

Forecasting river flow using neural intelligence models and LARS-WG models (Case study: Kashkan Watershed)

Maryam Bayatvarkeshi^{1*} , Behnaz Taherinia² , Kazem Hosseinian² , Rojin Fasihi³ 

¹ Assistant Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

² Former M.Sc. Student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

³ Ph.D. Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

Extended Abstract

Introduction

Due to water resources limitations in the country, future decisions will be based on future status. In the present study, to investigate the effect of climate change on hydrological components (minimum temperature, maximum temperature, precipitation, and sunshine hours), the information of Kamalvand water gauging station from the headwaters of Kashkan River located in Khorramabad City and Khorramabad meteorological stations were used. For this purpose, taking into account the climate information by LARS-WG software, their values were predicted in the future under three scenarios including A1B, A2, and B1 in three time periods of 34 years from 2011 to 2113. Considering the limited water resources, making management decisions will require knowing the future state of water resources. This phenomenon can cause considerable damage in vulnerable areas. Therefore, as water and its related issues are among the main concerns of mankind in the coming periods, it is necessary to evaluate the occurrence of climate change and the extent of its impact on water resources. According to the importance of knowing the amount of river flow in hydrological studies and water resources management, and the lack of information about the changes in the amount of river flow in the coming years, this study was designed and implemented to predict the daily flow of the Kashkan River in Khorramabad City in the coming years. To achieve this purpose, with the application of the atmospheric general circulation model and various intelligent neural models, the prediction of river flow with high accuracy under different climate change scenarios was examined.

Material and Methods

This watershed forms an important part of the water-rich tributaries of the Karkhe River and covers about one-third of the land of Lorestan Province. In this study, the data of the Kamalvand River gauge station from the headwaters of the Keshkan River located in Khorram Abad have been used. In this study, relying on the ability of the artificial neural network, the application of this method was evaluated along with two hybrid models including neuro-fuzzy (CANFIS) and neuro-genetics (ANN-GA). The water crisis can be considered one of the challenges facing different regions of the country in the coming years. Managing water resources and dealing with the water shortage crisis requires knowing the state of hydrological components in the coming years. For this purpose, in this study, the status of meteorological parameters and the amount of river flow in the coming years were investigated. To achieve this goal, the capability and application of the LARS-WG model in forecasting meteorological parameters and intelligent neural models were used in river flow forecasting.

Results and Discussion

Based on the obtained results, the trend of increasing minimum and maximum temperature and evaporation and transpiration was predicted until 2113. Regarding the parameters of precipitation and solar radiation, a decrease in precipitation and an increase in radiation were predicted from 2080 to 2113. Comparing the performance of intelligent neural models in predicting river flow showed the superiority of the neural-fuzzy model over artificial neural and neuro-genetic models. river flow prediction with the neuro-fuzzy model until 2113 under scenarios A1B, A2, and B1 indicated that the lowest amount of river flow will be observed in scenario A1B and the

highest amount will be observed in scenario B1. The temporal changes of the river flow during different seasons showed that the river flow will increase in spring, autumn, and winter. In general, according to the changes in meteorological parameters and the observed values of the river flow, the description of the changes in the river flow in scenario A1B was closer to reality. This makes it necessary to properly manage the river flow, especially in the summer season of 2080-2113.

Results

The results indicated that minimum and maximum temperatures and evapotranspiration during the next years will increase. In scenario A2, the precipitation changes trend was decreasing and solar radiation was increasing, however in other scenarios trend of increasing and decreasing. Then the discharge amount under different scenarios was calculated. The forecasting discharge values by intelligent models showed that the CANFIS model had more accuracy than the ANN and ANN-GA. The results of the optimized structure of CANFIS illustrated that the minimum discharge value in the future will occur in scenario A1B and the maximum discharge amount will be recorded in scenario B1. The evaluation of the seasonal trend showed that the flow rate increased in spring, autumn, and winter compared to the base period by 20.60, 17.31, and 9.27%, respectively. The lowest river flow in summer will occur under the A1B scenario during 2080-2113. rivers are one of the most important effective factors in the geomorphological processes of the earth and the hydrological cycle. Effective factors in very diverse hydrological processes and their applications in designed models are very difficult and the existence of high uncertainties and strong nonlinearity of the data complicates the issue. Long-term records of hydrological data show the temporal changes in discharge caused by climate change and vegetation changes.

Keywords: Scenario A1B, Neuro-fuzzy, Neuro-genetic, Khorramabad City, Evapotranspiration

Article Type: Research Article

Acknowledgment

The support of Malayer University is acknowledged.

Conflicts of interest

The authors of this article declare that they have no conflict of interest regarding the writing and publication of the contents and results of this study.

Data availability statement

All information and results are presented in the text of the article.

Authors' contribution

Maryam Bayatvarkshi: Conceptualization, performing software/statistical analysis, guidance, editing and revising the article, controlling the results, consulting, writing the first version of the article; **Behnaz Taherinia:** Conceptualization, performing software/statistical analysis, guidance, editing and revising the article, controlling the results, consulting, writing the first version of the article; **Kazem Hosseinian:** Guiding, editing and revising the article, controlling the results; **Rojin Fasihi:** Guiding, editing and revising the article, controlling the results.

*Corresponding Author, E-mail: m.bayat.v@gmail.com

Citation: Bayatvarkshi, M., Taherinia, B., Hosseinian, K., & Fasihi, R. (2024). Forecasting river flow using neural intelligent models and LARS-WG models (Case study: Kashkan Watershed). *Water and Soil Management and Modeling*, 4(3), 225-238.

DOI: 10.22098/mmws.2023.12827.1281

Received: 03 May 2023, Received in revised form: 20 June 2023, Accepted: 25 June 2023, Published online: 25 June 2023

Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 3, pp . 225-238

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





پیش‌بینی جریان رودخانه با کاربری مدل‌های هوشمند عصبی و LARS-WG (مطالعه موردی: حوضه آبریز کشکان)

مریم بیات‌ورکشی^{۱*}، بهناز طاهری‌نیا^۲، کاظم حسینیان^۳، روژین فصیحی^۳

^۱ استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

^۳ دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب در کشور، اتخاذ تصمیمات مدیریتی مستلزم اطلاع از وضعیت آینده منابع آبی خواهد بود. در مطالعه حاضر برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی (دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی) از اطلاعات ایستگاه آب‌سنجی کمالوند از سرشاخه‌های رودخانه کشکان واقع در شهرستان خرم‌آباد و ایستگاه‌های هواشناسی خرم‌آباد استفاده شد. بدین‌منظور با لحاظ اطلاعات هواشناسی در مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG، اقدام به پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی تحت سه سناریو A1B، A2 و B1 به‌صورت سه دوره ۳۴ ساله (از سال ۲۰۱۱ تا سال ۲۱۱۳) شد. سپس، با در نظر گرفتن اطلاعات هواشناسی طی سال‌های آینده، مقدار جریان رودخانه تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم توسط مدل‌های هوشمند عصبی پیش‌بینی شد. براساس نتایج به‌دست آمده، روند افزایشی در مؤلفه‌های دمای حداقل، دمای حداکثر و تبخیر-تعرق در کلیه سناریوها طی بازه‌های زمانی آینده مشاهده شد. در سناریوی A2 روند تغییرات بارش به‌صورت کاهشی و تابش خورشیدی به‌صورت افزایشی بود. این در حالی است که در دو سناریوی دیگر روند افزایش بارش و کاهش تابش خورشیدی مشاهده شد. پیش‌بینی جریان رودخانه با مدل‌های هوشمند عصبی بیان‌گر آن بود که مدل عصبی-فازی کارایی بیش‌تری نسبت به دو مدل عصبی مصنوعی و عصبی-ژنتیک داشت. نتایج حاصل از پیش‌بینی جریان رودخانه با ساختار بهینه مدل عصبی-فازی نشان داد که کم‌ترین مقدار جریان رودخانه طی سال‌های آتی در سناریوی A1B و بیش‌ترین آن در سناریوی B1 اتفاق خواهد افتاد. بررسی روند تغییرات فصلی جریان رودخانه نیز نشان داد که مقدار جریان رودخانه تا سال ۲۱۱۳ در سه فصل بهار، پاییز و زمستان نسبت به دوره پایه، به‌ترتیب به‌میزان ۲۰/۶۰، ۱۷/۳۱ و ۹/۲۷ درصد افزایش خواهد یافت. کم‌ترین مقدار جریان رودخانه نیز در تابستان سال‌های ۲۱۱۳ تا ۲۰۸۰ تحت سناریوی A1B پیش‌بینی شد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق، سناریوی A1B، شهرستان خرم‌آباد، عصبی-فازی، عصبی-ژنتیک

