



Performance of The IHACRES Model in Runoff Simulation (Case Study: Effin River Basin)

Kambiz Mohammadi^{1,✉} | Hossein Khozaymehnezhad² | Mahdi Amirabadizadeh²

1. PhD student in Irrigation and Drainage, Department of Sciences and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
2. Associate Professor, Department of Sciences and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

✉Corresponding Author: K.mohammadie.1978@gmail.com

Received:
14 March 2025

Accepted:
09 May 2025

Published:
22 September 2025

Keywords:

*Precipitation-Runoff
Simulation,
IHACRES model,
calibration,
Effin watershed.*

Extended abstract

Introduction

This research examines the application of the IHACRES rainfall-runoff model for evaluating and predicting runoff in various watersheds. The IHACRES model has gained attention from researchers due to its simplicity and efficiency. Numerous studies have investigated the model's performance in different geographical regions and under diverse climatic conditions.

The results of these studies indicate that the IHACRES model performs well in simulating daily and monthly runoff in some cases, showing acceptable correlations between observed data and model results. However, the model's efficiency may be weaker in some arid regions or on a daily scale. Compared to other models, such as ANN and SWAT, the IHACRES model may have higher errors, but these are still acceptable.

Finally, this text refers to the main objective of the research: to evaluate the efficiency of the IHACRES model in simulating rainfall-runoff in the Effin River watershed in Qaen County using evaporation and rainfall data.

Cite this article: Amirabadizadeh, M., Khozaymehnezhad, H. & Mohammadi, K. (2025). Performance of The IHACRES Model in Runoff Simulation (Case Study: Effin River Basin). *Journal of Aquifer and Qanat*, 6 (1), 201-214. DOI: <http://10.22077/jaaq.2025.9090.1106>.



Copyright: © 2025 by the authors. Licensee Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Materials and Methods

Study Area: The Effin River watershed in South Khorasan Province has an area of 495 square kilometers, a cold arid climate, and an average annual rainfall of 180 millimeters. Rainfall, discharge, evaporation, and temperature data were obtained from the Regional Water Company of South Khorasan Province.

Methodology: The IHACRES model and the “Hydromad 2” package were used in the R software environment. The IHACRES model consists of two parts:

Nonlinear Section (Rainfall to Effective Rainfall Transformation): The CWI method was used. The main parameters of this section include τ_w (watershed drying time), f (temperature adjustment factor), and c (rainfall volume balance coefficient).

Linear Section (Effective Rainfall to Runoff Transformation): The ARMAX method was used.

Results and Discussion

The model's performance is evaluated using the N_s (Nash-Sutcliffe coefficient) and R^2 (coefficient of determination) criteria in both calibration and validation sections. Values close to 1 for these criteria indicate better model performance.

This study simulates the outflow discharge of the Effin River Watershed of Qaen, on a monthly scale, using the IHACRES model and the “Hydromad” software package in the R environment. Rainfall, runoff discharge, and evaporation data from 1993 to 2012 were entered into the model for calibration, and from 2012 to 2019 for validation. The ARMAX method was used in the linear part of the model to optimize parameters and evaluate model performance. The results showed that the model performed well with N_s and R^2 indices of 0.79 and 0.85 in the calibration section, and 0.54 and 0.64 in the validation section, respectively. These findings confirm the effect of selecting an appropriate transfer function in the linear section of the model on discharge simulation, and the results are consistent with previous studies. Therefore, the IHACRES model using the ARMAX method has performed satisfactorily in simulating outflow discharge at the hydrometric station.

Conclusion

In this study, the IHACRES model was implemented using the “HydroMed” software package in the R environment to simulate the monthly discharge of the Effin Qaen River basin. The software's ability to adjust the objective function and the linear component enhanced the model's performance. Applying the ARMAX method in the linear part improved simulation accuracy, with evaluation indices indicating favorable results. The findings align with previous studies, demonstrating that the IHACRES model with the ARMAX structure is suitable and reliable for discharge simulation in this basin.



ارزیابی عملکرد مدل IHACRES در شبیه سازی رواناب

(مطالعه موردی: حوضه رودخانه افین)

کامبیز محمدی^۱ | حسین خزیمه نژاد^۲ | مهدی امیرآبادیزاده^۲

۱. دانشجوی دکتری آبیاری زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

✉ نویسنده مسئول: K.mohammadie.1978@gmail.com

چکیده

مدل سازی بارش-رواناب یکی از کلیدی ترین ابزار در علم هیدرولوژی برای یافتن خصوصیات از سیلاب نظیر میزان و زمان رسیدن به دبی اوج است. در این تحقیق مدل IHACRES در قالب بسته نرم افزاری Hydromad و در بستر R برای شبیه سازی جریان حوضه رودخانه افین قاین مورد استفاده قرار گرفت و عملکرد آن با روش ARMAX در شبیه سازی رواناب با مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام شبیه سازی با استفاده از مدل فوق، داده های مربوط به بارش، دبی جریان و تبخیر در مقیاس ماهانه طی سال های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۹ مورد استفاده قرار گرفت. واسنجی پارامترهای مدل IHACRES با استفاده از تابع هدف به منظور حداکثرسازی مقدار شاخص نش - ساتکلیف انجام پذیرفت. واسنجی مقادیر دبی مشاهداتی با استفاده از معیارهای ارزیابی N_s و R^2 انجام پذیرفت. در این مرحله محدوده مناسب پارامترهای مدل تعیین گردید و با استفاده از تابع هدف حداکثرسازی مقدار نش - ساتکلیف، مقادیر بهینه پارامترهای مدل تعیین گردید. مقادیر این دو معیار به ترتیب برابر ۰/۷۹ و ۰/۸۵ بود که نشان دهنده عملکرد قابل قبول مدل در شبیه سازی مقادیر دبی مشاهداتی در خروجی حوضه می باشد. در مرحله صحت سنجی مقادیر معیارهای ارزیابی به ترتیب برابر ۰/۵۴ و ۰/۶۴ برآورد شد که نشان از عملکرد مطلوب مدل دارد. در مجموع نتایج تحقیق، نشان دهنده این موضوع است که نتایج حاصل از مدل IHACRES در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از روش ARMAX عملکرد دقیقی داشته است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱

کلیدواژه ها:

شبیه سازی بارش-رواناب،

مدل IHACRES

واسنجی،

حوضه آبریز افین.

