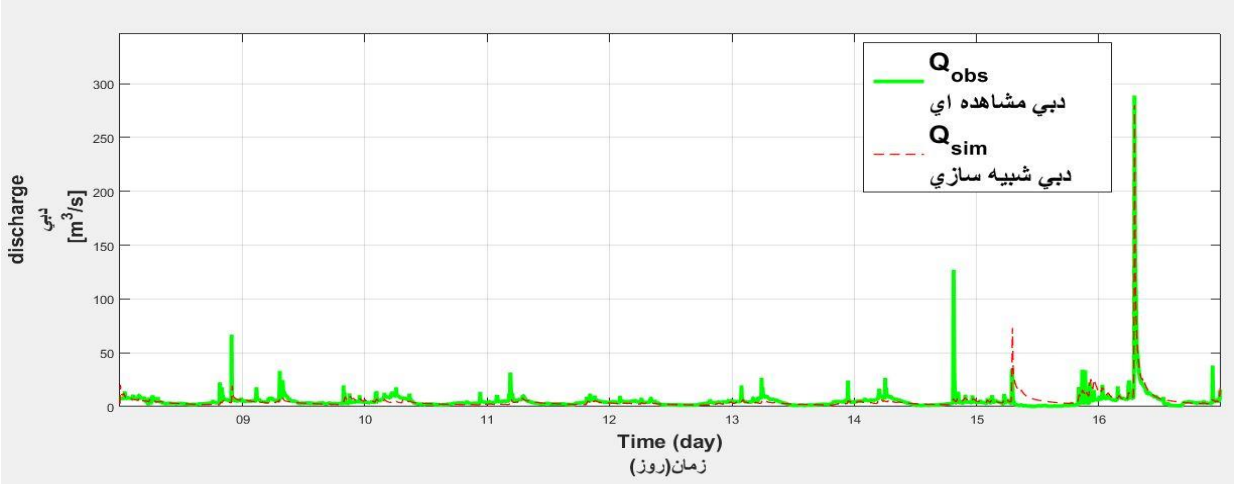
فرایند ارزیابی کارایی مدل نه‌تنها در جریان توسعه مدل و فرایند واسنجی، بلکه در زمان ارائه نتایج به سایر محققین نیز از اهمیت اساسی برخوردار است (Schaefli & Gupta, 2007).

شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی مدل‌ها ارائه‌شده و مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این خصوص استانداردهای روشنی برای ارزیابی پیش‌بینی مدل‌ها با استفاده از روش‌های آماری مشخص نشده است لذا در این پژوهش نتایج شبیه‌سازی دبی‌های حوزه و زیرحوزه‌های آن در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها با ضریب تعیین، (R^2) شاخص‌های ناش-ساتکلیف (NS)، مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