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.bayat.v@gmail.com

استناد: بیات‌ورکشی، مریم، طاهری‌نیا، بهناز، حسینیان، کاظم، فصیحی، روژین (۱۴۰۳). پیش‌بینی جریان رودخانه با کاربری مدل‌های هوشمند عصبی و LARS-WG (مطالعه موردی: حوضه آبریز کشکان). *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۳)، ۲۲۵-۲۳۸.
DOI: 10.22098/mmws.2023.12827.1281

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۴، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۰۴

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۳، صفحه ۲۲۵ تا ۲۳۸

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



و اطمینان بالا پیش‌بینی نمود. هم‌چنین، Moazami Goudarzi et al. (2020) با ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب سطحی حوضه آبریز مهارلو، تغییرات دما و بارش را تحت سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 برآورد نمودند. نتایج ارزیابی مدل‌ها حاکی از شبیه‌سازی موفقیت‌آمیز رواناب روزانه بود. از سایر پژوهش‌ها، Zamani et al. (2019) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب با تحلیل عدم قطعیت در حوزه رود زرد در جنوب‌غربی ایران تحت دو سناریوی انتشار RCP 4.5 و RCP 8.5 پرداختند. نتایج شبیه‌سازی رواناب تحت تأثیر تغییر اقلیم گواه آن بود که میانگین رواناب شبیه‌سازی شده برای دوره آینده نسبت به دوره پایه کاهش یافته است. در ارومیه نیز Lakzaianpour et al. (2016) با ترکیب مدل گردش عمومی جو و شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، میزان رواناب رودخانه نازلوچایواقع در حوضه آبریز دریاچه را پیش‌بینی نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها حاکی از افزایش رواناب رودخانه در دوره‌های آتی بود. در شمال شرق ایران Lalozaee et al. (2013) با مقایسه تأثیر مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و گردش عمومی جو در شبیه‌سازی بارش-رواناب اظهار داشتند مدل شبکه عصبی مصنوعی عملکرد بهتری نسبت به مدل گردش عمومی جو دارد. در مطالعه دیگری، Soleimanipour and Saraf (2019) منابع آب حوزه لار را با مدل‌های هوشمند و تغییر اقلیم بررسی کردند. بیش‌ترین افزایش دما در دوره انتهایی و تحت سناریوی اقلیمی RCP8.5 به میزان ۱۰ درصد و در فصل زمستان و بهار مشاهده شد. افزایش دما و افزایش بارش در آینده با کاهش رواناب سطحی روبه‌رو خواهد شد. میزان تبخیر-تعرق واقعی و پتانسیل در دوره‌های آینده نیز در تمامی سناریوها افزایش یافته و باعث افزایش تلفات آب خواهد شد. در اردبیل نیز Ghazavi et al. (2018) با بررسی تغییرات دبی رودخانه هروچای با استفاده از مدل LARS-WG تحت سه سناریو طی دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۴ نشان دادند که دبی رودخانه تحت دو سناریوی A2 و B1 کاهش ولی در سناریوی A1B افزایش می‌یابد. هم‌چنین، Momeneh (2022) به مدل‌سازی جریان حوضه آبریز رودخانه گاماسیاب با استفاده از مدل‌های هوشمند ANN، RBF و LSTM پرداخت. نتایج به‌دست آمده بر اساس شاخص‌های خط‌سنجی نشان داد مدل LSTM عملکرد بهتری در دوره صحت‌سنجی نسبت به سایر مدل‌ها در تخمین دبی جریان دارد. در نهایت، Mirzania et al. (2022) بارش-رواناب حوضه صوفی‌چای را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و هیبرید موجک-شبکه عصبی (WANN) مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد از لحاظ اولویت، مدل WANN با کسب مقادیر ضریب همبستگی (r)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب نش-ساتکلیف

رودخانه‌ها از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرآیندهای ژئومورفولوژیک زمین و چرخه هیدرولوژی هستند. عوامل مؤثر در فرآیندهای هیدرولوژیکی بسیار متنوع و اعمال تمامی آن‌ها در مدل‌های طراحی شده، مشکل است. وجود عدم قطعیت‌های بالا و غیرخطی بودن قوی داده‌ها، مسأله را پیچیده‌تر می‌کند. ثبت‌های طولانی مدت داده‌های هیدرولوژی، تغییرات زمانی دبی ناشی از تغییر اقلیم و تغییرات پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. مطابق گزارش‌های هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، تغییر اقلیم باعث ایجاد تغییر در رژیم هیدرولوژی طی چند دهه اخیر در سطح جهان شده، به‌گونه‌ای که احتمال مواجهه با رخداد‌های حداکثر اقلیمی مانند سیلاب افزایش یافته است. این پدیده می‌تواند خسارات بسیار قابل ملاحظه‌ای را در مناطقی آسیب‌پذیر ایجاد کند. با توجه به آن که آب و مسائل مربوط به آن از جمله دغدغه‌های اصلی بشر در دوره‌های آتی به حساب می‌آید، ضرورت دارد وقوع تغییرات اقلیمی و میزان تأثیرگذاری آن بر منابع آب ارزیابی شود (Najafian et al., 2017).

پیش‌بینی تغییرات اقلیم در دهه‌های آتی با استفاده از روش‌های مختلف از جمله مدل‌های گردش عمومی جو دلایل کاربرد این مدل‌ها عملکرد سریع و آسان آن‌ها نسبت به سایر روش‌ها و دقت بالای مدل به جهت لحاظ اجزاء زیادی از خصوصیات موجود در جو و سطح زمین است (Kouhestani et al., 2017). کاربرد مدل‌های گردش عمومی جو در بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان جریان آب سطحی در چندین مطالعه ارزیابی شده است. نتایج مطالعات بیان‌گر آن است که ضمن تأیید اثر اقلیم بر رواناب طی سال‌های آینده، چگونگی تغییر رواناب در هر منطقه طی بازه‌های زمانی مختلف متفاوت بوده و قابل تعمیم نیست (Najafian et al., 2017). در این راستا، Zhu et al. (2012) با بررسی اثرات تغییر اقلیم آینده در چین، اظهار داشتند تغییر اقلیم در آینده بیش‌ترین تأثیر را روی رواناب، چرخه هیدرولوژیکی آب و تبخیر-تعرق ناحیه مورد مطالعه خواهد داشت. به اعتقاد Boozj et al. (2011) تغییر اقلیم با اثرگذاری بر دما، بارش و تبخیر-تعرق به‌میزان قابل‌توجهی جریان رودخانه را در آینده تغییر خواهد داد. در اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه، با تولید داده‌ها طی سال‌های آینده با استفاده از روابط بین متغیرهای هواشناسی و رواناب، به تحلیل و بررسی رواناب پرداخته شده است. این در حالی است که با وجود تکنیک‌های موجود، از جمله مدل‌های هوشمند عصبی می‌توان با اطلاع از متغیرهای هواشناسی طی سال‌های آینده، مقدار رواناب را با دقت