مقدمه

تغییرات بارش و اثر آن بر تغییر رواناب در یک حوضه سبب شد تا بسیاری از محققان به دنبال راه‌هایی برای ارزیابی رفتار بارندگی و تأثیر آن روی رواناب حوضه و همچنین پیش‌بینی احتمال وقوع آن باشند؛ بر این اساس تاکنون مدل‌های بسیاری ابداع شده که از جمله مهم‌ترین و ساده‌ترین مدل‌های بارش - رواناب می‌توان به مدل IHACRES که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از دانشمندان در حل این گونه مسائل بوده است؛ اشاره نمود. در صورتی که یک منطقه دارای سری‌های پیوسته زمانی باران، دما و رواناب باشد؛ استفاده از این مدل کاربرد فراوانی دارد. این مدل در عین سادگی به دلیل قدرتمند بودن برای حل مسائل مربوط به فرایند بارش - رواناب مورد توجه محققان مختلف بوده است.

در ۲۱ حوضه آبخیز در جنوب کالیفرنیا به مقایسه مدل IHACRES برای پیش‌بینی جریان روزانه پرداختند. یافته‌های این تحقیق نشان می‌داد برای نیمی از حوضه‌های آبخیز منطقه نتایج حاصل از ارزیابی واسنجی مدل IHACRES بهتر بوده است. همچنین در ۱۸ حوضه آبخیز منطقه، نتایج شبیه‌سازی رواناب روزانه توسط مدل IHACRES نشان می‌داد هم‌بستگی زیادی وجود دارد (Hope et al., 2006).

در پژوهشی در منطقه جنوب‌شرق استرالیا به بررسی اثرات تغییرات اقلیم روی ۶۱ حوضه آبخیز این منطقه با استفاده از چهار مدل بارش - رواناب SIMHYD، SMARG، Sacramento و IHACRES پرداختند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده هم‌بستگی نسبتاً خوب داده‌های مشاهداتی و مدل IHACRES نسبت به بقیه مدل‌ها می‌باشد (Vaze et al., 2010).

اثرات تغییر اقلیم را روی تغییرات رواناب حوضه‌های آبخیز جنوب‌شرق استرالیا با استفاده از مدل نیمه توزیعی IHACRES بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان‌دهنده

رابطه مستقیم بارش هر زیرحوضه با عملکرد مدل در آن زیر حوضه آبخیز دارد زیرا هرچه زیر حوضه‌ها از بارندگی کمتری برخوردار بودند عملکرد ضعیف‌تری از خود در مدل نشان دادند (Kim et al., 2011).

در کشور اردن جهت شبیه‌سازی جریان در منطقه‌ای خشک با استفاده از مدل باران - رواناب IHACRES اقدام نمودند. در این پژوهش از مقادیر رواناب حاصل از ۱۹ واقعه رگبار استفاده گردید. نتایج حاصل از مدل IHACRES کارایی ضعیفی را در شبیه‌سازی جریان در مقیاس روزانه داشت (Aboushandi & Merkel, 2013).

از سه مدل ANN، SWAT و IHACRES برای شبیه‌سازی روزانه، ماهانه و همچنین سالانه بارش - رواناب حوضه‌های منطقه کن استفاده کردند. نتایج پژوهش نشان می‌داد با در نظر گرفتن کمترین خطا مدل ANN بهتر از دو مدل دیگر و همچنین، مدل SWAT بهتر از مدل IHACRES می‌باشد. علی‌رغم اینکه مدل IHACRES نسبت به دو مدل یاد شده بالا خطای بیشتری دارد، ولی باز هم قابل قبول است (Ahmadi et al., 2019).

در پژوهشی در ایستگاه آب‌سنجی آراز کوسه با استفاده از مدل IHACRES به بررسی روش‌های هیدرولوژیک و داده‌کاوی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی دبی جریان ماهانه پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد مدل IHACRES با عنایت به اینکه ضرایب هم‌بستگی در مرحله واسنجی و مرحله صحت سنجی مدل به ترتیب برابر با ۰/۸۱ و ۰/۷۹ بود، لذا مدل از کارایی مناسبی برای شبیه‌سازی جریان ماهانه برخوردار است (Ghorbani et al., 2016).

در تحقیقی به شبیه‌سازی رواناب سطحی با استفاده از مدل IHACRES پرداختند. نتایج پژوهش یاد شده نشان دهنده این موضوع بود که مدل مذکور قادر است با دقت قابل قبولی به شبیه‌سازی داده‌های جریان روزانه و ماهانه بپردازد (Godarzie et al., 2017).

جغرافیایی پنجاه درجه و پنجاه و نه دقیقه و بیست و چهار ثانیه طول شرقی و سی و سه درجه و چهل و دو دقیقه و دو ثانیه عرض شمالی، در فاصله یکصد و سی و پنج کیلومتری شمال شرق بیرجند در استان خراسان جنوبی است.

هیدروگرافی حوضه دارای الگوی دندردی است. حداکثر ارتفاع این حوضه از سطح دریا ۲۷۲۶ متر در مقبلان و حداقل ارتفاع از سطح دریا ۱۴۱۰ متر در افین می‌باشد. شیب متوسط این رودخانه ۴/۷ درصد بوده و جزء رودخانه‌های با شیب زیاد محسوب می‌شود. متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۱۸۰ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالیانه حدود ۲۸ درجه سانتیگراد است.

رودخانه افین در بخش‌های زهان و افین به صورت فصلی جریان داشته و مسیر کلی این رودخانه در ابتدا به سمت شمال و سپس به سمت شمال شرق تغییر می‌یابد. این رودخانه پس از اتصال به رودخانه‌های علی‌آباد، مولید و بشیران به درون سد حاجی‌آباد می‌ریزد.