شبیه‌سازی رواناب توسط مدل MISDc

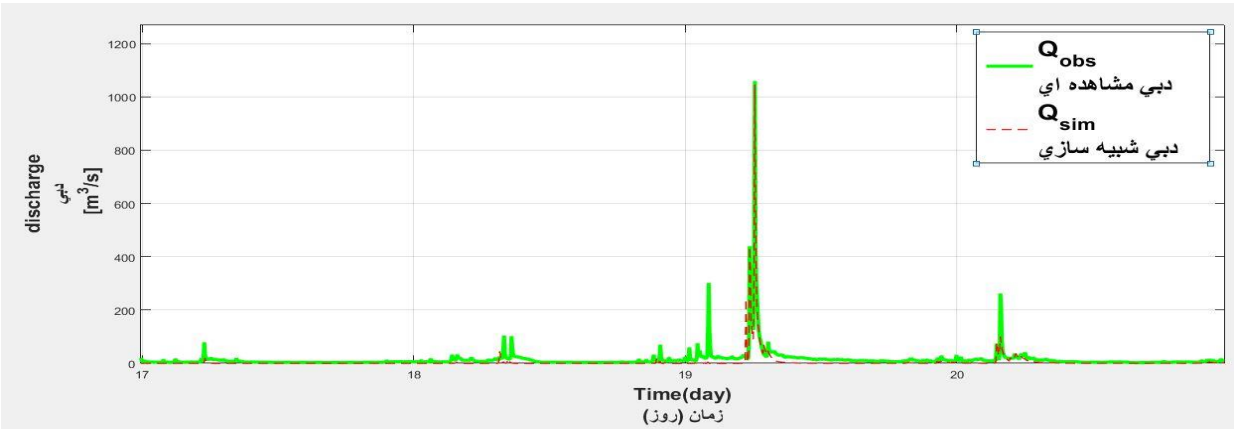
پس از ورود داده‌ها به نرم‌افزار متلب به‌منظور شبیه-سازی، پارامترهای مدل به‌صورت دستی تغییر می‌یابند و مرحله واسنجی انجام می‌شود. در این پژوهش از آمار ۱۳ سال (۲۰۰۸-۲۰۲۰) برای اجرای مدل استفاده شده است. لذا از این ۱۳ سال آمار در نظر گرفته‌شده، دوره واسنجی به مدت ۹ سال (۲۰۰۸ -۲۰۱۶) و دوره اعتبارسنجی به مدت ۴ سال (۲۰۱۷-۲۰۲۰) مورداستفاده قرار گرفته است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مقادیر معیارهای ارزیابی نش_ساتکلیف و ضریب تعیین برای مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۶۹۹ و ۰/۷۱۷ محاسبه شد. همچنین نتایج حاصل از مقایسه هیدروگراف دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در مرحله واسنجی در شکل (۲) نمایش داده شده است؛ بنابراین نتایج معیارهای ارزیابی در دوره واسنجی و همچنین مقایسه هیدروگراف‌ها، بیانگر این نکته است که مدل توانسته روند تغییرات دبی مشاهداتی حوزه را به‌خوبی بخصوص در برخی نقاط اوج شبیه‌سازی کند.



شکل ۲- نمودار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در مرحله واسنجی با مدل MISDc

Figure 2- Observed and simulated flow diagram in calibration with MISDc model

Amiri و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی به‌منظور برآورد رواناب حوزه آبخیز کشکان‌افرینه از مدل MISDc استفاده کردند که نتایج مدل در مرحله واسنجی برای معیار ارزیابی ضریب نش، عدد ۰/۶۸ و برای ضریب تعیین عدد ۰/۷۳ را نشان می‌دهد که با توجه به اعداد حاصل از معیارهای ارزیابی نتایج مطلوب است و نزدیک به نتایج حاصل از این تحقیق است. در مرحله اعتبارسنجی، به‌منظور بررسی عملکرد مدل، اعتبارسنجی در دوره آماری ۴ سال (۲۰۱۷-۲۰۲۰) اجرا گردید. در این مرحله با استفاده از مقادیر پارامترهای مدل در مرحله واسنجی، اعتبارسنجی انجام شده است. نتایج به‌دست‌آمده از معیارهای ارزیابی نش_ساتکلیف و ضریب تعیین برای مرحله اعتبارسنجی ۰/۷۹۴ و ۰/۸۵۱ است که مقایسه نتایج حاصل از اعتبارسنجی بیانگر افزایش دقت مدل در این مرحله و قابلیت بالای مدل برای شبیه‌سازی رواناب حوزه است (شکل ۳). مطابق شکل ۳ در مرحله اعتبارسنجی مدل در شبیه‌سازی دبی‌های اوج به‌خوبی عمل کرده است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت مدل در شبیه‌سازی دبی‌های سیلابی توانایی بالایی دارد. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با نتایج سایر تحقیقات مشابه صورت گرفته در سطح جهان (Brocca *et al.*, 2011; Brocca *et al.*, 2013; Smith *et al.*, 2015; Amiri *et al.*, 2019; Amiri & Salimi, 2021) نشان می‌دهد که دقت شبیه‌سازی مدل قابل‌قبول و نزدیک به نتایج سایر محققین به‌دست‌آمده است.