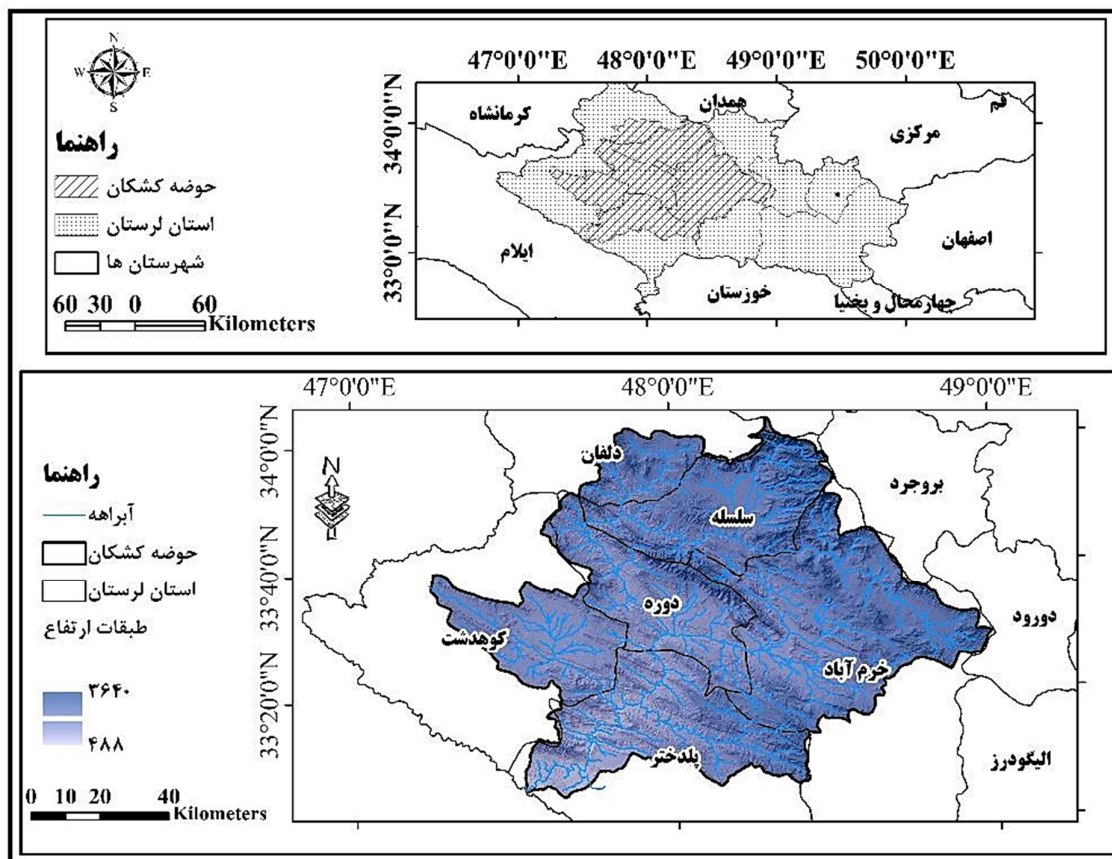
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کشکان با مساحت ۹۲۷۵ کیلومترمربع، از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده ۱۲' ۴۷° تا ۵۹' ۴۸° طول شرقی و ۰۸' ۳۳° تا ۰۲' ۳۴° عرض شمالی در جنوب‌غربی ایران واقع شده است (شکل ۱). این حوضه آبریز بخش مهمی از سرشاخه‌های پر آب رودخانه کرخه را تشکیل و حدود یک سوم از خاک استان لرستان را شامل می‌شود (Mehdinasab, 2020). در این مطالعه از اطلاعات ایستگاه آب‌سنجی کمالوند از سرشاخه‌های رودخانه کشکان واقع در شهرستان خرم‌آباد و ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد استفاده شده است. تغییرات ماهانه متغیرهای هواشناسی ایستگاه مورد مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است. در ترسیم این شکل از مقادیر دمای حداقل و حداکثر، بارش و ساعات آفتابی استفاد شد.

(NSE) به‌ترتیب برابر ۱/۸۹، ۲۸/۸۸ و ۱/۸۹ برای مرحله آموزش و ۱/۹۲، ۲۲/۸۸ و ۱/۲۹ برای مرحله آزمون، از عملکرد مناسبی برخوردار بود.

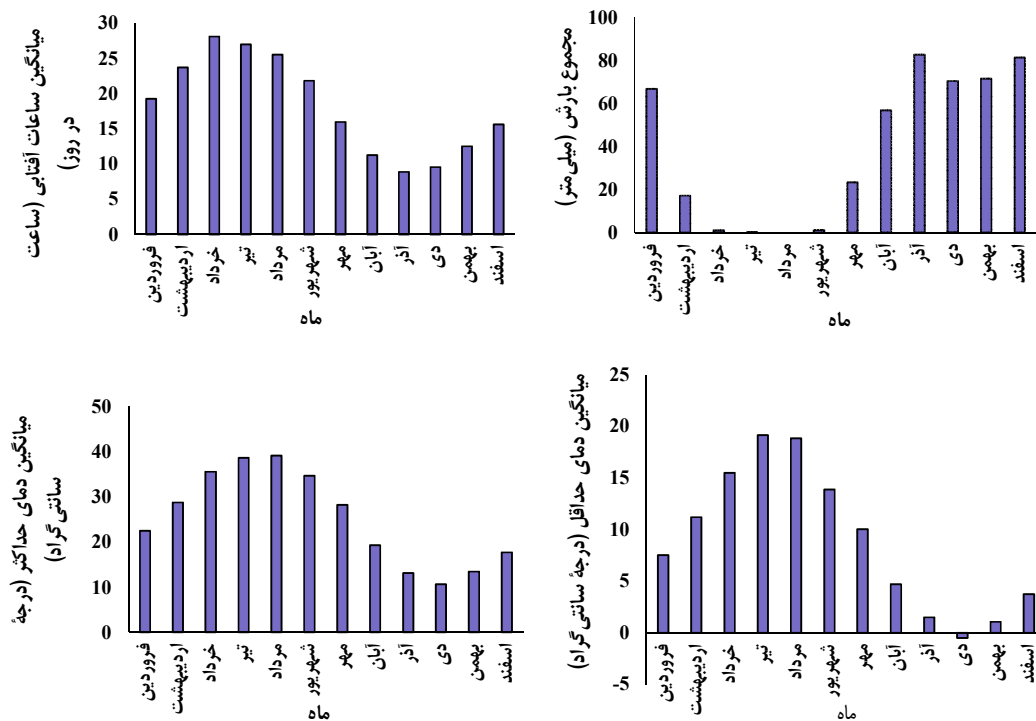
با توجه به وقوع سیلاب و خسارت سنگین آن طی سال‌های اخیر در حوضه کشکان، اهمیت شناخت مقدار جریان رودخانه در مطالعات آب‌شناختی و مدیریت منابع آب ضروری است. هدف از این مطالعه پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه کشکان و اطلاع از تغییرات مقدار جریان رودخانه طی سال‌های آینده در شهرستان خرم‌آباد است. برای دستیابی به این هدف، مدل گردش عمومی جو در ترکیب با مدل‌های مختلف هوشمند عصبی جهت پیش‌بینی مقدار جریان رودخانه با دقت بالا و تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها



شکل ۱- موقعیت رودخانه کشکان در استان لرستان

Figure 1- Location of Keshkan River in Lorestan Province



شکل ۲- تغییرات ماهانه متغیرهای هواشناسی طی دوره پایه

Figure 2- Monthly changes in meteorological parameters during the base period

سناریوهای تغییر اقلیم مورد تأیید IPCC، سناریوهای A1B، A2 و B1 هستند که A1B ترسیم‌کننده جهانی با رشد سریع اقتصادی و بدبینانه جمعیتی است. به طوری که بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن رخ داده و پس از آن روند افزایش جمعیت کاهشی خواهد بود. سناریوی A2 معرف رشد سریع جمعیت جهان همراه با رشد اقتصادی ناهمگن در مناطق مختلف بوده و تغییر اقلیم متوسطی برای دوره‌های پیشرو را ترسیم می‌کند. بر طبق سناریوی B1 نیز جهانی با تغییر سریع در ساختارهای اقتصادی، ایجاد تکنولوژی تمیز و پایین‌ترین نرخ رشد آلودگی تصور خواهد شد (IPCC, 2007). اولین مرحله در کاربرد مدل LARS-WG شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در دوره پایه است. با در نظر گرفتن متغیرهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعت آفتابی روزانه ایستگاه هواشناسی شهرستان خرم‌آباد از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۰ به‌عنوان ورودی مدل، اقدام به تولید متغیرهای متناظر شد. لازم به ذکر است مدل به‌صورت خودکار ساعات آفتابی را تبدیل به تابش خورشیدی می‌نماید. به‌همین خاطر واسنجی مدل در قالب چهار متغیر دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تابش خورشیدی صورت گرفت. صحت‌سنجی داده‌های تولید شده مدل در دوره پایه با شاخص

۲-۲-۲ مدل LARS-WG

از آن‌جا که پیش‌بینی جریان رودخانه مستلزم اطلاع از وضعیت متغیرهای هواشناسی است؛ بنابراین، در گام نخست تولید داده‌های هواشناسی طی سال‌های آینده مد نظر قرار گرفت. به این منظور، خروجی مدل اقلیمی HADCM3 در مدل تولید داده LARS-WG5 استفاده شد. بررسی منابع نشان داد که مدل مذکور جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در شرایط مختلف آب و هوایی ایران توانایی مناسبی دارد (Bahri and Zahedi, 2017). در مدل LARS-WG، برای شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی از رابطه زیر استفاده شد:

$$EPM = \{a_i, a_1, h_i, i = 1, \dots, 10\} \quad (1)$$

رابطه بالا شامل هیستوگرامی ۱۰ طبقه است که هر یک از طبقات در فاصله $[a_{i-1}, a_i]$ تعریف می‌شود. به طوری که $a_{i-1} < a_i$ و h_i فراوانی پدیده‌های مشاهده شده در طبقه i ام است. برای تولید مقادیر متغیرهای تصادفی هواشناسی، ابتدا یکی از طبقات ده‌گانه به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود. سپس، با فرض تبعیت داده‌ها از توزیع یکنواخت در طبقه مورد نظر، یک مقدار در آن فاصله برای متغیر انتخاب می‌شود. فرآیند تولید داده‌های مصنوعی توسط این مدل در سه مرحله واسنجی، ارزیابی و تولید داده‌های مصنوعی انجام می‌شود (Bahri and Zahedi, 2017).