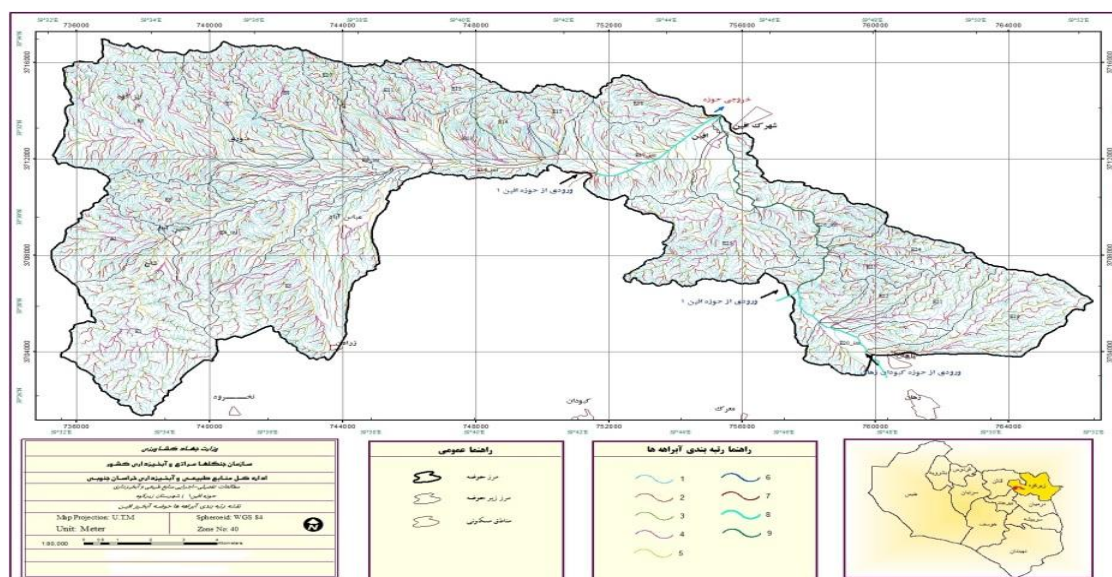
در پژوهشی در حوضه آبخیز لنبران به بررسی میزان عملکرد مدل بارش-رواناب IHACRES جهت شبیه‌سازی رواناب پرداختند. نتایج پژوهش فوق نشان داد که می‌توان مدل IHACRES را به‌دلیل استفاده از معیارهای عملکردی مختلف و به دلیل کاربری آسان، ورودی‌های کمتر و کاهش صرف زمان برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب در مقیاس ماهانه در حوضه آبخیز لنبران توصیه نمود و از آن به‌منظور بررسی و مطالعه رواناب سطحی و جریان رودخانه‌ای طی دوره‌های آبی استفاده کرد (Rezaei et al., 2019)

با توجه به اهمیت تغییرات اقلیمی و آثار آن بر رواناب یک حوضه آبخیز، هدف از این پژوهش، بررسی کارایی مدل مفهومی IHACRES در شبیه‌سازی بارش-رواناب حوضه آبخیز رودخانه افین شهرستان قاین بر اساس داده‌های دما و بارش می‌باشد.

مواد و روش

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه افین به شکل کشیده و با مساحتی حدود چهارصد و نود و پنج کیلومتر مربع و با مختصات



شکل ۱. حوضه آبریز رودخانه افین
Fig 1. Efin River Watershed

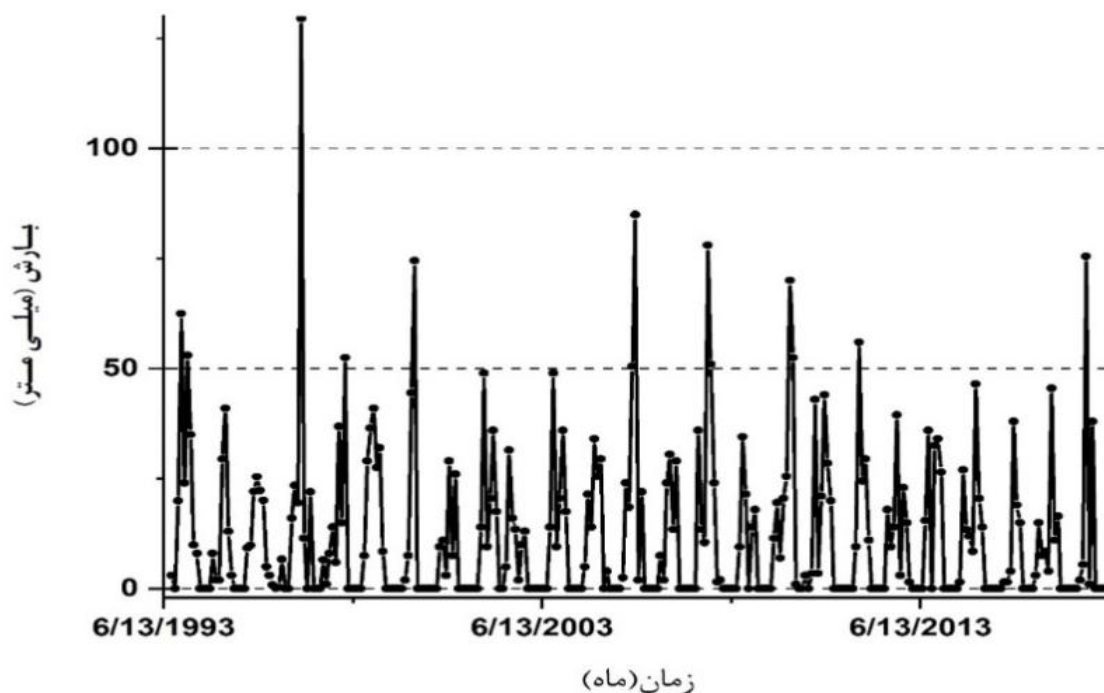


شکل ۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان قاین
Fig 2. Location of The Study Area in Qain County

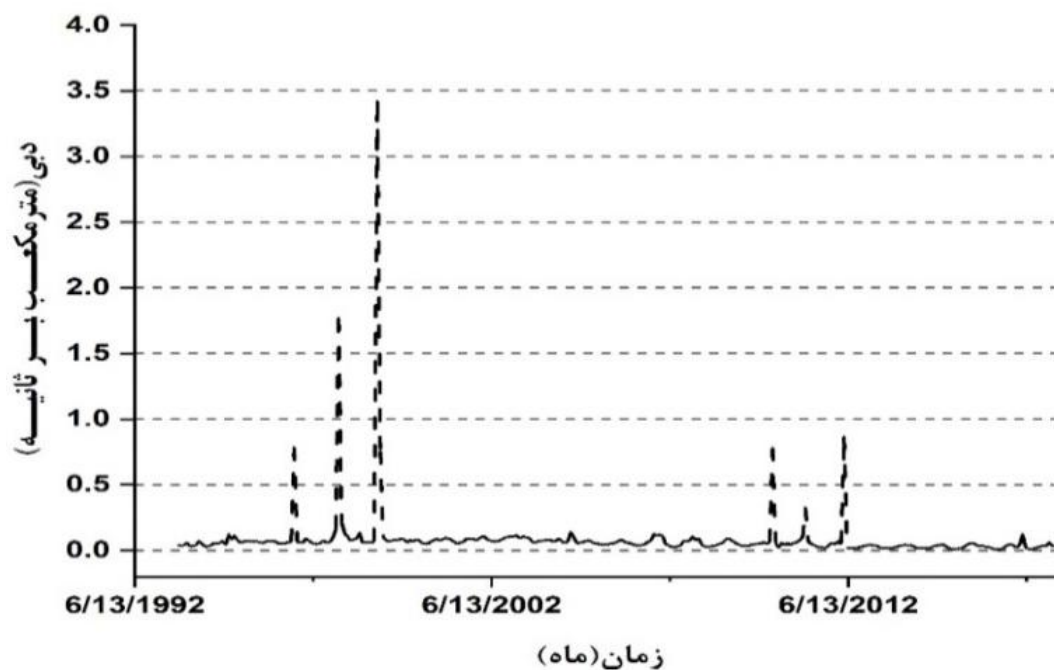
استان خراسان جنوبی تهیه گردید. نمودار داده‌های بارش، دبی، تبخیر و دما استفاده شده در این تحقیق در شکل‌های ۱ و ۲ و ۳ و ۴ نمایش داده شده است. لازم به توضیح است که داده‌های بارش و تبخیر استفاده شده در این تحقیق در ایستگاه سینوپتیک قاین و داده‌های دبی در ایستگاه هیدرومتری افین ثبت شده است.

اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه خشک سرد و بر اساس طبقه‌بندی دمارتن خشک است (Kavakebi et al., 2020).

برای اجرای مدل IHACRES از داده‌های بارش برحسب میلی‌متر، داده‌های دبی برحسب مترمکعب بر ثانیه و داده‌های دما بر حسب درجه سانتیگراد، در مقیاس ماهانه استفاده گردید. داده‌های مورد نظر از شرکت آب منطقه‌ای

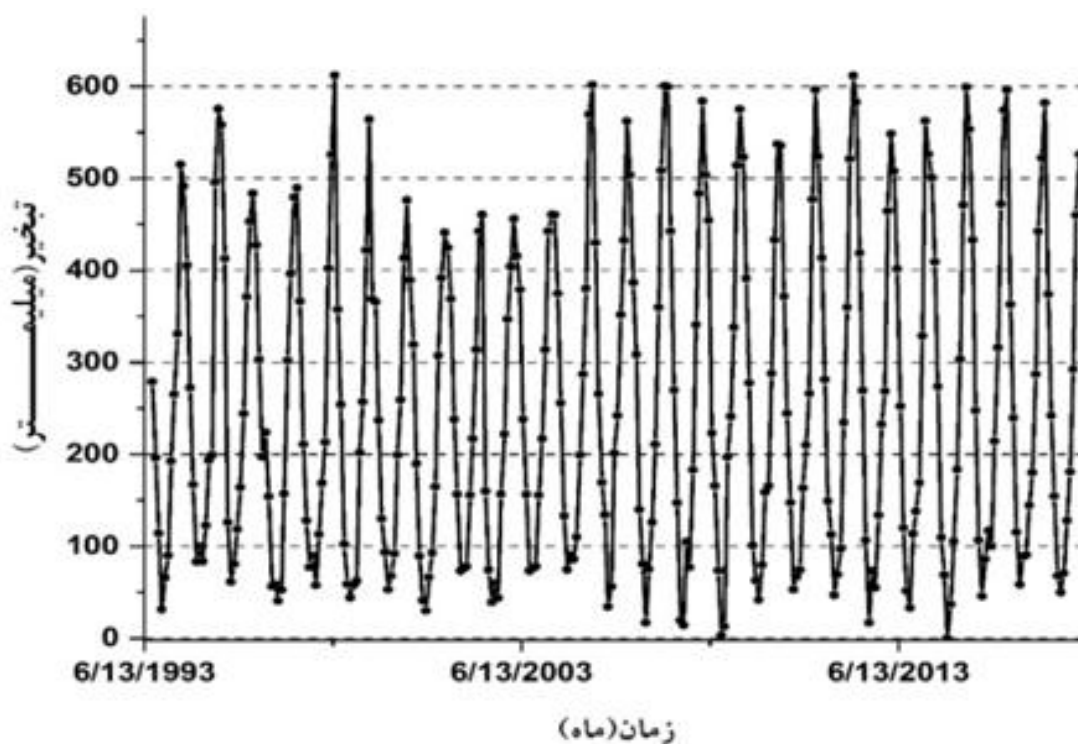


شکل ۳. تغییرات بارش در حوضه رودخانه افین
Fig 3. Precipitation Changes in The Effin River Basin



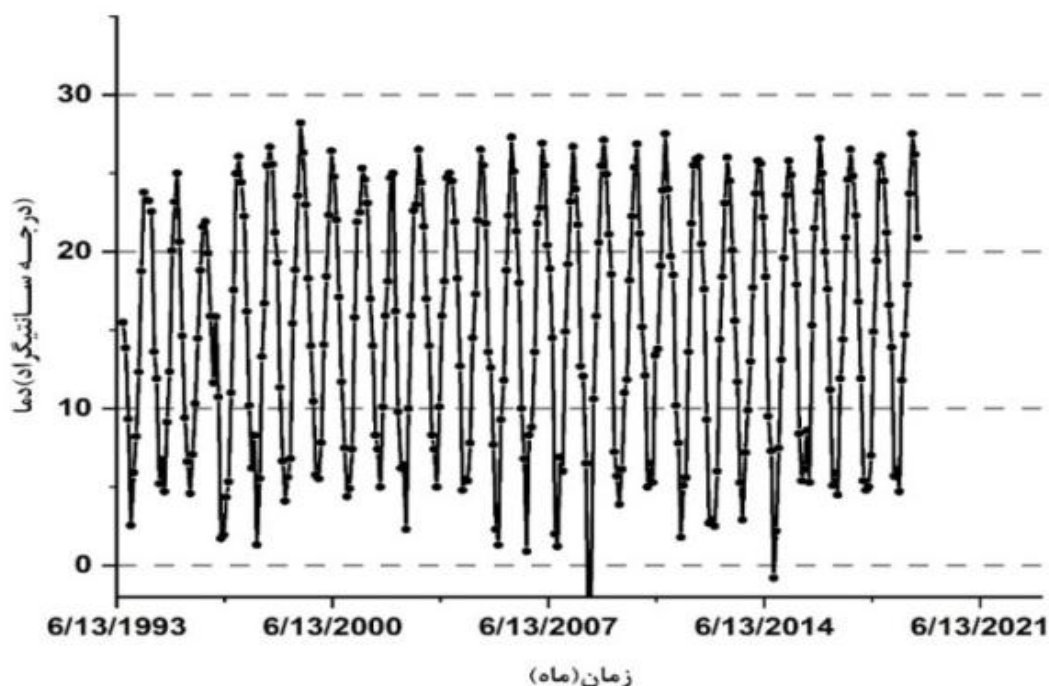
شکل ۴. نمودار تغییرات دبی - زمان در حوضه افین