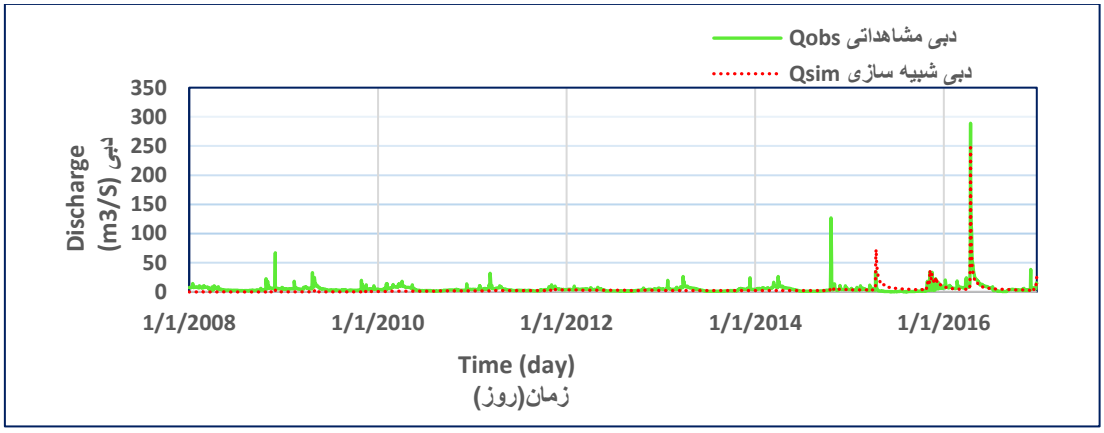


شکل ۳- نمودار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در مرحله اعتبارسنجی با مدل MISDc

Figure 3- Observed and simulated flow diagram in the validation with the MISDc model

شبیه‌سازی رواناب توسط مدل GR4J

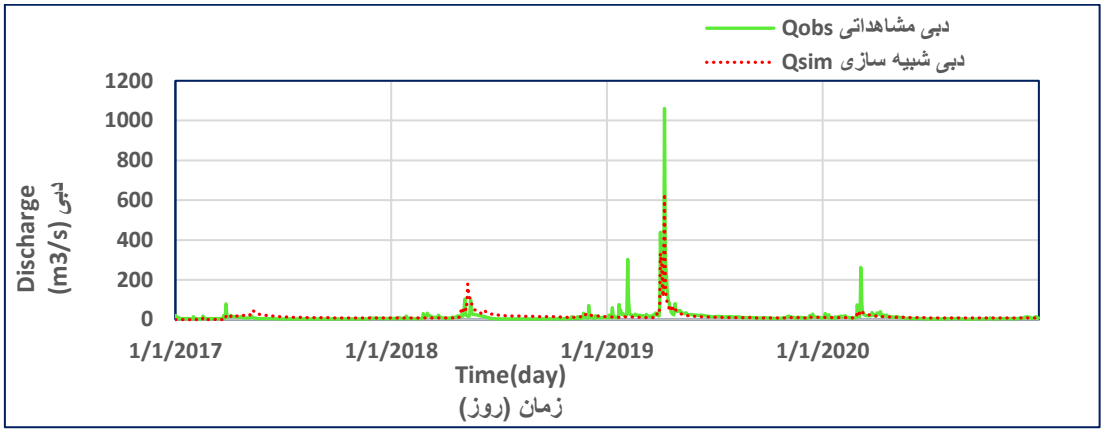
به‌منظور شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل GR4J داده‌های موردنیاز مدل آماده و پس از واردکردن داده‌ها در نرم‌افزار متلب، مدل اجرا گردید. ابتدا یک دوره ۹ ساله برای واسنجی مدل انتخاب گردید. در ادامه پارامترهای مدل به‌صورت دستی تغییر پیدا می‌کنند تا مقادیر مناسب انتخاب گردند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مقادیر معیارهای ارزیابی نش_ساتکلیف و ضریب تعیین برای مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۵۹۷ محاسبه شد. همچنین نتایج حاصل از مقایسه هیدروگراف دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در مرحله واسنجی در شکل (۴) نمایش داده شده است. بنابر نتایج معیارهای ارزیابی در دوره واسنجی و همچنین مقایسه هیدروگراف‌ها، بیانگر این نکته است که مدل توانسته روند تغییرات دبی مشاهداتی حوزه را به‌صورت قابل‌قبول شبیه‌سازی کند اما در شبیه‌سازی دبی‌ها خصوصاً دبی‌های پیک ضعیف عمل کرده است شاید دلیل این امر ساختار یکپارچه مدل و همچنین با توجه به کوهستانی بودن منطقه شبیه‌سازی ضعیف مقادیر حاصل از ذوب برف باشد.