مصنوعی از توابع فعالیت تانژانت^۴، سیگموئید^۵ و قانون یادگیری لوبنرگ-مارکواریت^۶ استفاده شد. تعداد نورون لایه میانی به صورت سعی و خطا به دست آمد. ساختار منطق فازی با لحاظ توابع عضویت گوسین^۷ و زنگوله‌ای^۸ در قالب دو دسته فازی سنجش شد. واسنجی هر سه مدل هوشمند عصبی با استفاده از اطلاعات روزانه جریان رودخانه طی سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ قبل از ورود به شبکه عصبی مصنوعی صورت گرفت. هدف از این کار، شناسایی بهترین مدل هوشمند عصبی و ساختار بهینه آن در پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه است. آماره‌های خطاسنجی مورد استفاده شامل دو شاخص NRMSE و r است. پس از معرفی ساختار بهینه مدل هوشمند عصبی در پیش‌بینی جریان رودخانه، برای دوره‌های آتی از خروجی مدل LARS-WG به عنوان ورودی مدل هوشمند عصبی در پیش‌بینی جریان رودخانه طی سه دوره ۳۴ ساله تحت سناریوهای مختلف استفاده شد. مطابق مطالعات پیشین، ۳۰ درصد داده‌ها برای آزمون مدل و ۷۰ درصد برای آموزش مدل مورد تحلیل قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

نتایج مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۱۰) در شکل ۳ نشان داده شده است. در این شکل، نمودار تغییرات زمانی متغیرهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تابش خورشیدی پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه نشان داده شده است. مقادیر آماره‌های NRMSE و R در هر نمودار بیان‌گر دقت مدل در پیش‌بینی هر متغیر است. لازم به ذکر است مقدار r نزدیک به یک و NRMSE در نزدیکی صفر، مؤید عملکرد مناسب مدل در فرآیند پیش‌بینی است.

با توجه به شکل ۳، بیش‌ترین دقت پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی توسط مدل LARS-WG به دمای حداکثر تعلق دارد که دارای کم‌ترین خطا (NRMSE=۰/۰۱۱) و بیش‌ترین ضریب همبستگی (۰/۹۹۹) است. بیش‌ترین خطای پیش‌بینی با مقادیر NRMSE=0.296 و $r=۰/۹۵۶$ مربوط به بارش ماهانه است. نتایج مشابه در برخی مطالعات بیان‌گر آن است که دقت پیش‌بینی مدل LARS-WG در پیش‌بینی دمای هوا بیش از سایر متغیرهای هواشناسی است (Ansari et al., 2014). هم‌سویی تغییرات دما، ساعات آفتابی و ارتباط معکوس آن‌ها با بارش نیز با توجه به ماهیت این متغیرها منطقی است. با مشاهده شکل ۳،

جزر میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE)^۱ و ضریب همبستگی (r) انجام شد.

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i - O_i}{n}\right)^2}}{\bar{O}} \quad (2)$$

$$r = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) * (P_i - \bar{P})}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 * (P_i - \bar{P})^2}} \quad (3)$$

در روابط بالا، O_i مقادیر مشاهده شده، \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده، P_i مقادیر پیش‌بینی شده، \bar{P} میانگین مقادیر پیش‌بینی شده و n تعداد داده‌ها است. ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 و تولید داده مصنوعی برای سه دوره ۳۴ ساله از سال ۲۰۱۱ تا ۲۱۱۳ تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 تأیید شده توسط IPCC اجرا و مقادیر روزانه متغیرهای دمای حداقل و حداکثر، تابش خورشیدی، بارش و تبخیر-تعرق برای دوره آتی تولید شد. دوره اول از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵، دوره دوم از سال ۲۰۴۶ تا ۲۰۷۹ و دوره سوم از سال ۲۰۸۰ تا ۲۱۱۳ در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است مقدار تبخیر-تعرق محاسبه شده در این مدل به روش پرستلی تیلور است. روش پرستلی تیلور یک رابطه ترکیبی مبتنی بر تابش است که پرستلی و تیلور برای تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل ارائه نمودند. این روش برخلاف بسیاری از روش‌های مبتنی بر تابش که مبتنی بر روابط تجربی هستند، پایه فیزیکی دارد و از تابش خالص به جای تابش خورشیدی برای تخمین تبخیر-تعرق استفاده می‌کند (Moqbeli (Damaneh and Sanainejad, 2016). پس از تولید داده‌های هواشناسی طی سال‌های آینده، خروجی مدل LARS-WG به عنوان ورودی مدل‌های هوشمند عصبی در پیش‌بینی جریان رودخانه مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۲- مدل‌های هوشمند عصبی

در این مطالعه با تکیه بر توانایی شبکه عصبی مصنوعی، کاربرد این روش در کنار دو مدل ترکیبی عصبی-فازی^۲ (CANFIS) و عصبی-ژنتیک^۳ (ANN-GA) مورد سنجش قرار گرفت. اجرای تمامی مدل‌ها در نرم‌افزار NeuroSolution5 صورت گرفت. بدین منظور با لحاظ اطلاعات دمای حداقل، دمای حداکثر، تابش خورشیدی، بارش و تبخیر-تعرق به عنوان ورودی مقدار جریان رودخانه پیش‌بینی شد. جهت اجرای ساختار شبکه عصبی

⁴ Tangent

⁵ Sigmoid

⁶ Levenberg-marquardt

⁷ Gaussian

⁸ Bell

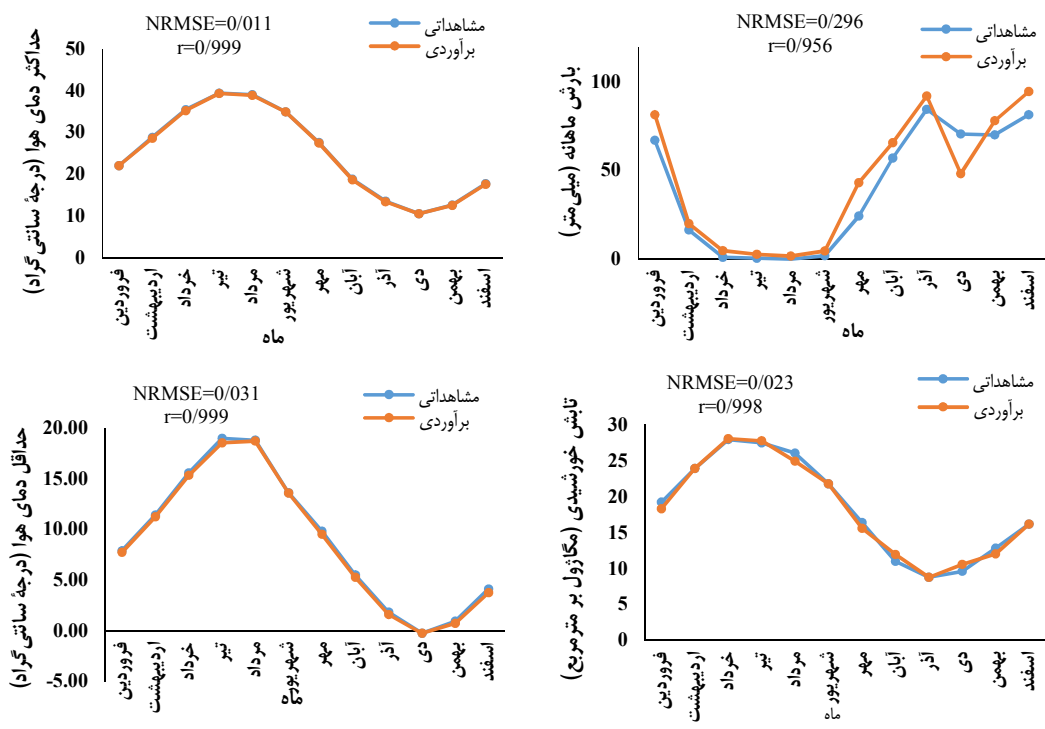
¹ Normal root mean square error

² Co-active neuro fuzzy inference system

³ Genetic algorithm-artificial neural network

واسنجی مدل LARS-WG و اطمینان از دقت مناسب مدل در پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی، خروجی مدل LARS-WG در پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی طی دوره آبی (سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳)، تحت سناریوهای مختلف مد نظر قرار گرفت. در جدول ۱ میانگین مقادیر متغیرهای هواشناسی دوره‌های پایه و آبی تحت سناریوهای مختلف ارائه شده است.