Fig 4. Discharge Value Variation in The Effin River Basin



شکل ۵. تغییرات تبخیر در حوضه رودخانه افین

Fig 5. Evaporation Changes in The Effin River Basin



شکل ۶. تغییرات دمای متوسط در حوضه افین

Fig 6. Mean Temperature Changes in The Effin River Basin

روش مطالعه

ساختار مدل

این پژوهش با بهره‌گیری از مدل IHACRES در محیط نرم افزاری R و با بکارگیری بسته نرم‌افزاری "هیدرومد ۲" اجرا گردید. مدل IHACRES از دو بخش ساخته شده است: بخش اول مدل که برای تبدیل بارش به بارش مؤثر در هر گام زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد و بخش دوم مدل که نقش تبدیل بارش مؤثر به جریان مدل‌سازی شده را برعهده دارد. این قسمت‌ها در مدل IHACRES به ترتیب تحت عنوان ماژول غیرخطی و ماژول خطی شناخته می‌شوند (Box, 1970; Dooge, 1973).

با توجه به داده‌ها و شرایط موجود در منطقه مورد مطالعه از روش‌های متفاوتی می‌توان جهت اجرای هر یک از بخش‌های ماژول غیرخطی و ماژول خطی استفاده کرد. در این پژوهش از روش "CWI" جهت اجرای مدل در بخش ماژول غیرخطی و از روش "ARMAX" در بخش ماژول

خطی و در بخش واسنجی جهت مسیریابی مناسب از روش "LS" در بخش صحت‌سنجی استفاده گردید. در بخش غیر خطی (تبدیل بارش به بارش مؤثر) برای اجرای مدل از روش CWI استفاده گردید. برای این منظور و محاسبه بارش مؤثر از روابط ۱ و ۲ و ۳ استفاده گردید:

$$\tau_k = \tau_w^{0.062f(Tr-Tk)} \quad (1)$$

در این رابطه τ_k ، بیانگر شدت خشکی خاک است که تابعی از دماست. τ_w مدت زمان لازم برای خشک شدن حوضه یا فاصله زمانی که طول می‌کشد تا حوضه خشک شود. f تابع تعدیل دما است (تأثیر تغییر یک واحد دما بر میزان تلفات). Tk و Tr به ترتیب دمای مرجع و دما در هر گام زمانی هستند.

جهت محاسبه مقدار شاخص رسوبات حوضه یا ϕ_k از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$\phi_k = r_k + \left[1 - \frac{1}{\tau_k}\right] \phi_{k-1} \quad (2)$$

که در این رابطه r_k بارش مشاهداتی و τ_k شدت خشکی مینا می‌باشد.

پس از محاسبه مقدار شاخص رطوبت حوضه، جهت محاسبه مقدار شاخص بارش مؤثر در هر گام زمانی از رابطه ۳ بهره گرفته می‌شود:

$$U_k = r_k * C * \varphi_k \quad (3)$$

که در این رابطه U_k بارش مؤثر، r_k بارش مشاهداتی، C ضریب تعادل حجم بارش و φ_k هم شاخص رطوبت حوضه است. درخصوص نحوه تعیین باید یادآوری نمود که پارامتر C در این رابطه باید به‌نحوی تعیین شود که حجم بارش مؤثر و رواناب مشاهداتی در دوره واسنجی یکسان شوند (Yaghoubi & Massah Bavani, 2014).

سه پارامتر f ، τ_w و C که در بخش غیر خطی به ترتیب بیانگر مدت زمان لازم جهت خشک شدن حوضه (برحسب روز)، فاکتور تعدیل دما (برحسب $\frac{1}{^\circ C}$) و ضریب تعادل حجم بارش (برحسب میلی‌متر) هستند، پس از بهینه شدن در بخش واسنجی در صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت.

تبدیل بارش مؤثر به رواناب (بخش خطی)

روش ARMAX

این روش به عنوان یک تابع انتقال برای محاسبه هیدروگراف واحد کلی جریان می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، که در قالب مدل اتورگرسیو^۱ و میانگین متحرک^۲ تعریف شده است.

در این روش برای محاسبه جریان رواناب در هر گام زمانی از رابطه ۴ استفاده می‌شود:

$$X_t = a_1 X_{(t-1)} + b_0 \quad (4)$$

که در آن a_1 ضریب مربوط به اتورگرسیو و b_0 ضریب مربوط به میانگین متحرک است (Jakeman et al., 1990).

معیارهای ارزیابی

در این تحقیق برای ارزیابی عملکرد مدل در دو بخش واسنجی و صحت‌سنجی از معیارهای N_s و R^2 استفاده شد. رابطه‌های شماره ۵ و ۶ نحوه محاسبه این معیارها را نشان می‌دهد.

$$N_s = 1 - \frac{\sum (Q_s - Q_o)^2}{\sum (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{[\sum (Q_s - \bar{Q}_s)(Q_o - \bar{Q}_o)]^2}{\sum (Q_o - \bar{Q}_o)^2 \sum (Q_s - \bar{Q}_s)^2} \quad (6)$$

در این رابطه Q_s دبی شبیه‌سازی شده توسط مدل، $\bar{Q}_s$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل، Q_o دبی مشاهداتی و $\bar{Q}_o$ میانگین مقادیر مشاهداتی است و هر چه مقادیر شاخص‌های R^2 و N_s به یک نزدیک‌تر باشد، نتایج حاصل از مدل مطلوب‌تر خواهد بود.

نتایج و بحث

ابتدا داده‌های بارش، دبی رواناب و تبخیر به ترتیب برحسب میلی‌متر، مترمکعب بر ثانیه و میلی‌متر در مقیاس ماهیانه از سالهای ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۲ جهت واسنجی مدل و از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۹ در مقیاس ماهانه به منظور صحت‌سنجی وارد مدل شد. پس از ورود داده‌ها به مدل در پکیج "هایدرومد" جهت انسجام واسنجی از روش‌های موجود در این پکیج روش "fitbyoptim" به منظور تعیین مقادیر بهینه پارامترهای مدل انتخاب و از نمونه‌هایی که به روش "latin.hypercube" تولید شده و تعداد آنها ۵۰۰ نمونه بود، استفاده گردید. تابع هدف مورد استفاده در این مطالعه حداکثرسازی مقدار شاخص نش-ساتکلیف

¹ Auto-Regressive

² Moving Average

مقادیر واسنجی شده پارامترها، در جدول ۲ مقادیر محاسبه شده برای معیارهای ارزیابی در بخش‌های واسنجی و صحت‌سنجی مدل نمایش داده شده است.

