

Estimating the contribution of climate change and human activities on river discharge variations (Case Study: GharehSoo River)

Hajar Norouzzadeh¹ , Mahsa Hasanpour Kashani^{2*} , Ali Rasoulzadeh³ 

¹ M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

² Assistant Professor, Department of Water Engineering, Water Management Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

³ Professor, Department of Water Engineering, Water Management Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Extended Abstract

Introduction

Investigating runoff changes in a watershed can help to understand better understand the factors affecting it. Climate changes and human activities in recent years have caused a decrease in runoff in different parts of the globe and have created social and economic problems. In general, the influencing factors on runoff changes can be physical factors (vegetation cover, initial soil moisture, land topography, etc.), climatic factors (precipitation amount, air temperature, earth warming, etc.), and changes caused by human activities (building a dam, building a reservoir, expanding urbanization, illegal withdrawals, etc.). The increase in greenhouse gases and climate change has caused changes in the hydrological cycle and the amount of runoff in watersheds and has increased the frequency of climate extreme events. Also, observations in most regions around the world show, that the hydrological cycle has also been affected by human activities. Human activities, such as agricultural development, urban development, dam construction, and exploitation of reservoirs, have direct and indirect effects on the hydrological cycle, and as a result, the temporal-spatial distribution of water resources has changed. The primary purpose of this study is to determine the contribution of each of these factors to the discharge changes of the GharehSoo River, one of the most important rivers of Ardabil province, using different classical and intelligent methods.

Materials and Methods

In this research, some classical and intelligent methods namely, linear regression, bivariate linear regression, double mass curve, and artificial neural network methods are used to determine the contribution of climate changes and human activities on the discharge change of GharehSoo River. First, by using Pettitt's test, the change point of the discharge time series is detected and divided into two natural and changes periods. Then, the contribution of each of these factors is determined using the mentioned methods.

Results and Discussion

In general, it can be said that the amount of runoff calculation error is almost the same for all the applied methods, and therefore the methods have relatively similar performance. However, in Samyan station, the two-variable linear regression model shows less error and the single-variable linear regression model shows more error than the other methods. For the Dost-Beiglo station, the two-variable linear regression model shows less error and the artificial neural network model shows more error than the other methods. The reason for the not so small error of the artificial neural network in predicting the runoff can be related to the error in the data used and the relatively short length of the data. In general, the results of different methods in both stations showed that based on the calculation error, the bivariate linear regression method provided better results in modeling the river discharge in both hydrometric stations. The results of this research showed that for the Samyan station, the contribution of the climate change using the linear regression, bivariate regression, double mass curve and artificial neural network is 6.45%, 14.42%, 14.86% and 8.61%; and the contribution of human activities is

93.55%, 85.58%, 85.14% and 91.38%, respectively. For the Dost-Beiglo station, the contribution of climate change for the mentioned methods is 2.1%, 3%, 27% and 0.14%; and the contribution of human activities is 97.9%, 97%, 73% and 99.86% respectively. By comparing the results of Samyan and Dost-Beiglo stations, it can be concluded that the effect of climate change on the discharge of Gharehsoo River at the Samyan station (11.08%) is more than the Dost-Beiglo station (8.06%) and on the contrary, the impact of human activities on the river flow at the Dost-Beiglo station (91.94%) is more than the Samyan station (88.91%), which can be due to the simultaneous effect of the construction of two dams including Yamchi and Sabalan in spstream of the Dost-Beiglo station. Also, as expected, the contribution of climate change (less than 27%) is less than the contribution of human activities (more than 73%) in reducing the flows of Gharehsoo River in both studied stations.

Conclusion

In this research, different hydrometeorological data such as precipitation, evaporation and transpiration and monthly discharge from the Samyan and Dost Beiglo stations were used for the statistical period of 1982-2019. First, by using Pettitt's test, it was determined that the river flow rate has changed abruptly since 2016. Therefore, the entire statistical period was divided into two natural and change periods, and then, using the mentioned methods, the contribution of human activities and the contribution of climate change were determined.

Two climatic factors, i.e. decrease in rainfall and increase in evapotranspiration in climate change and carrying out activities such as the construction of Yamchi and Sabalan Dams, development of orchards and agricultural lands as human activities have been effective in reducing the flow of the Gharehsoo River. However, human activities have had a greater impact (over 73 %) than the climate change factor (less than 27 %) in reducing the flow of this river.

Finally, in future studies, it is suggested to use other intelligent and hydrological models of runoff estimation for rivers in the country and to evaluate their efficiency in determining the contribution of climatic and human effects on river flow. Also, other climate variables such as temperature, wind, etc. should be used in determining the contribution of climate change effects.