حداقل بارش در ماه‌هایی که حداکثر دمای هوا و تابش خورشیدی به ثبت رسیده، روی داده است. لازم به ذکر است در تمامی مدل‌های گردش عمومی جو، عدم قطعیت در نتایج داده‌های ریزمقیاس شده مشاهده می‌شود. در این راستا، Ansari et al. (2014) به وجود عدم قطعیت در نتایج داده‌های ریزمقیاس شده اشاره کرده‌اند که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. پس از



شکل ۳- مقایسه خروجی مدل LARS-WG با مقادیر مشاهده شده ایستگاه آب‌سنجی کامالوند در دوره پایه (۱۹۹۱ - ۲۰۱۰) Figure 3- Comparing the output of the LARS-WG model with the observed values of the Kamalvand hygrometer station in the base period (1991-2010)

جدول ۱- میانگین متغیرهای هواشناسی دوره آبی تحت سناریوهای مختلف

Table 1- The average meteorological parameters of the future period under different scenarios

تبخیر-تعرق (میلی‌متر بر روز)	تابش خورشیدی (میلی ژول بر متر مربع)	مجموع بارش سالانه (میلی‌متر)	دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد)	دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد)	سناریو	بازه زمانی
6.19	18.07	475	25.11	8.74	--	دوره پایه
4.31	18.2	526	25.54	9.31	A1B	2011-2045
4.32	18.01	540	25.64	9.41	A2	
4.29	17.95	558	25.54	9.30	B1	
4.46	18.12	504	27.18	10.95	A1B	2046-2079
4.42	18.03	526	27.00	10.78	A2	
4.43	18.15	489	26.73	10.50	B1	
4.58	18.24	551	28.55	12.31	A1B	2080-2113
4.69	18.45	409	29.36	13.12	A2	
4.47	18.07	537	27.48	11.25	B1	

قابل مشاهده است. در دوره‌های ۲۰۴۵-۲۰۱۱ و ۲۰۱۳-۲۰۸۰، بیش‌ترین مقدار دمای حداقل به سناریوی A2 تعلق دارد. درحالی‌که مقدار فوق برای دوره ۲۰۴۶-۲۰۷۹، به سناریوی A1B تعلق دارد. مشابه همین روند برای دمای حداکثر نیز

براساس نتایج جدول ۱، افزایش دمای حداقل و دمای حداکثر طی سال‌های آینده نسبت به دوره پایه مشهود است. در سناریو A1B افزایش دمای حداقل از ۸/۷۴ تا ۱۲/۳۱ درجه سانتی‌گراد و دمای حداکثر از ۲۵/۱۱ تا ۲۸/۵۵ درجه سانتی‌گراد

سناریوهای A1B و B1، روند تغییرات تابش خورشیدی به‌صورت افزایشی-کاهشی است. مقادیر تبخیر-تعرق پیش‌بینی شده طی سال‌های آینده تحت هر سه سناریو بیان‌گر آن است که تبخیر-تعرق، دارای روند افزایشی و منظمی خواهد بود که هم‌سو با نتایج مطالعه Saraf and Soleimanipour (2019) است. بیش‌ترین افزایش تبخیر-تعرق مربوط به سناریوی A2 است که مقدار متوسط آن طی هر سه بازه زمانی به‌ترتیب برابر با ۴/۳۲، ۴/۴۲ و ۴/۶۹ میلی‌متر در روز پیش‌بینی شده است. براساس نتایج، روند تغییرات تبخیر-تعرق در تمامی سناریوها نسبت به دوره پایه، کاهشی است. فرآیند تبخیر-تعرق به‌دلیل فعل و انفعالات پیچیده سیستم آب، خاک و گیاه، یکی از دشوارترین پدیده‌های هیدرولوژیکی به‌شمار می‌رود که عوامل متعددی در تغییر این متغیر دخیل هستند. یکی از عوامل مؤثر بر این پدیده، متغیرهای هواشناسی هستند که در توجیه رفتار تغییرات این پدیده کافی به‌نظر نمی‌رسد. در جدول ۲، نتایج اجرای ساختارهای مختلف مدل‌های هوشمند عصبی در پیش‌بینی جریان رودخانه ارائه شده است. هدف از ارائه این جدول، معرفی ساختار بهینه در پیش‌بینی جریان رودخانه است

صادق است. بررسی روند تغییرات بارش طی سال‌های آینده نشان داد که روند تغییرات بارش نسبت به دوره پایه یکنواخت و مشخص است. به‌طوری‌که در سناریوی A1B میانگین بارش از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵، برابر ۵۲۶ میلی‌متر در سال است که این مقدار از سال ۲۰۴۶ تا ۲۰۷۹ به ۵۰۴ میلی‌متر در سال کاهش یافته است. همچنین، طی دوره ۳۴ ساله آتی (۲۰۸۰ تا ۲۱۱۳)، میانگین بارش به‌میزان ۵۵۱ میلی‌متر در سال افزایش یافته است. در سناریوی A2 میانگین بارش طی سه دوره آتی به‌ترتیب ۵۴۰، ۵۲۶ و ۴۰۹ میلی‌متر در سال پیش‌بینی شد که روند یکنواخت کاهش بارش را تأیید می‌نماید. در مقابل، تغییرات بارش در سناریوی B1، روند کاهشی-افزایشی را طی می‌کند. به‌طوری‌که میانگین بارش در هر سه دوره آتی به‌ترتیب برابر ۵۵۹، ۴۸۹ و ۵۳۷ میلی‌متر در سال است. نتایج پژوهش حاضر با نتایج مطالعات (Bayatvarkeshi and Fasihi (2018) مطابقت دارد. همچنین، (Ghazavi et al. (2018) به روند کاهشی بارش تحت سناریوی A1B اشاره نموده‌اند. تغییرات تابش خورشیدی پیش‌بینی شده نیز دارای روند منظمی است. همان‌گونه که از جدول ۱ استنباط می‌شود، تابش خورشیدی در سناریو A2 از سال ۲۰۱۱ تا ۲۱۱۳، دارای روند افزایشی است. در مقابل، در

جدول ۲- خلاصه آماره‌های خط‌سنجی اجرای ساختارهای مختلف مدل‌های هوشمند عصبی در پیش‌بینی جریان رودخانه کشکان در ایستگاه آب‌سنجی کمالوند

Table 2- Summary of the error measurement statistics of the implementation of different structures of intelligent neural models in forecasting the flow of the Keshkan River at the Kamalvand water measuring station

ردیف	آرایش شبکه	قانون یادگیری	تابع عضویت	تابع فعالیت	NRMSE (-)	r (-)
ANN	5-4-1	Levenberg Marquat	--	TanhAxon	0.755	0.755
	5-4-1	Levenberg Marquat	--	SigmoidAxon	0.702	0.922
CANFIS	(2,2,2,2,2)	Levenberg Marquat	Bell	TanhAxon	0.790	0.666
	(2,2,2,2,2)	Levenberg Marquat	Bell	SigmoidAxon	0.821	0.593
	(2,2,2,2,2)	Levenberg Marquat	Gaussian	Tangant	0.856	0.554
	(2,2,2,2,2)	Levenberg Marquat	Gaussian	SigmoidAxon	0.790	0.590
ANN-GA	5-4-1	Levenberg Marquat	--	TanhAxon	0.687	0.983
	5-4-1	Levenberg Marquat	--	SigmoidAxon	0.786	1.199

آرایش شبکه به‌ترتیب از راست به چپ، معرف تعداد نرون ورودی، تعداد نرون میانی، لایه پنهان و تعداد نرون در لایه نهایی است.

با نتایج مطالعات (Nabizadeh et al. (2012 هم‌خوانی دارد. با توجه به این‌که مشخصات حوضه آبریز نظیر شیب، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و سایر عوامل در تولید جریان‌های سطحی مؤثر هستند. لذا این مطالعه با هدف تأثیر متغیرهای هواشناسی بر جریان رودخانه طراحی و اجرا شده است. ضمن آن‌که پیش‌بینی مشخصات متغیرهای غیرهواشناسی طی سال‌های آینده امکان‌پذیر است. پس از معرفی ساختار بهینه مدل عصبی-فازی به‌عنوان روش مناسب، به پیش‌بینی جریان رودخانه طی سال‌های آینده پرداخته شده است. نتایج پیش‌بینی دبی رودخانه از سال ۲۰۱۱ تا ۲۱۱۳ به‌صورت سه دوره ۳۴ ساله تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1، در جدول ۳ آورده شده است.