در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب نمودار دبی مشاهداتی و دبی شبیه‌سازی شده در بخش‌های واسنجی و صحت‌سنجی به نمایش درآمده است.

بوده‌است. جهت ارزیابی عملکرد مدل در بخش‌های واسنجی و صحت‌سنجی از معیارهای N_s و R^2 استفاده گردید.

نتایج حاصل از اجرای مدل با روش خطی ARMAX

داده‌های ذکر شده به مدل وارد شده و پس از آن مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل انجام شد. در جدول ۱

جدول ۱. مقادیر بهینه پارامترها با روش خطی ARMAX

Table 1. Optimal Values of Parameters With The ARMAX Linear Method

پارامتر (Parameter)	C	F	Tw
مقادیر محاسبه شده (Calculated Values)	0.000306346	0.0155298	17.7069

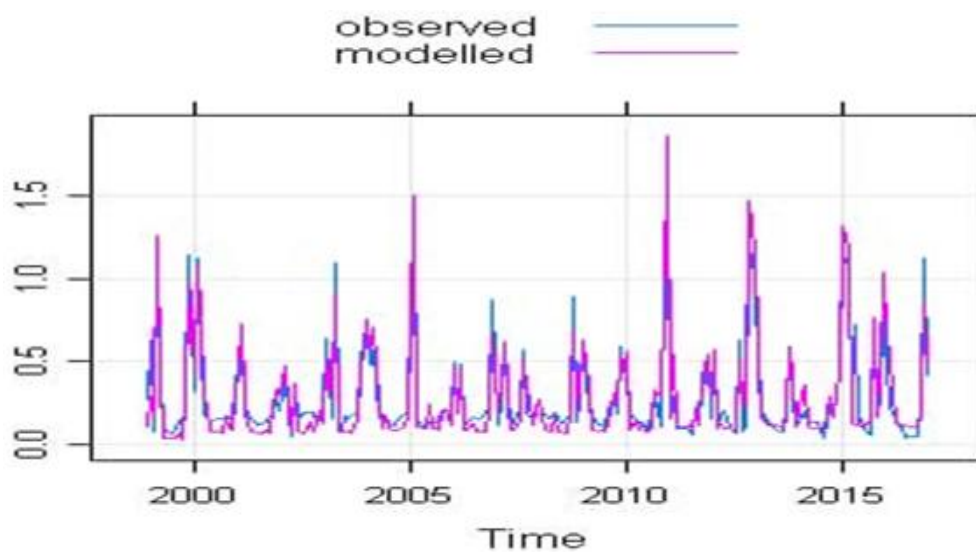
مقادیر شاخص‌های مورد نیاز برای ارزیابی عملکرد شبیه‌سازی دبی خروجی حوضه توسط مدل شامل N_s و R^2 در جدول شماره ۲ نمایش داده شده است. با دقت به مقادیر درج شده در جدول شماره ۲ و با بهره‌گیری از نظریات موریاسی^۱ و همکاران (Moriassi et al., 2007)، آی ال^۲ (Ayele et al., 2017) و کرمی و همکاران (Karami et al., 2019)، مقادیر محاسبه شده برای این معیارها نشانگر این است که مدل با روش خطی ARMAX در بخش واسنجی از نظر معیار N_s عملکردی خوب و از نظر معیار R^2 عملکردی خیلی خوب و در قسمت صحت‌سنجی مدل نیز از نظر معیار N_s عملکرد قابل قبول و از نظر معیار R^2 عملکرد خوبی از خود نشان داده است.

با بررسی داده‌های جدول ۱ و مقادیر محاسبه شده برای پارامتر c به این نتیجه می‌توان رسید که حوضه مورد مطالعه نسبت به بارش با سرعت زیاد واکنش می‌دهد که علت را می‌توان در عدم وجود یا کم بودن تراکم پوشش گیاهی در سطح حوضه جستجو نمود. در صورت وجود پوشش گیاهی مناسب و کاربری جنگلی در سطح حوضه رواناب حاصل از بارندگی با تأخیر وارد جریان رودخانه گردیده و پوشش گیاهی سبب نگهداشت جریان خواهد شد.

سرعت واکنش حوضه نسبت به بارش توسط این پارامتر نمایش داده می‌شود و هرچه مقدار آن بیشتر باشد واکنش حوضه نسبت به بارش آهسته‌تر می‌باشد. درخصوص پارامتر f هم می‌توان گفت این پارامتر نشان دهنده تأثیر تغییرات دما بر میزان تلفات می‌باشد و نشان دهنده تأثیر تغییر یک واحد دما بر میزان تلفات می‌باشد که در این جدول مقدار کوچک این پارامتر نشان دهنده تأثیر اندک دما بر میزان تلفات می‌باشد. دیگر پارامتر موجود در جدول ۱ پارامتر t_w است که بیانگر مدت زمانی است که طول می‌کشد تا حوضه خشک شود و براساس نتایج حاصل شده از مدل با روش ARMAX تقریباً مدت زمان ۱۸ روز نیاز است تا حوضه مورد بررسی خشک شود.