شکل ۴- نمودار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در مرحله واسنجی با مدل GR4j

Figure 4- Observed and simulated flow diagram in calibration with GR4j model

سپس برای نشان دادن اینکه آیا مدل برای این منطقه قابلیت پیش‌بینی رواناب را برای دوره خارج از دوره واسنجی دارد یا خیر، دوره ۴ ساله برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. در ادامه با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده از پارامترهای مدل در مرحله واسنجی، اعتبارسنجی مدل انجام شده است. نتایج به‌دست‌آمده از معیارهای ارزیابی نش_ساتکلیف و ضریب تعیین برای مرحله اعتبارسنجی ۰/۷۰ و ۰/۷۱۵ است که مقایسه گرافیکی نتایج حاصل از اعتبارسنجی بیانگر این است که در این مرحله امکان شبیه‌سازی دقیق جریان بالا با مجموعه پارامترهای مرحله واسنجی را به‌صورت خوبی می‌دهد ولی مدل در برخی موارد دبی را کمتر از مقدار مشاهداتی شبیه‌سازی کرده است که شاید این به علت ساختار نسبتاً ساده و مفهومی مدل است (شکل ۵). مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با نتایج سایر تحقیقات مشابه صورت گرفته در سطح جهان (Harlan *et al.*, 2010; Hughes *et al.*, 2013; Zandi Daregharibi, 2017; Mostafazadeh & Asgari, 2021) نشان می‌دهد که دقت شبیه‌سازی مدل قابل‌قبول و نزدیک به نتایج سایر محققین به‌دست‌آمده است.



شکل ۵- نمودار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در مرحله اعتبارسنجی با مدل GR4j

Figure 5- Observed and simulated flow diagram in validation with GR4j model

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به تنوع مدل‌های هیدرولوژی، انتخاب هر مدل برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی دشوار است بنابراین نیاز به ارزیابی مقایسه‌ای بین مدل‌ها برای مشخص کردن توانایی و قابلیت هر مدل در منطقه مطالعاتی است؛ در این مقاله از مدل MISDc و GR4J در دو حالت نیمه توزیعی و یکپارچه استفاده شده است. بر اساس شاخص‌های آماری و نموداری به‌کاررفته در این مطالعه هم مدل MISDc و هم مدل GR4J در دوره واسنجی نتایج شبیه‌سازی قابل قبولی داشتند. همچنین در دوره واسنجی و اعتبارسنجی مدل MISDc بهتر از مدل GR4J عمل کرده است. در دوره واسنجی هر دو مدل جریان کمتری را نسبت به دوره مشاهداتی پیش‌بینی کردند که شاید بتوان دلیل این امر را به ساختار مدل‌ها و پارامترهای موردبررسی به‌منظور شبیه‌سازی جریان و همچنین دقت و نوع داده‌های مورداستفاده نسبت داد که باز هم عملکرد مدل MISDc مناسب‌تر بوده است. همچنین در دوره واسنجی مدل MISDc در شبیه‌سازی دبی‌های پیک بسیار مناسب‌تر از مدل GR4J عمل کرده است که از دلایل آن می‌توان به نوع مدل و برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در این مدل اشاره کرد. در مدل MISDc هر دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی مقادیر پیش‌بینی‌شده و مشاهداتی به هم نزدیک می‌باشند. درمجموع می‌توان گفت که مدل MISDc (ضریب نش ۰/۶۹۹ در واسنجی و ضریب نش ۰/۷۹۴ برای اعتبارسنجی) برای شبیه‌سازی جریان روزانه حوزه چم‌انجیر مناسب‌تر است که می‌تواند به‌عنوان مدل پیشنهادی در مطالعات هیدرولوژی این منطقه به کار رود. درعین‌حال استفاده از مدل GR4J هم‌بستگی به نوع مطالعه و دقت موردنظر دارد. در این حوزه مشاهده شد این مدل یکپارچه دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی جریان دارد. نتایج ارزیابی دو مدل MISDc و GR4J نشان می‌دهد که مدل MISDc درمجموع دبی‌ها را بخصوص در مقادیر پیک به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند و مدل GR4J درمجموع دبی‌ها را بخصوص دبی پیک را کمتر از مقادیر مشاهداتی شبیه‌سازی کرده است.