Keywords: Climate changes, Human activities, Pettitt's test, River discharge

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: m.hkashani@uma.ac.ir

Citation: Norouzzadeh, H., Hasanpour Kashani, M., & Rasoulzadeh, A. (2023). Estimating the contribution of climate change and human activities on streamflow variations (Case Study: GharehSoo River). *Water and Soil Modeling and Management*, 3(4), 168-180.

DOI: 10.22098/mmws.2023.12255.1219

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.4.18.2

Received: 01 February 2023, Received in revised form: 13 February 2023, Accepted: 13 February 2023,

Published online: 13 February 2023

Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 4, pp. 168-180

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





برآورد سهم تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی در تغییرات دبی رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه قره‌سو)

هاجر نوروززاده^۱، مهسا حسنیورکاشانی^{۲*}، علی رسول‌زاده^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
^۲ استادیار، گروه مهندسی آب، پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
^۳ استاد، گروه مهندسی آب، پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی از جمله عوامل مهمی هستند که بر جریان رودخانه‌ها تأثیر می‌گذارند و تعیین سهم این عوامل به منظور مدیریت بهتر منابع آب بسیار حائز اهمیت است. هدف اصلی این مطالعه، تعیین سهم هر کدام از این عوامل بر تغییرات دبی رودخانه قره‌سو، یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان اردبیل با استفاده از روش‌های مختلف کلاسیک و هوشمند است. در این مطالعه، از روش‌های رگرسیون خطی، رگرسیون خطی دومتغیره، منحنی جرم مضاعف و شبکه عصبی مصنوعی در دو ایستگاه هیدرومتری سامیان و دوست بیگلو استفاده شد. ابتدا با استفاده از آزمون پتیت نقطه معناداری تغییر رواناب تشخیص و دوره آماری رواناب رودخانه (۱۳۶۱-۱۳۹۸) به دو دوره طبیعی و تغییرات تقسیم‌بندی شد. سپس با استفاده از روش‌های مذکور سهم هر کدام از این عوامل تعیین شد. نتایج نشان داد که در ایستگاه هیدرومتری سامیان، سهم تغییرات اقلیمی حاصل از روش رگرسیون خطی، رگرسیون دومتغیره، منحنی جرم مضاعف و شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب برابر ۶/۴۵، ۱۴/۴۲، ۱۴/۸۶ و ۸/۶۱ درصد و سهم فعالیت‌های انسانی روش‌های مذکور به ترتیب برابر ۹۳/۵۵، ۸۵/۵۸، ۸۵/۱۴ و ۹۱/۳۸ درصد است. در ایستگاه دوست بیگلو نیز سهم تغییرات اقلیمی به ترتیب برابر ۲/۱، ۳، ۲۷ و ۰/۱۴ درصد و سهم فعالیت‌های انسانی برابر ۹۷/۹، ۹۷، ۷۳ و ۹۹/۸۶ درصد برآورد شد. با توجه به نتایج نسبتاً مشابه حاصل از روش‌ها در هر دو ایستگاه، تأثیر فعالیت‌های انسانی (بیش‌تر از ۷۳ درصد) بر رواناب حوضه به مراتب بیش‌تر از تغییرات اقلیمی (کم‌تر از ۲۷ درصد) است. بنابراین، توجه به فعالیت‌های انسانی انجام شده در سطح حوضه در حل و مدیریت مشکلات آبی از اهمیت بالایی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: آزمون پتیت، تغییرات اقلیمی، رگرسیون خطی، فعالیت‌های انسانی

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.hkashani@uma.ac.ir

استاد: نوروززاده، هاجر، حسنیورکاشانی، مهسا، و رسول‌زاده، علی (۱۴۰۲). برآورد سهم تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی در تغییرات دبی رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه قره‌سو). *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۴)، ۱۶۸-۱۸۰.