نتایج نشان داد تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نتایج اجرای ساختارهای مختلف مدل‌های هوشمند عصبی وجود دارد. با در نظر گرفتن حداقل آماره NRMSE و حداکثر مقدار r ، نتایج اجرای مدل عصبی-فازی با به‌کارگیری قانون آموزش لونیگ مارکوات، تابع فعالیت تانژانت در ساختار شبکه عصبی مصنوعی و دو تابع عضویت گوسین در ساختار فازی به‌عنوان ساختار بهینه معرفی شد. با توجه به مقادیر مطلوب آماره‌های خطا ($r=0/856$ و $NRMSE=0/554$)، ساختار یاد شده نسبت به سایر ساختارها عملکرد بهتری دارد. این بدان معناست که کاربرد منطق فازی منجر به بهبود نتایج شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک موجب عدم بهبود نتایج آن شد. نتایج پژوهش

جدول ۳- دبی روزانه پیش‌بینی شده طی سال‌های آینده تحت سناریوهای مختلف (مترمکعب بر ثانیه)

Table 3- Predicted daily discharge in the coming years under different scenarios (m³/s)

بازه زمانی	سناریو	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
دوره پایه	--	0.164	0.011	0.337	0.513
2011-2045	A1B	0.364	0.188	0.156	0.410
	A2	0.442	0.210	0.177	0.446
	B1	0.443	0.212	0.178	0.448
2046-2079	A1B	0.437	0.203	0.179	0.445
	A2	0.439	0.205	0.181	0.447
	B1	0.434	0.201	0.179	0.446
2080-2113	A1B	0.439	0.198	0.183	0.448
	A2	0.424	0.192	0.184	0.443
	B1	0.437	0.205	0.180	0.450

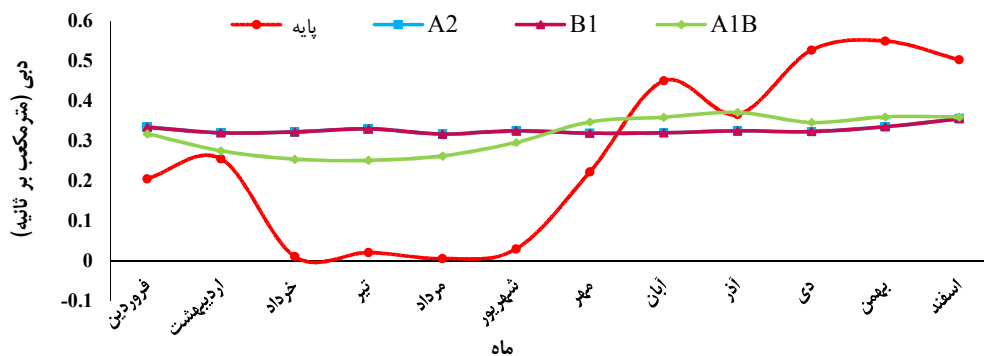
۹/۲۷ درصد است. پیش‌بینی افزایش دبی رودخانه با وجود کاهش بارندگی می‌تواند ناشی از تبدیل ذخایر جامد (برف) به مایع (باران) باشد که در مطالعه Bahri and Zahedi (2017) نیز بدان اشاره شده است. از طرف دیگر، مطالعات تغییر اقلیم متکی بر تغییرات متغیرهای هواشناسی است، درحالی‌که نقش کاربری اراضی به‌عنوان عاملی مهم در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین، از دیدگاه کاربری اراضی، افزایش رواناب پیش‌بینی شده می‌تواند به دلیل افزایش مناطق نفوذناپذیر، صنعتی و کاهش پوشش گیاهی باشد که منجر به افزایش رواناب خواهد شد. با توجه به پایین بودن مقدار جریان رودخانه در فصل تابستان و روند کاهشی آن در سال‌های ۲۰۸۰ تا ۲۱۱۳، می‌توان اظهار داشت مدیریت بهینه منابع آبی در این دوره از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. به‌طوری‌که عدم مدیریت صحیح، منجر به اثرات سوء بحران آب در این دوره خواهد شد. روند افزایش جریان رودخانه در سایر فصول نیز با توجه به پیش‌بینی افزایش بارندگی در برخی دوره‌ها منطقی به‌نظر می‌رسد.

در پژوهشی، Alvankar et al. (2016) با پیش‌بینی وضعیت اقلیمی شهرستان خرم‌آباد اظهار داشتند احتمال وقوع ترسالی (افزایش بارش) طی سال‌های آینده بیش از خشکسالی (کاهش بارش) خواهد بود. بنابراین می‌توان احتمال افزایش جریان رودخانه در منطقه را در راستای گزارش آن‌ها دانست. پیش‌بینی افزایش جریان رودخانه می‌تواند منجر به سیلاب شود که مستلزم اقدامات مدیریتی و مهندسی در منطقه است که بتوان خطر وقوع سیلاب را مهار نمود. در این راستا، Lakzaianpour et al. (2016) و Najafian et al. (2017) نیز افزایش جریان رودخانه حوضه مورد مطالعه طی سال‌های آتی را گزارش نمودند. همچنین، Abbasi et al. (2014) علت اصلی اختلاف در پاسخ مدل‌ها را ناشی از ساختار دینامیکی و طرح‌واره‌های فیزیکی و محاسباتی مختلف مورد استفاده برشمردند. ضمن آن‌که عدم قطعیت در نتایج داده‌های

مقایسه میانگین فصلی جریان رودخانه طی سال‌های آینده نشان داد که جریان رودخانه در فصل‌های بهار و تابستان نسبت به دوره پایه در تمامی سناریوها افزایش خواهد یافت. دلیل این امر را می‌توان افزایش دمای هوا طی سال‌های آینده و تأثیر آن در تسریع و تشدید فرآیند ذوب شدن برف در بهار و تابستان عنوان کرد. در مقابل، کاهش قابل ملاحظه‌ای در جریان رودخانه در فصل‌های پاییز و زمستان نسبت به دوره پایه مشاهده می‌شود. برای تمامی سناریوها، بیش‌ترین مقدار جریان رودخانه در فصل زمستان خواهد بود. این امر با توجه به بالا بودن ریزش نزولات جوی به‌ویژه برف و کاهش برداشت آب‌های سطحی به دلیل توقف فعالیت‌های کشاورزی در این فصل، منطقی به‌نظر می‌رسد. در پژوهش مشابهی افزایش مقدار رواناب در فصل زمستان برای سال‌های آینده در حوضه سد اکباتان همدان توسط Nazari-pouya et al. (2016) گزارش شد. از طرفی، کم‌ترین مقدار جریان رودخانه به فصول تابستان و پاییز تعلق دارد که این امر می‌تواند به دلیل کاهش نزولات جوی و افزایش برداشت در این دو فصل باشد. کم‌ترین دبی پیش‌بینی شده در تمامی فصل‌ها در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ در سناریوی A1B پیش‌بینی شد. در مقابل، بیش‌ترین مقدار دبی در تمامی فصول، مربوط به سناریوی B1 است. این امر با توجه به ماهیت سناریوها مبنی بر این‌که خوش‌بینانه‌ترین سناریوی تغییر اقلیم B1 و بدبینانه‌ترین آن سناریوی A1B است، قابل قبول است (IPCC, 2007). نتیجه مشابهی در مطالعه Nazari-pouya et al. (2016) در خصوص پیش‌بینی رواناب گزارش شد که هم‌سو با نتیجه پژوهش حاضر است. مقایسه مقدار جریان پیش‌بینی شده طی سه دوره متوالی تا سال ۲۱۱۳ با در نظر گرفتن سناریوی A1B به‌عنوان وخیم‌ترین حالت، بیان‌گر آن است که تغییرات جریان رودخانه در فصل تابستان دارای روند افزایشی-کاهشی است. لذا، مقادیر جریان در سه فصل بهار، پاییز و زمستان به‌صورت افزایشی و به‌ترتیب به‌میزان ۲۰/۶۰، ۱۷/۳۱ و

۲۰۱۱-۲۰۱۳ تحت سه سناریوی مورد مطالعه و دوره پایه نشان داده شده است.

ریز‌مقیاس شده در تمامی مدل‌های گردش عمومی جو وجود دارد که توسط Ansari et al. (2014) نیز گزارش شده است. در شکل ۴، مقدار میانگین دبی ماهانه پیش‌بینی شده از سال



شکل ۴- میانگین دبی ماهانه پیش‌بینی شده از سال ۲۰۱۱-۲۰۱۳ تحت سناریوی A1B، A2، و B1 نسبت به دوره پایه
Figure 4- The average monthly discharge predicted from 2011-2013 under scenarios A1B, A2, and B1 compared to the base period

اقلیم است که با نتایج مطالعه Lakzaianpour et al. (2016) نیز مطابقت دارد.