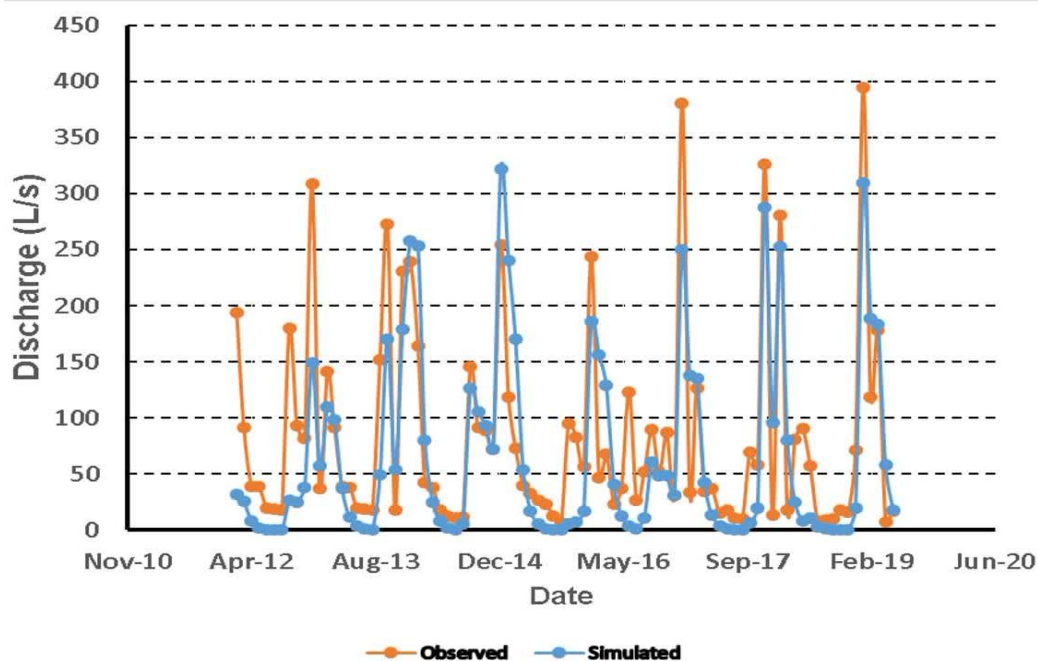
¹ Moriassi

² Ayele



شکل ۷. دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با روش ARMAX در بخش واسنجی

Fig 7. Observed and Simulated Discharge Using The ARMAX Method in The Calibration Section



شکل ۸. دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با روش ARMAX در بخش صحت‌سنجی

Fig 8. Observed and Simulated Discharge Using The ARMAX Method in The Validation Section

جدول ۲. مقادیر محاسبه شده معیارهای ارزیابی در بخش‌های واسنجی و صحت‌سنجی با روش خطی ARMAX

Table 2. Calculated Values of Evaluation Criteria in Calibration and Validation Sections By The ARMAX Linear Method

معیارهای ارزیابی	N_s	R^2
واسنجی (Calibration)	0.79	0.85
صحت‌سنجی (Validation)	0.54	0.64

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، شبیه‌سازی دبی خروجی از حوضه آبریز رودخانه افین قاین در مقیاس ماهانه با استفاده از مدل IHACRES در قالب بسته نرم‌افزاری "هیدرومد" در محیط R کدنویسی شد و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفت. در قیاس با حالت استفاده از IHACRES در قالب نرم‌افزار جداگانه، در این پکیج امکان تغییر تابع هدف جهت تعیین پارامترهای بهینه مدل و همچنین تنظیماتی در بخش خطی مدل فراهم می‌باشد که قادر است در عملکرد مدل در شبیه‌سازی دبی در خروجی حوضه مؤثر باشد.

در بسته نرم‌افزاری هیدرومد مدل IHACRES از دو ماژول غیر خطی و خطی تشکیل یافته‌است. بخش غیرخطی با هدف تبدیل بارش به بارش مؤثر در هر گام زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد و بخش غیر خطی نیز با هدف تبدیل بارش مؤثر به جریان مدل‌سازی شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه به بررسی تأثیر انتخاب روش‌های "ARMAX" در بخش خطی مورد بررسی قرار گرفت. در ارزیابی و بررسی عملکرد مدل در ایجاد و شبیه‌سازی مقادیر دبی ماهانه و نیز ارزیابی دبی حداکثر از دو شاخص ارزیابی R^2 و N_s استفاده گردید. بازه واسنجی ۱۹۹۳-۲۰۱۲ و بازه ۲۰۱۹-۲۰۱۲ جهت صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت. در روش ARMAX مقادیر این شاخص‌های ارزیابی به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۶۴ برآورد گردید که حکایت از عملکرد مطلوب مدل با روش ARMAX دارد. لذا مدل با این روش عملکرد قابل قبولی در شبیه‌سازی دبی خروجی در ایستگاه هیدرومتری از خود به نمایش گذاشت که این موضوع تأثیر انتخاب تابع انتقال مناسب در بخش خطی را تأیید می‌نماید.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل در مقیاس ماهانه عملکرد خوبی داشته که با نتایج تحقیقات دایلاری و همکاران (Dailari et al., 2021) و ابوشاندی و مرکل

(Abushandi & Merkel, 2011) همخوانی دارد. از آن جهت که در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، شبیه‌ساز مقدار دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد، لذا در منطقه مورد مطالعه مدل IHACRES با استفاده از روش ARMAX در بخش خطی عملکرد مناسبی داشته است.

منابع

- Abushandi, E., & Merkel, B. (2013). *Modelling rainfall runoff relations using HEC-HMS and IHACRES for a single rain event in an arid region of Jordan*. *Water resources management*, 27, 2391-2409. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0293-4>
- Ahmadi, M., Moeini, A., Ahmadi, H., Motamedvaziri, B., & Zehtabiyani, G. R. (2019). *Comparison of the performance of SWAT, IHACRES, and artificial neural networks models in rainfall-runoff simulation (case study: Kan watershed, Iran)*. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 111, 65-77. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.05.002>
- Ayele, G. T., Teshale, E. Z., Yu, B., Rutherford, I. D., & Jeong, J. (2017). *Streamflow and sediment yield prediction for watershed prioritization in the Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia*. *Water*, 9(10), 782. <https://doi.org/10.3390/w9100782>
- Baddoo, T. D., Li, Z., Guan, Y., Boni, K. R. C., & Nooni, I. K. (2020). *Data-driven modeling and the influence of objective function selection on model performance in limited data regions*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 4132. <https://doi.org/10.3390/ijerph17114132>
- Box, G., & Jenkins, G. (1970). *Time Series Analysis-Forecasting and Control*. San Francisco: Holden Day. 553 p. <https://doi.org/10.2307/1402374>
- Dailari, M., Darbandi, S., Asadi, E., & Samadian, M. (2021). *Simulation of effective parameters on river flow discharge trend using HACRES rainfall-runoff model in future periods (Case study: Zolachai River)*. *Echo Hydrology* 8 (1): 177-193. Persian with English abstract. <https://doi.org/10.22059/ije.2021.311773.1394> [Persian]