DOI: 10.22098/mmws.2023.12255.1219

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.4.18.2

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴



مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۴، صفحه ۱۶۸ تا ۱۸۰

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

۱- مقدمه

بررسی تغییرات رواناب در یک حوضه آبریز می‌تواند به شناخت بهتر عوامل مؤثر بر آن کمک شایانی نماید. تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در سال‌های اخیر موجب کاهش میزان رواناب‌ها در نقاط مختلف کره زمین شده و مشکلات اجتماعی و اقتصادی به‌وجود آورده است (Wang et al., 2012). با توجه به افزایش مخاطرات کمی و کیفی منابع آب، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی به‌منظور برآورد رواناب نیز افزایش یافته و استفاده از آن‌ها را به یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر تبدیل کرده است (Shafiei and Gharari, 2017). به‌طور کلی، عوامل تأثیرگذار بر تغییرات رواناب را می‌توان به‌صورت عوامل فیزیکی (پوشش گیاهی، رطوبت اولیه خاک، توپوگرافی زمین و غیره)، اقلیمی (مقدار بارش، دمای هوا، گرم شدن زمین و غیره) و تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی (احداث سد، ایجاد مخزن، گسترش شهرنشینی، برداشت بی‌رویه و غیره) تقسیم‌بندی نمود (Yao et al., 2015). افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی موجب تغییر در چرخه هیدرولوژیک و مقدار رواناب در حوضه‌های آبریز شده و تعداد رویدادهای حدی اقلیمی را افزایش داده است (Sorokin and Mondello, 2017). اما مشاهدات در بیش‌تر مناطق در سراسر جهان نشان می‌دهد چرخه هیدرولوژیک علاوه‌بر تغییر اقلیم، تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی نیز قرار گرفته است (Huntington, 2006). فعالیت‌های انسانی مثل توسعه کشاورزی، توسعه شهرسازی، سدسازی و بهره‌برداری از مخازن، اثرات مستقیم و غیرمستقیمی بر چرخه هیدرولوژیک داشته و در نتیجه آن توزیع زمانی-مکانی منابع آب دچار تغییر شده است (Milly et al., 2005).

مطالعات متعددی در رابطه با بررسی تغییرات جریان رودخانه‌ها توسط پژوهش‌گران مختلف صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، Huo et al. (2008) تأثیر تغییرات آب و هوا و فعالیت‌های انسانی بر جریان یک‌ساله حوضه رودخانه Shiyang واقع در شمال غرب چین را ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که علت اصلی کاهش جریان در بالادست حوضه در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ تغییرات آب و هوایی است. درحالی‌که فعالیت‌های انسانی باعث کاهش جریان در پایین‌دست رودخانه در همان دوره بوده است. در ادامه، Liu et al. (2010) اثرات تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی بر سطح رواناب حوضه رودخانه Dongjiang در چین را با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی بررسی کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تغییرات آب و هوایی مانند تغییرات بارندگی و تبخیر و فعالیت‌های انسانی مانند عملیات ساخت مخزن هر کدام حدود ۵۰ درصد از تغییرات رواناب را تشکیل می‌دهد. در پژوهشی، Ye

et al. (2013) اثرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر روی رواناب حوضه دریاچه Poyang Lake را در چین بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۷ بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تغییر اقلیم موجب افزایش رواناب حوضه به‌میزان ۱۰۵ تا ۲۱۲/۱ درصد نسبت به دهه ۱۹۶۰ شده است. همچنین، سهم فعالیت‌های انسانی در دهه‌های دیگر در کاهش رواناب حدود ۵ تا ۱۱۲/۱ درصد بوده است. در پژوهش دیگری، Gao et al. (2016) با استفاده از روش الاستیسیته پاسخ هیدرولوژیکی حوضه‌های مختلف Loess Plateau را به تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بین سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۹ تعیین کردند. نتایج آن‌ها نشان داد در ۱۰ حوضه از ۱۵ حوضه مورد بررسی، سهم فعالیت‌های انسانی بیش از ۶۰ درصد است. در مطالعه‌ای، Sane et al. (2017) اثر تغییرات اقلیمی و انسانی را بر آب‌دهی رودخانه راوند با استفاده از مدل Van Loon بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که علی‌رغم این‌که در فاصله بین سال‌های آبی ۱۳۷۹-۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰-۱۳۹۱ کاهش نزدیک به ۱۲ درصد در مقدار بارش ماهانه نسبت به دوره بلندمدت ۱۳۵۲-۱۳۵۱ تا ۱۳۷۸-۱۳۷۹ اتفاق افتاده، ولی هم‌چنان اکوسیستم حداقل‌های زیست محیطی خود را برآورده کرده و کم‌تر با پدیده خشکسالی مواجه بوده است. علت عمده آن هم عدم دسترسی به آب و فعالیت‌های گسترده انسانی است. به‌طوری‌که در سال‌های پرآبی هم کاهش محسوس دبی مشاهده می‌شود. از سایر پژوهش‌ها، Malekani and Abbasi (2019) برای بررسی و برآورد میزان تغییرات رواناب در اثر عوامل اقلیمی و انسانی در حوضه سجا سرود واقع در استان زنجان از روش رگرسیون خطی و جهت شبیه‌سازی فرآیند هیدرولوژیکی از ابزار آب و خاک (SWAT) استفاده کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که سهم عوامل اقلیمی و عوامل انسانی در کاهش رواناب به‌ترتیب ۳۳ درصد و ۶۷ درصد است. در ادامه، Kanani et al. (2020) نقش فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی را در حوضه لیتوان که از زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه است، مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در دهه ۱۹۹۰ تغییرات سریع در مقدار رواناب این رودخانه رخ داده است. همچنین، ایشان اعلام کردند عوامل انسانی موجب کاهش بین ۶۵ تا ۸۴ درصدی میزان رواناب شده است.