References

Aghakouchak, A., Nakhjiri, N. & HBIB, E. (2013). An educational model for ensemble streamflow simulation and uncertainty analysis. *hydrology and Earth system sciences*.17(2), 445-452.

Amiri, A. Zeinivand, H., Tahmasebipour, N. & - Haghizadeh, A. (2019). Investigation of MISDc model performance to simulate runoff in Kashkan Afrine basin in Lorestan province. *Journal of Rainwater Catchment Systems*. 6(4), 53-62. (In Persian)

Amiri, A. & Salimi, H. (2021). Comparison of the Performance of MISDc and HBV Hydrological Models in Runoff Simulation of Kakareza Basin in Lorestan Province. *Journal of Water and Sustainable Development*. 7(4), 51-60. https:// doi.org/10.22067/jwsd.v7i4.87036. (In Persian)

Amiri, A., Gheysouri, M. & Saberi, A. (2023). Runoff Modeling Using HBV Model and Random Forest Algorithm (Study Area: Chamanjir Watershed, Lorestan Province). *Iran's water resources research.* 18(2), 111-121. (In Persian)

Alessio, C., Daniele, M., Christian, M., Stefania, C. & Brocca, L. (2019). Combining a rainfall–runoff model and a regionalization approach for flood and water resource assessment in the westernPoValleyItaly. *Hydrological Sciences Journal*. 65(3), 348-370. https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1690656

Brocca, L., Camici, S. Tarpanelli, A., Melone, F. & Moramarco, T. (2011). *Analysis of climate change effects on floods frequency through acontinuoushydrological modelling*. In: Climate Change and its Effects on Water Resources. Springer, Dordrecht, the Netherlands. pp. 97–104.https://doi.org/10.1007/978-94-007-1143-3_11

Brocca, L., Melone, F., Moramarco, T., Penna, D., Borga, M., Matgen, P. Gumuzzio, A., Martinez-Fernández, J. & Wagner, W. (2013). Detecting threshold hydrological response through satellite soil moisture data. *Die Bodenkultur Journal of Land Management Food and Environment*. 64 (3–4), 7–12.

Brocca, L., Melone, F. & Moramarco, T. (2007). On the estimation of antecedent wetness conditions in rainfall-runoff modelling. *Hydrological Processes.* 22(5), 629–642. https://doi.org/10.1002/hyp.6629

Brocca, L., Melone, F., Moramarco. T. & Singh. VP. (2009). Assimilation of observed soil moisture data in storm rainfall-runoff data. *Journal of Hydrologic Engineering ASCE* 14(2), 153–165.