۴- نتیجه‌گیری

بحران آب را می‌توان یکی از چالش‌های پیش‌روی مناطق مختلف کشور طی سال‌های آتی دانست. مدیریت منابع آب و مقابله با بحران کمبود آب، مستلزم شناخت وضعیت مؤلفه‌های هیدرولوژیکی طی سال‌های آینده است. بدین منظور اطلاعات ایستگاه آب‌سنجی کمالوند از سرشاخه‌های رودخانه کشکان واقع در شهرستان خرم‌آباد و ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد برای بررسی وضعیت متغیرهای هواشناسی و مقدار جریان رودخانه طی سال‌های آینده مورد بررسی قرار گرفت. برای دستیابی به این هدف، قابلیت و کاربرد مدل LARS-WG در پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی و مدل‌های هوشمند عصبی در پیش‌بینی جریان رودخانه مورد استفاده قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده، روند افزایش دمای حداقل، دمای حداکثر و تبخیر-تعرق تا سال ۲۰۱۳ پیش‌بینی شد. در خصوص متغیرهای بارش و تابش خورشیدی، کاهش بارش و افزایش تابش طی بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۸۰ پیش‌بینی شد. مقایسه عملکرد مدل‌های هوشمند عصبی در پیش‌بینی جریان رودخانه، بیان‌گر برتری مدل عصبی-فازی نسبت به دو مدل عصبی مصنوعی و عصبی-ژنتیک است. پیش‌بینی جریان رودخانه با مدل عصبی-فازی تا سال ۲۰۱۳ تحت سناریوهای A1B، A2، و B1 بیان‌گر آن بود که کم‌ترین مقدار جریان رودخانه در سناریوی A1B و بیش‌ترین مقدار آن در سناریوی B1 رخ خواهد داد. تغییرات زمانی جریان رودخانه طی فصول مختلف نشان داد که میزان جریان رودخانه در فصول بهار،

با توجه به شکل ۴، اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین دبی رودخانه تحت دو سناریوی A2 و B1 با سناریوی A1B وجود دارد. مقادیر دبی پیش‌بینی شده برای دو سناریوی A2 و B1 در تمامی ماه‌ها، تقارب بیشتری با یک‌دیگر دارند. در مقابل، سناریوی A1B به‌عنوان توصیف‌کننده شرایط بحرانی، تفاوت قابل‌توجهی در روند تغییرات ماهانه دبی رودخانه مورد مطالعه نشان داد. به‌طوری‌که روند تغییرات دبی در نیمه اول سال در سناریوی A1B کاملاً متفاوت از دو سناریوی دیگر است. به‌عبارت دیگر حداقل دبی در سناریوی A1B در ماه خرداد و در سناریوهای A2 و B1 در دی ماه پیش‌بینی شده است. علی‌رغم این‌که سناریوی A1B به‌عنوان سناریوی بدبینانه معرفی شده است. لذا نتایج پیش‌بینی آن منطقی‌تر از دو سناریوی دیگر است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳، معمولاً حداقل دبی جریان رودخانه در فصول گرم سال اتفاق خواهد افتاد. در ماه‌های سرد، به‌دلیل پایین بودن مقدار تبخیر-تعرق و کاهش دمای هوا، انتظار می‌رود مقدار جریان رودخانه نیز به‌مراتب بیش از سایر ماه‌ها باشد. بنابراین، می‌توان اظهار داشت نتایج پیش‌بینی سناریوی A1B به واقعیت نزدیک‌تر است. با این حال در مشهد Hooshmand and Khordadi (2014) سناریوی A1B را به‌عنوان بیش‌ترین باند عدم قطعیت در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی معرفی کردند. در مطالعه حاضر، با توجه به مقادیر مشاهده شده دبی و متغیرهای هواشناسی پیش‌بینی شده، خروجی مدل تحت سناریوی A1B منطقی به‌نظر می‌رسد. وجود تفاوت در مقادیر پیش‌بینی شده سناریوی تغییر اقلیم جریان رودخانه در ماه‌های مختلف دوره پیش‌بینی نشان از وجود عدم قطعیت‌های مختلف در پیش‌بینی دبی جریان تحت پدیده تغییر

پاییز و زمستان نسبت به دوره پایه، به ترتیب به میزان ۲۰/۶۰، ۱۷/۳۱ و ۹/۲۷ درصد روند افزایشی خواهد داشت. در مجموع، با توجه به تغییرات متغیرهای هواشناسی و مقادیر مشاهده شده جریان رودخانه، توصیف تغییرات جریان رودخانه در سناریوی A1B تقارب بیشتری با واقعیت داشت. این امر لزوم مدیریت صحیح جریان رودخانه به‌ویژه در فصل تابستان طی سال‌های ۲۰۸۰-۲۱۱۳ را می‌رساند.

سپاسگزاری

از حمایت‌های دانشگاه ملایر قدردانی می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش وجود ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

مریم بیات‌ورکشی: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج، مشاوره، نگارش نسخه اولیه مقاله؛ بهناز طاهری‌نیا: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج، مشاوره نگارش نسخه اولیه مقاله؛ کاظم حسینیان: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج؛ روزین فصیحی: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج.

منابع

- انصاری، حسین، خدیوی، مهدی، صالح‌نیا، نسرین، و بابائیان، ایمان (۱۳۹۳). بررسی عدم قطعیت مدل LARS تحت سناریوهای A2، A1B و B1 در پیش‌بینی بارش و دما (مطالعه موردی: ایستگاه سینوتیتیک مشهد). *آبیاری و زهکشی ایران*، ۸(۴)، ۶۶۴-۶۷۲. https://idj.iaid.ir/article_54812_743bba4c3ae0dec12b616078f4239ad7
- الوانکار، رضا، نظری، فرزانه، و فتاحی، ابراهیم (۱۳۹۵). تأثیر تغییر اقلیم بر شدت و دوره بازگشت خشکسالی‌های ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۳(۲)، ۹۹-۱۲۰. doi:10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99
- بیات‌ورکشی، مریم، و فصیحی، روزین (۱۳۹۷). تحلیل نتایج ریزمقیاس‌نمایی فراسنج‌های آب و هوایی برای آینده‌ی ایران. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۲۶، ۷۳-۸۷. doi:20.1001.1.23223197.1397.8.1.6.8
- زمانی، رضا، آخوندعلی، علی محمد، و روزبهانی، عباس (۱۳۹۷). بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب تحت سطوح احتمالاتی مختلف با رویکرد عدم قطعیت (مطالعه موردی: حوضه رود زرد). *علوم و مهندسی آبیاری*. doi:10.22055/jise.2018.17237.1250
- صراف، امیر پویا، و سلیمانی‌پور، مهسا (۱۳۹۹). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه آبریز لار با استفاده از مدل SWAT و مقایسه نتایج آن با شبکه‌های بیزین و مدل‌های هوشمند هیبریدی. *فصل‌نامه جغرافیای طبیعی*، ۱۲(۵۰)، ۶۱-۷۹. doi:20.1001.1.20085656.1399.13.50.4.2
- قضاوی، رضا، ندیمی، میثم، امیدوار، ابراهیم، و ایمانی، رسول (۱۳۹۷). بررسی تأثیر اقلیمی آینده بر تغییرات دبی رودخانه هروچای اردبیل با استفاده از مدل‌های SWAT و LARS-WG. *هیدروژئومورفولوژی*، ۴(۱۵)، ۵۵-۷۴. doi:20.1001.1.23833254.1397.5.15.4.0
- کوهستانی، شاپور، اسلامیان، سعید، و بسالت‌پور، علی اصغر (۱۳۹۶). تأثیر تغییر اقلیم بر درجه حرارت حوضه آبریز زاینده‌رود با استفاده از محاسبات نرم یادگیری ماشینی بیزین. *علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۳۱(۱)، ۲۰۳-۲۱۶. doi:/10.18869/acadpub.jstnar.21.1.203.216
- لکزائیان‌پور، غلام حسین، پورام‌الینی، محمد رضا، و المیر، مهسا (۱۳۹۵). ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر میزان رواناب رودخانه نازلوچای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. *جغرافیا و توسعه*، ۱۴(۴۲)، ۱۸۳-۱۹۸. https://gdij.usb.ac.ir/article_2350_b0d2f3f8ecb31d63b7f568effe4d6732
- مقبلی دامنه، مصیب، و ثنائی نژاد، سیدحسین (۱۳۹۷). برآورد تبخیرتعرق پتانسیل در منطقه فریمان با استفاده از روش پریستلی‌تیلور و تکنیک سنجش از دور. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۸(۳)، ۷۲-۸۴. doi:20.1001.1.26767082.1397.9.3.5.9
- مهدی نسب، مهدی (۱۳۹۹). بررسی سیل ۱۲ فروردین ماه حوضه آبریز کشکان در استان لرستان و ارائه راهکارها. *محیط زیست و توسعه فرابخشی*، ۶۷، ۱۳-۲۶. <https://civilica.com/doc/1472323>
- مؤمنه، صادق (۱۴۰۱). مقایسه عملکرد مدل‌های هوش مصنوعی با مدل IHACRES در مدل‌سازی جریان روزانه. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۳)، ۱-۱۶. doi:10.22098/mmws.2022.9972.1076
- میرزائیان، احسان، ملک احمدی، حسین، شاه‌محمدی، یادگار، و ابراهیم‌زاده، علی (۱۴۰۰). تأثیر موجک بر افزایش دقت مدل‌های تخمینی در مدل‌سازی بارش‌رواناب (مطالعه موردی: حوضه صوفی‌چای). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۳)، ۶۷-۷۹. doi:10.22098/mmws.2021.9335.1035
- نبی‌زاده، مرتضی، مسعودی، ابوالفضل، و دهقانی، امیر احمد (۱۳۹۱). تخمین هوشمند دبی روزانه با بهره‌گیری از سامانه استنباط فازی-عصبی تطبیقی. *مجله مدیریت آب و آبیاری*، ۲(۱)، ۶۹-۸۰. doi:10.22059/jwim.2012.25093