در پژوهشی، Xue et al. (2021) اثرات تغییرات اقلیم و فعالیت‌های انسانی را بر روی رودخانه Shiyang در شمال غربی چین ارزیابی کردند. در این مطالعه برای تقسیم دوره پایه و تغییر در طول سال‌های ۱۹۶۰-۲۰۱۸ از آزمون من‌کنندال دنباله‌ای و روش منحنی جرم مضاعف برای تشخیص تغییرات ناگهانی استفاده شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که سهم فعالیت‌های انسانی در کاهش رواناب ۸۸/۷۲ درصد و سهم تغییرات آب و

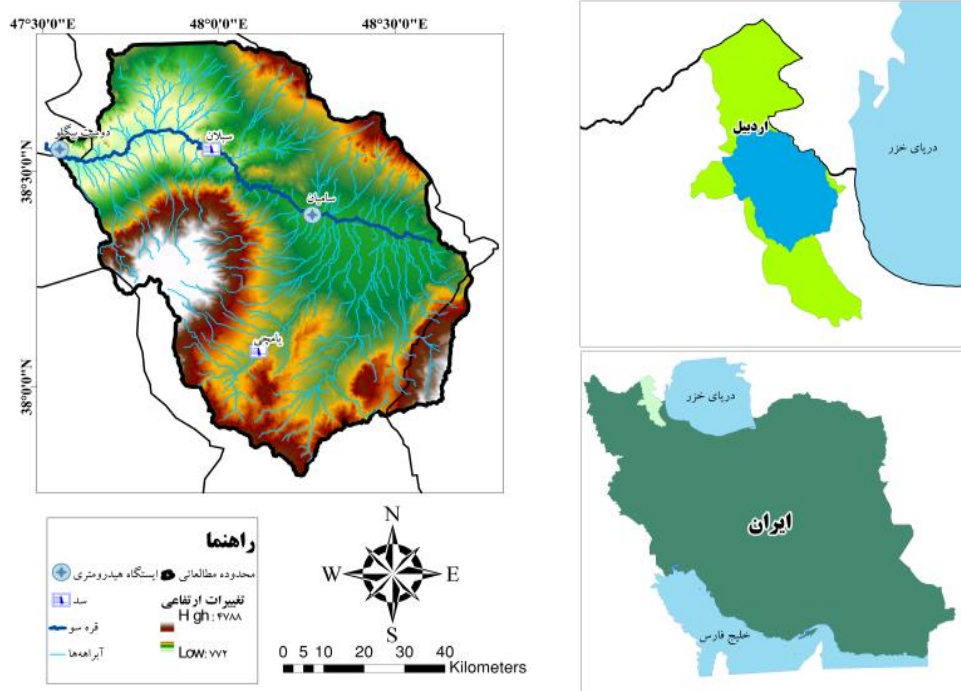
هدف از این مطالعه نیز، تعیین سهم هر کدام از عوامل اقلیمی و انسانی بر تغییرات دبی رودخانه قره‌سو، یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان اردبیل با استفاده از برخی روش‌های کلاسیک و هوشمند در دو ایستگاه هیدرومتری دوست بیگلو و سامیان است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه قره‌سو در مختصات جغرافیایی $32^{\circ} 47'$ تا $31^{\circ} 48'$ طول شرقی و $47^{\circ} 37'$ تا $48^{\circ} 52'$ عرض شمالی و با مساحتی بالغ بر 4062 کیلومتر مربع در استان اردبیل واقع شده است. این رودخانه از پیوند رودهای پرآب متعدد دیگر تشکیل شده و به رود مرزی ارس می‌ریزد. طول آبراهه اصلی 285 کیلومتر و با آبدهی سالانه 554 میلیون مترمکعب از پرآب‌ترین رودخانه داخلی استان اردبیل به‌شمار می‌ود. در این مطالعه از داده‌های بارش، دبی و تبخیر در مقیاس ماهانه مربوط به ایستگاه سامیان و ایستگاه دوست بیگلو طی سال‌های 1361 تا 1398 مورد استفاده شد. این داده‌ها از شرکت آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی استان اردبیل اخذ شده است. در شکل ۱ موقعیت رودخانه قره‌سو و در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده ارائه شده است.