- Imrie, C. E., Durucan, S., & Korre, A. (2000). *River flow prediction using artificial neural networks: generalisation beyond the calibration range*. *Journal of Hydrology*, 233(1-4), 138-153. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00228-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00228-6)
- Jakeman, A. J., Littlewood, I. G., & Whitehead, P. G. (1990). *Computation of the instantaneous unit hydrograph and identifiable component flows with application to two small upland catchments*. *Journal of Hydrology*, 117(1-4), 275-300. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(90\)90097-H](https://doi.org/10.1016/0022-1694(90)90097-H)
- Karami, F., & Bayati Khatibi, M. (2019). *Modeling soil erosion and sediment yield prioritization in Satar Khan Watershed using MUSLE and SWAT models*. *The Journal of Hydro geomorphology*, 15(18), 115-137. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23833254.1398.6.1.8.7.6>. [Persian]
- Karimi, M., Kaki, S., & Rafati, S. (2018). *Iran's future climate conditions and hazards in climate research*. *Journal of Spatial Analysis Environmental hazards*, 5(3), 1-22.. <https://sid.ir/paper/381121/en>. [Persian]
- Karamoz M. Iraqi Nejad Sh. *Advanced Hydrology*. Amirkabir University Press. Tehran;2005. pp.464. <https://doi.org/10.22059/ije.2021.311773.1394>. [Persian]
- Kim, H. S., et al. "An assessment of modelling capacity to identify the impacts of climate variability on catchment hydrology." *Mathematics and computers in simulation* 81.7 (2011): 1419-1429. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2010.05.007>
- Koukidis, E. N., & Berg, A. A. (2009). *Sensitivity of the Statistical Downscaling Model (SDSM) to reanalysis products*. *Atmosphere-Ocean*, 47(1), 1-18. <https://doi.org/10.3137/AO924.2009>
- Lotfirad, M., Adib, A., & Haghighi, A. (2018). *Estimation of daily runoff using the semi-conceptual rainfall-runoff IHACRES model in the Navrood watershed (a watershed in the Gilan province*. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 5(2), 449-460. <https://doi.org/10.22059/ije.2017.234237.614>. [Persian]
- Massah Bovani, A., & Murid, S. (2005). *Effects of Climate Change on the Zayandehrood River in Isfahan*. *Agricultural Science and Technology and Natural Resources*, 4(9), 17-27. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24763594.1384.9.4.4.8> [Persian]
- Dooge, J. (1973). *Linear theory of hydrologic systems* (No. 1468). Agricultural Research Service, US Department of Agriculture..
- Dye, P. J., & Croke, B. F. W. (2003). *Evaluation of Streamflow Predictions by the IHACRES Rainfall-Runoff Model in Two South African Catchments*. *Environmental Modelling and Software*, 18. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00072-0)
- Javan, Khadijeh, and Mahdi Erfanian. "Assessing the impact of climate change on the drought status in Tabriz station during future periods using LARS-WG." *Iranian Water Researches Journal* 14.3 (2020): 97. <https://sid.ir/paper/952843/en>
- Fenta Mekonnen, D., & Disse, M. (2018). *Analyzing the future climate change of the Upper Blue Nile River basin using statistical downscaling techniques*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(4), 2391-2408. <https://doi.org/10.5194/hess-22-2391-2018>
- Food Surveys Research Group. (2014). *Agricultural Research Service, US Department of Agriculture. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 27*.
- Godarzie, M., B. Motamed Vasari, and M. Mir Hosseini. "Evaluation of Application of IHACRES Model for Simulation of Surface Runoff under Climate Change (Case Study: Can Watershed)." *The Journal of Watershed Management Science and Engineering of Iran* 11.38 (2017): 83-94. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23833254.1398.6.2.0.10.3> [Persian]
- Ghorbani Kh. 1394. *Evaluation of data mining models in exponential precipitation microscale based on NCEP public circulation model data, Case study: Kermanshah synoptic station*. *Iranian Journal of Water Research* 2015; pp. <https://doi.org/10.22059/ije.2021.311773.1394>. [Persian].
- Hafezparast, M., & Marabi, S. (2021). *Prediction of discharge using artificial neural network and IHACRES models due to climate change*. *Journal of Renewable Energy and Environment*, 8(3), 75-85. <https://doi.org/10.30501/jree.2021.257941.1162>. [Persian]
- Hope, A., J. Decker, and P. Jankowski. "Daily River Flow Predictions in Southern California Catchments Using the IHACRES Model and Gridded Rainfall Input Data." *AGU Fall Meeting Abstracts*. Vol. 2006. 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2008.00172.x>

Sadeghi, S. H., Ghasemieh, H., & Sadatinegad, S. J. (2015). *Performance evaluation of the IHACRES hydrological model in wet areas (case study: Navrud basin, Gillan)*. *Journal of Water and Soil Science* 19(73):73-83.

<https://doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.73.73>.

(In Persian with English abstract)

Sarraf, A., & Ghasemi, H. (2021). *Calibration of the IHACRES hydrological model using multi-objective social spider optimization and search and rescue algorithms*. *Hydrogeomorphology. Persian with English abstract*. [Persian]

Sood, A., & Smakhtin, V. (2015). *Global hydrological models: a review*. *Hydrological Sciences Journal*, 60(4), 549-565. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.950580>.

Vaze, J., et al. "Climate non-stationarity–validity of calibrated rainfall–runoff models for use in climate change studies." *Journal of Hydrology* 394.3-4 (2010): 447-457.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.09.018>.

Yaghoubi, M., & MASSAH, B. A. (2014). *Sensitivity analysis and comparison of the capability of three conceptual models, HEC-HMS, HBV, and IHACRES, in simulating continuous rainfall-runoff in semi-arid basins*. <https://sid.ir/paper/80432/en>. [Persian].

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*. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900. doi: 10.13031/2013.23153 @2007

Mousavi Baygi, M., Alizadeh, A., Mosaedi, A., & Jabbari Nooghabi, M. (2020). *Development of Weather Meteorological Drought Forecast Model (Case Study: Sub-basin Effin Watershed)*. *Water and Soil*, 33(6), 943-958.

<https://doi.org/10.22067/jsw.v33i6.81650> [Persian]

Osman, Y., Al-Ansari, N., Abdellatif, M., Aljawad, S. B., & Knutsson, S. (2014). *Expected future precipitation in central Iraq using LARS-WG stochastic weather generator*. *Engineering*, 6(13), 948-959. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04891-0>

Rezaei Moghaddam, Mohammad Hossein, Mir Asadolah Hejazi, and Abdollah Behbuodi. "A Calibration and Dvaluation of IHACRES Model in Runoff Simulation the Lanbaran Sub-basin, Ahar Chay." *Hydrogeomorphology* 6.20 (2019): 187-204.

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23833254.1398.6.2.0.10.3>. [Persian]