Camici, S., Ciabatta, L., Massari, C. & Brocca, L. (2018). How reliable are satellite precipitation estimates for driving hydrological models: a verification study over the mediterranean area. *Journal of Hydrology*. 563, 950-961. doi: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.067

Cantoni, E., Tramblay, Y., Grimaldi, S., Salamon, P., Dakhlaoui, H., Dezetter, A. & Thiemig, V. (2022). Hydrological performance of the ERA5 reanalysis for flood modeling in Tunisia with the LISFLOOD and GR4J models. *Journal of Hydrology: Regional - Studies.* 42. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101169

Ding, Z. Lü. H., Ahmed, N., Zhu, Y., Gou, Q., Wang, X., Liu, E., Xu, H., Pan, Y. & Sun, M. (2022). Soil Moisture Data Assimilation in MISDc for Improved Hydrological Simulation in Upper Huai River Basin, China. *Water*. 14(21), 34-76. https://doi.org/10.3390/w14213476

Doorenbos, J. & Pruitt, W. O. (1997). Background and development of methods to predict reference crop evapotranspiration (ETo*). Appendix II in FAO-ID*-24, 108-119.

Famiglietti, J. S. & Wood, E. F. (1994). Multiscale modeling of spatially variable water and energy balance processes. *Water Resour Research.* 30(11), 3061–3078. https://doi.org/10.1029/94WR01498

Harlan. D., Wangsadipura, M. & Munajat, CM. (2010). Rainfall-runoff modeling of Citarum Hulu River Basin by using GR4J. *in proc. World Congress on Engineering.* pp. 1607–1611.

Hughes, J.D., Silberstein, R.P. & Grigg, A.H. (2013). *Extending rainfall-runoff models for use in environments with long-term catchment storage and forest cover changes.* In MODSIM2013, 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide December 2013, Australia. 2471-2477.

Lorrai, M. & Sechi, H.M. (1995). Neural Nets for Modeling Rainfall- Runoff Transformation. *Water Resources Management.* 9(4), 299-313.

Lupakov, S.Y., Bugaets, A.N., Gonchukov, L.V., Motovilov, Yu. G., Sokolov, O. V. & Bugaets, N. D. (2023). Using the GR4J Conceptual Model for Runoff Simulation in the Ussuri River Basin. *Russian Meteorology and Hydrology*. 48(2), 128–137. https://doi.org/10.3103/S106837392302005X

Mostafazadeh, R. & Asgari, E. (2021). Performance assessment of GR4J rainfall-runoff model in daily flow simulation of Nirchai Watershed, Ardabil province. *Scientific Research Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran.* 11(3), 79-95. 10.22125/iwe.2021.128114. (InPersian)

Melone, F., Neri, N., Morbidelli, R. & Saltalippi, C. (2001). *A conceptual model for flood prediction in basins of moderate size. Applied simulation and modelling, M. H. Hamza, ed.*, IASTED Acta Press. Anaheim. Calif. 461–466.

Mengistu, KT. (2009). *Watershed hydrological response to change in land use and land cover and management practices at hare watershed*. Ethiopia.

Perrin, Ch., Michel, C. & Andreassian, V. (2001). Does a large number of parameters enhance model performance? Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments. *Journal of Hydrology*. 242(3-4), 275-301.

Schaefli, B. & Gupta, H.V. (2007). Do Nash values have value? *Hydrological Processes.* 21(15), 2075-2080. https://doi.org/10.1002/hyp.6825.

Schreider, S.Y., smith, D.I. & Jokeman, A.J. (2000). climate change impacts on urban flooding. *Climate change*. 47(1-2), 91-115.

Smith, D.R., King, KW., Johnson, L., Francesconi, W., Richards, P., Baker, D. & Sharpley, A.N. (2015). Surface runoff and tile drainage transport of phosphorus in the midwestern united States. *Journal of Environmental Quality.* 44(2), 495-502.

Zandi Daregharibi, F., Khorsandi, Z., Mozayan, M. & Arman, N. (2017). Comparing the Performance of Two Hydrological Models, IHACRES and GR2M for Simulating Monthly Flow of Dareh-Takht Basin. *Irrigation Sciences and Engineering.* 40(2), 147-158. (In Persian)