هوایی تنها $11/28$ درصد بود که تأثیر بیش‌تر فعالیت‌های انسانی بر رواناب نشان داده که آبیاری کشاورزی عامل غالب کاهش رواناب است که این مطالعه می‌تواند اطلاعات دقیقی درمورد منابع آب و مبنای ملی برای توسعه و بهره‌برداری از منابع آب در آینده باشد. همچنین، Norouzzadeh et al. (2022) با استفاده از برخی روش‌های الاستیسیته محور در ایستگاه سامیان رودخانه قره‌سو به این نتیجه رسیدند که تغییرات اقلیمی سهم کم‌تری (بین 8 تا 12 درصد) نسبت به تغییرات انسانی در کاهش دبی رواناب رودخانه مذکور دارند. در نهایت، Sheikh et al. (2023) از رویکرد تحلیل حساسیت هیدرولوژیکی مبتنی بر فرضیه بودیکو به‌منظور تفکیک اثر تغییر اقلیم و مداخلات انسانی در کاهش آبدهی رودخانه جله‌رود در محل ایستگاه‌های هیدرومتری سیمین‌دشت و دلچای (دوره آماری 1981 تا 2017) استفاده کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که میزان اثر تغییر اقلیم در دبی ایستگاه‌های سیمین‌دشت و دلچای، طبق روش فو به‌ترتیب کم‌تر از یک درصد و 53 درصد و طبق روش ژانگ به‌ترتیب $6-93$ و 93 درصد است. درحالی‌که سهم مداخلات انسانی در تغییر دبی ایستگاه‌های سیمین‌دشت و دلچای، طبق روش فو به‌ترتیب $81-153$ و $94-193$ درصد و طبق روش ژانگ $94-193$ درصد است و در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه، میزان تأثیر مداخلات انسانی بسیار بیش‌تر از تغییر اقلیم است.



شکل ۱- موقعیت رودخانه قره‌سو و ایستگاه‌های آن در استان اردبیل و ایران

Figure 1- The location of the Gharehsoo River and its stations in the Ardabil Province and Iran

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری، باران‌سنجی و تبخیرسنجی مورد مطالعه

Table 1- Characteristic of studied hydrometric, rain gauge, and evapotranspiration stations

محدوده مطالعاتی	نام رودخانه	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
اردبیل	قره سو	سامیان	هیدرومتری	48° 14' 48"	38° 22' 49"
مشگین شهر	قره سو	دوست بیگلر	هیدرومتری	47° 32' 02"	38° 32' 57"
اردبیل	قره سو	سامیان	بارانسنجی	48° 14' 47"	38° 22' 25"
مشگین شهر	قره سو	دوست بیگلر	بارانسنجی	47° 32' 06"	38° 32' 55"
اردبیل	قره سو	سامیان	تبخیرسنجی	48° 14' 48"	38° 22' 49"
مشگین شهر	قره سو	دوست بیگلر	تبخیرسنجی	47° 32' 02"	38° 32' 57"

۲-۲- آزمون من-کندال^۱

این آزمون ابتدا توسط Mann (1945) سپس توسط Kendall (1975) تکامل یافته است. در این پژوهش، از آزمون مذکور برای بررسی روند تغییرات بارش، تبخیر-تعرق و جریان رودخانه استفاده شد. آماره این آزمون از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (1)$$

در رابطه بالا، n تعداد داده‌ها، S آماره آزمون من-کندال و $\text{sgn}(x_i - x_j)$ تابع علامت است. در ادامه، میانگین $E(S)$ و واریانس $\text{var}(S)$ به ترتیب از طریق رابطه (۲) و (۳) به دست آمد:

$$E(S) = 0 \quad (2)$$

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+1) - \sum_{p=1}^n tp(p-1)(2p+5)}{18} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، $T(p)$ تعداد دنباله‌ها برای P امین مقدار و P تعداد مقادیر دنباله‌هاست. آماره استاندارد شده آزمون Z با استفاد از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

در رابطه مذکور، مقدار مثبت Z روند افزایشی و مقدار منفی Z روند کاهشی سری زمانی را نشان می‌دهد. همچنین، اگر مقدار P -value بیش‌تر از ۰/۰۵ باشد، روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار تلقی می‌شود.