- سد اکباتان (استان همدان). *اكوهیدرولوژی*، ۳(۳)، ۱۸۱-۱۹۴. doi: 10.22059/ije.2016.59.194
- هوشمند، دل‌آرام، و خردادی، محمد جواد (۱۳۹۳). بررسی عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار در برآورد پارامترهای اقلیمی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۳(۳)، ۷۷-۹۲. doi: 10.22067/geo.v3i3.29927
- References**
- Abbasi, D., Ashrafzadeh A., Asheghi R., Merufinia E. (2014). A survey on the performance of fuzzy-neural network at predicting the average monthly discharge of Catchment Basin areas having snow regimes. *Journal Civil Engineering and Urbanism*, 4(4), 480-484. <http://www.ojceu.ir/main/>
- Alvankar, R., Nazari, F., & Fattah, E. (2016). The intensity and return periods of drought under future climate change scenarios in Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 3(2), 99-120. doi:10.22055/jise.2016.12010. [In Persian]
- Ansari, H., Khadivi, M., & Babaeian, I. (2014). Evaluation of uncertainty LARS model under scenarios A1B, A2 and B1 in precipitation and temperature forecast (Case Study: Mashhad Synoptic Stations). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 8(4), 664-672. https://idj.iaid.ir/article_54812_743bba4c3ae0dec12b616078f4239ad7. [In Persian]
- Bahri, M., & Zahedi, E. (2017). Investigation of climate change impacts on streamflow regime of a River Arazkooseh River Basin. *Scientific Journals Management System*, 42, 109-132. doi:10.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1
- Bayatvarkeshi, M., Fashihi, R. (1398). Analyzing the results of micro-scale meteorological measurements for the future of Iran. *Geography and environmental sustainability*. 26, 73-87. doi:10.1001.1.23223197.1397.8.1.6.8. [In Persian]
- Booij, M.J., Tollenaar, D., Van Beek, E., & Kwadijk, J.C. (2011). Simulating impacts of climate change on River discharges in the Nile basin. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36(13), 696-709. doi:10.1016/j.pce.2011.07.042
- Ghazavi, R., Nadimi, M., Omidhar, A., & Imani, R. (2018). Investigating the impact of future climate changes on the changes in the discharge of Haruchai River in Ardabil using SWAT and LARS-WG models. *Hydrogeomorphology*, 4(15), 55-74. <https://sid.ir/paper/388740/en>. [In Persian]
- Hooshmand, D., & Khordadi, M.J. (2014). Uncertainty assessment of AOGCMs and emission scenarios in climatic parameters estimation (Case Study in Mashhad Synoptic Station). *Geography and Environmental Hazards*, 11, 77-93. doi:0.22067/geo.v3i3.29927. [In Persian]
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007) <https://www.ipcc.ch/data/>
- Kouhestani, S., Abedi Koupai, J., & Besalatpour, A. (2017). Projection of climate change impacts on the Zayandeh-Rud River Basin's temperature by using a Bayesian Soft Computing Technique. *Water and Soil Science*, 21(1), 203-216. doi:10.18869/acadpub.jstnar.21.1.203. [In Persian]
- Lakzaianpour, G.H., Mohamadrezapour, O., & Malmir, M. (2016). Evaluating the effects of climatic changes on runoff of Nazloochaei River in Uremia Lake Catchment area. *Geography and Development*, 42, 183-198. doi: 10.22111/GDIJ.2016.2350. [In Persian]
- Lalozaee, A., Pahlavanrabi, A., Bahreini, F., Ebrahimi, H., & lezadi, H. (2013). Efficiency comparison of IHACRES model and artificial neural networks (ANN) in rainfall-runoff process simulation in Kameh Watershed (A Case Study in Khorasan Province, NE Iran). *International Journal of Agriculture: Research and Review*, 3(4), 900-907. doi:10.1016/j.pce.2019.05.002
- Mehdinasab, M. (2020). Survey of 1 april flood in Kashkan Catchment in Lorestan Province and presenting solutions. *Scientific Quarterly Journal of Environment and Transsectoral Development*, 67, 13-26. <https://civilica.com/doc/1472323>. [In Persian]
- Mirzania, E., Malek Ahmadi, H., Shahmohammadi, Y., & Ebrahimzadeh, A. (2021). Impact of wavelet on accuracy of estimated models in rainfall-runoff modeling (Case study: Sufi Chay). *Water and Soil Management and Modeling*, 1(3), 67-79. doi:10.22098/mmws.2021.9335.1035. [In Persian]
- Moazami Goudarzi, F., Sarraf, A.P., & Ahmadi, H. (2020). Prediction of runoff within Maharlu Basin for future 60 years using RCP scenarios. *Arabian Journal Of Geosciences*, 13, 605 pages. doi: 10.1007/s12517-020-05634-x
- Momeneh, S. (2022). Comparing the performance of artificial intelligence models with the IHACRES model in modeling the flow of the Gamasiab river catchment. *Water and Soil Modeling and Management Journal*, 2(3), 1-

16. doi:10.22098/mmws.2022.9972.1076. [In Persian]
- Moqbeli Damaneh, M., & Sanainejad, H. (2016). Evaporation-transpiration potential report in Freeman region using Priestley-Taylor method and remote sensing technique. *Remote Sensing and GIS for Natural Resources*, 9(3), 72-84. doi:20.1001.1.26767082.1397.9.3.5.9. [In Persian]
- Nabizadeh, M., Mosaedi, A., & Dehghani, A.A. (2012). Intelligent estimation of stream flow by adaptive neuro-fuzzy Inference System. *Water and Irrigation Management*, 6(2), 69-80. doi:10.22059/jwim.2012.25093. [In Persian]
- Najafian, S., Yazdani, M.R., Azari, A., & Rahimi, M. (2017). Climate change impacts on the maximum daily discharge under conditions of uncertainty (Dinavar basin in Kermanshah). *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(1), 139-156. doi:10.22069/jwfs.2017.10715.2513. [In Persian]
- Nazaripouya, H., Kardavany, P., & Farajy Rad, A. (2016). Assessing climate change impacts on hydro-climatic parameters in the Dam Basin of Ekbatan, Hamedan. *Eco Hydrology*, 3(2), 181-194. doi:10.22059/ije.2016.59656. [In Persian]
- Saraf, A.P., & Soleimanipour, M. (2019). Assessing the effects of climate change on the water resources of Lar catchment using SWAT model and comparing its results with Bayesian networks and hybrid intelligent models. *Natural Geography*, 13(50), 61-79. doi:20.1001.1.20085656.1399.13.50.4.2. [In Persian]
- Zamani, R., Akhund Ali, A. M., & roozbahani, A. (2019). Assessment of climate change impacts on runoff under different level of probabilistic with uncertainty approach (Case Study: Zard River Basin). *Irrigation Science and Engineering Journal*. doi:10.22055/jise.2018.17237.1250 [In Persian]
- Zhu, Q., Jiang, H., Peng, C., Liu, J., Fang, X., Wei, X., Liu, S., & Zhou, G. (2012). Effects of future climate change, CO₂ enrichment and vegetation structure variation on hydrological processes in China. *Global and Planetary Change*, 80, 123-135. doi:10.1016/j.gloplacha.2011.10.010