۳-۲- آزمون پتیت^۲

در مواقعی که زمان دقیق تغییر یک سری زمانی مشخص نباشد برای تعیین نقطه تغییر و تمایز بین دوره پایه و تغییر جریان رودخانه از روش ناپارامتری پتیت که توسط Pettitt (1979) ارائه شده،

استفاده می‌شود. برای تعیین این نقطه تغییر ابتدا باید پارامتر K_t محاسبه شود (رابطه‌های (۵)، (۶) و (۷)) (Mwangi, 2016).

$$K_t = \max|U_{t,T}| \quad , \quad 1 \leq t \leq T \quad (5)$$

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (6)$$

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

در روابط بالا، $U_{t,T}$ معادل آماره من-ویتنی برای آزمون است، T تعداد کل مشاهدات، $\text{sgn}(x_i - x_j)$ تابع علامت بوده و x مقدار سری مشاهداتی است. نقطه تغییر در سری زمانی معادل مقدار بیشینه آماره من-ویتنی است که K_t نشان داده می‌شود و احتمال معناداری K_t در سطح ۵ درصد برآورد می‌شود (رابطه (۸)).

$$P \cong 2 \exp\left(\frac{-6K_t^2}{T^3 + T^2}\right) \quad (8)$$

اگر مقدار P کم‌تر از ۰/۰۵ (سطح معناداری) باشد آن نقطه به‌عنوان نقطه تغییر معنادار خواهد بود.

۴-۲- محاسبه میزان تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر میزان رواناب

برای بررسی تغییرات رواناب می‌توان طول دوره آماری را به دو دوره پایه و دوره تغییرات تقسیم‌بندی نمود. به‌عبارت دیگر، $\Delta \bar{Q}_{\text{total}}$ را می‌توان به‌صورت رابطه (۹) بیان کرد:

$$\Delta \bar{Q}_{\text{total}} = \bar{Q}_{\text{variation}} - \bar{Q}_{\text{baseline}} \quad (9)$$

در این رابطه، $\Delta \bar{Q}_{\text{total}}$ مجموع تغییرات در میانگین سالانه رواناب و $\bar{Q}_{\text{baseline}}$ و $\bar{Q}_{\text{variation}}$ به‌ترتیب میانگین سالانه رواناب در دوره پایه و دوره تغییرات است. همان‌گونه که در بالا نیز اشاره شده می‌توان تغییرات در میزان رواناب را به‌صورت ترکیبی از تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی و درصد تغییرات هر یک را با روابط زیر نشان داد (Wu et al., 2017):

$$\Delta \bar{Q}_{\text{total}} = \Delta \bar{Q}_{\text{climate}} + \Delta \bar{Q}_{\text{human}} \quad (10)$$

$$\mu_{\text{climate}} = \frac{\Delta \bar{Q}_{\text{climate}}}{\Delta \bar{Q}_{\text{total}}} \times 100 \quad (11)$$

¹ Mann-Kendall² Pettitt

رگرسیون خطی سهم تغییرات ناشی از اثرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی به‌دست می‌آید.

۲-۴-۳- روش منحنی جرم مضاعف

روش منحنی جرم مضاعف که روشی تقریباً ساده و عملی است در بررسی روند و یکنواختی داده‌های طولانی مدت هواشناسی مورد استفاده می‌گیرد (Gao et al., 2016). این روش اولین بار در سال ۱۹۳۷ برای بررسی یکنواختی بارش در حوضه Susquehanna در ایالات متحده مورد استفاده قرار گرفت و بعدها توسط Searcy et al. (1960) به‌صورت کامل ارائه شد. این روش بر این اصل استوار است که در یک نمودار اگر دو پارامتر کمی به‌صورت تجمعی در یک دوره آماری مشترک ترسیم شوند، نتیجه یک خط مستقیم خواهد شد و شیب خط ایجاد شده نمایانگر ضریب تناسب بین دو پارامتر است (Searcy et al., 1960). هر گونه شکست در خط ایجاد شده می‌تواند ناشی از دو عامل باشد؛ اول این که تغییر در تناسب بین دو پارامتر رخ داده است که این موضوع می‌تواند ناشی از هر گونه اثری هم‌چون اثر تغییر اقلیم و یا فعالیت انسانی باشد. دوم این که به‌طور کلی بین دو پارامتر یک تناسب ثابت وجود ندارد. بر اساس توضیحات ارائه شده می‌توان ارتباط بین رواناب تجمعی و بارش تجمعی در دوره پایه را به‌صورت زیر بیان کرد:

$$\sum_{i=1}^t Q_i^{\text{baseline}} = c \sum_{i=1}^t P_i^{\text{baseline}} + d \quad (17)$$

$= 1, 2, 3, \dots, n$

در این رابطه، ضریب c نسبت تغییرات رواناب تجمعی به بارش تجمعی، ضریب d اصلاح (عرض از مبدأ) و n طول سری سالانه است. شماره i نیز برای تجمعی شدن پارامترهای بارش و رواناب به‌کار برده شده است. به‌عبارت دیگر اگر بین سری زمانی تجمعی بارش و رواناب یک رابطه رگرسیونی برقرار شود، ضریب c شیب خط رگرسیون و d عرض از مبدأ آن است. در ادامه به‌صورت مشابه از رابطه رگرسیون می‌توان رواناب تجمعی بازسازی شده در دوره تغییرات را برآورد کرد (رابطه (۱۸)):

$$\sum_{i=1}^t Q_i^{\text{reconstruct}} = c \sum_{i=1}^t P_i^{\text{variation}} + d \quad (18)$$

پس از برآورد رواناب تجمعی بازسازی شده با استفاده از رابطه (۱۸) می‌توان بر اساس روابطه‌های (۱۴) و (۱۵) سهم اثرات اقلیمی و انسانی را همانند روش رگرسیون به‌دست آورد.

۲-۴-۴- شبکه عصبی مصنوعی

امروزه شبکه عصبی مصنوعی در مطالعات هیدرولوژی و مدیریت منابع آب کاربرد وسیعی دارد (Nourani et al., 2009).

$$\mu_{\text{human}} = \frac{\Delta \bar{Q}_{\text{human}}}{\Delta \bar{Q}_{\text{total}}} \times 100 \quad (12)$$

در آن، $\Delta \bar{Q}_{\text{human}}$ و $\Delta \bar{Q}_{\text{climate}}$ به‌ترتیب تغییرات در میانگین دبی سالانه به‌علت اثر تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی می‌باشند. μ_{human} و μ_{climate} نیز به‌ترتیب درصد سهم عوامل اقلیمی و انسانی بر تغییرات دبی در نظر گرفته شده‌اند. با استفاده از روش‌های مختلف مثل رگرسیون خطی، رگرسیون خطی دومتغیره، جرم مضاعف و شبکه عصبی مصنوعی می‌توان سهم هر یک از عوامل اقلیمی و انسانی بر تغییرات رواناب را مشخص نمود.

۲-۴-۱- روش رگرسیون خطی

رگرسیون خطی یکی از ساده‌ترین روش‌ها برای تعیین رابطه بین بارندگی و رواناب است. از این روش می‌توان برای برآورد رواناب در هر دو دوره پایه و تغییرات استفاده کرد. به‌طور کلی رابطه بین میانگین سالانه رواناب مشاهداتی (Q_{baseline}) و بارندگی سالانه (P_{baseline}) را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود:

$$Q_{\text{baseline}} = aP_{\text{baseline}} + b \quad (13)$$

در آن، a و b به‌ترتیب ضریب تغییرات در رواناب نسبت به تغییرات بارش و ضریب اصلاح (عرض از مبدأ) است. با استفاده از رابطه بالا می‌توان مقدار رواناب بازسازی شده در دوره تغییرات ($Q_{\text{reconstruct}}$) را با استفاده از مقادیر بارش در دوره تغییرات تعیین نمود. پس از برآورد میزان تغییرات رواناب با استفاده از رابطه (۶) می‌توان سهم تغییرات ناشی از اثرات اقلیم و فعالیت‌های انسانی را به‌صورت رابطه (۱۴) تعیین کرد:

$$\Delta \bar{Q}_{\text{human}} = \bar{Q}_{\text{variation}} - \bar{Q}_{\text{reconstruct}} \quad (14)$$

در رابطه فوق، $\bar{Q}_{\text{reconstruct}}$ و $\bar{Q}_{\text{variation}}$ به‌ترتیب میانگین رواناب برآورد شده با روش رگرسیون و رواناب مشاهداتی در طول دوره تغییرات است. سهم اثرات اقلیمی نیز بر رواناب به‌صورت زیر تعیین می‌شود (Wu et al., 2017):

$$\Delta \bar{Q}_{\text{climate}} = \Delta \bar{Q}_{\text{total}} - \Delta \bar{Q}_{\text{human}} \quad (15)$$

۲-۴-۲- رگرسیون خطی دو متغیره

از آنجایی که بارش و تبخیر-تعرق به‌عنوان دو متغیر اقلیمی در نظر گرفته شده است یک بار دیگر رگرسیون مورد نظر به‌صورت رگرسیون دو متغیره در نظر گرفته شد. در این حالت رابطه بین رواناب با بارش و تبخیر-تعرق به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$Q = AP + BE + C \quad (16)$$

در رابطه بالا، P بارش دوره پایه، E تبخیر-تعرق دوره پایه و A ، B و C ضریب ثابت است. با جای‌گذاری مقدار بارش و تبخیر-تعرق مربوط به دوره تغییرات در این رابطه، دبی بازسازی شده دوره تغییرات ($Q_{\text{reconstruct}}$) به‌دست می‌آید. سپس همانند روش

Pour Saifullahi et al. (2017) و and Ghorbani (2015) مطابقت دارد. به‌طور کلی، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که تأثیر فعالیت‌های انسانی بیش‌تر از تغییر اقلیم در هر دو ایستگاه باشد. هم‌چنین، میزان تأثیر تغییرات اقلیمی در ایستگاه سامیان بیش‌تر از ایستگاه دوست بیگلو بر دبی رودخانه باشد.

جدول ۲- نتایج آزمون من-کندال در ایستگاه سامیان و دوست بیگلو
Table 2- Mann-Kendall test results at Samian and Doost Bigloo stations

ایستگاه	متغیر	Z	شیب
سامیان	تبخیر	3.19**	0.543
	دبی	-6.29***	-0.021
	بارش	-1.06	-0.063
دوست بیگلو	تبخیر	-2.26*	-0.582
	دبی	-6.49***	-0.294
	بارش	-0.45	-0.052

***, **, * به ترتیب سطح معناداری یک، پنج و ۱۰ درصد است.

به‌منظور تعیین نقطه تغییر و تفکیک دوره پایه و تغییر از آزمون پتیت در طول دوره آماری ۱۳۹۸-۱۳۶۱ (۳۸ سال) استفاده شد که با توجه به نتایج آزمون، در سال ۱۳۷۶ یک تغییر در سری زمانی جریان سالانه رودخانه رخ داده است که مقدار p هم در این نقطه کم‌تر از ۰/۰۵ است. بنابراین، از سال ۱۳۶۱ تا ۱۳۷۶ به‌عنوان دوره پایه و از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۸ به‌عنوان دوره تغییرات در نظر گرفته شد. این آزمون با استفاده از نرم‌افزار Xlstat انجام پذیرفت. شکل ۲ سری زمانی متوسط دبی سالانه در ایستگاه سامیان و دوست بیگلو را نشان می‌دهد که در ایستگاه سامیان متوسط دبی در دوره پایه ۶/۹۵ مترمکعب در ثانیه و در دوره تغییرات ۱/۸۳ مترمکعب در ثانیه است. در ایستگاه دوست بیگلو نیز متوسط دبی در دوره پایه ۹/۷۴ و در دوره تغییرات ۲/۷۵ مترمکعب در ثانیه است.

شکل ۳ نمودارهای حاصل از روش منحنی جرم مضاعف را برای هر دو ایستگاه هیدرومتری نشان می‌دهد که با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که تغییر شیب در منحنی‌ها در همان زمان مربوط به نقطه تغییر به‌دست آمده از آزمون پتیت؛ یعنی سال ۱۳۷۶ است. نتایج مدل‌های به‌کار برده شده برای ایستگاه سامیان و دوست بیگلو به ترتیب در جدول ۳ و ۴ ارائه شده است. با توجه به جدول ۳ در ایستگاه سامیان، در روش رگرسیون خطی مقدار خطای رواناب محاسباتی در دوره تغییرات برابر ۴/۷۸ مترمکعب در ثانیه است. هم‌چنین، ۹۳/۵۵ درصد از کاهش رواناب به‌علت فعالیت‌های انسانی و ۶/۴۵ درصد مربوط به تغییرات اقلیمی است.

شبکه‌های عصبی از لحاظ نوع شبکه به دو گروه پیشخور و پسخور تقسیم می‌شوند که در این پژوهش از شبکه‌های پیشخور پرسپترون چندلایه (MLP) و برای توابع محرک لایه پنهان و خروجی به ترتیب از تابع تانزانت هیپربولیک (Tansig) و تابع خطی (Pureline) استفاده شد. از ۳۸ سال دوره آماری (۴۵۶ داده) موجود، ۱۶ سال (۱۹۲ داده) که دوره پایه است برای آموزش شبکه و ۲۲ سال (۲۶۴ داده) که دوره تغییر است در مرحله آزمون شبکه به‌کاربرده شد. برای افزایش کارایی شبکه عصبی ابتدا داده‌ها با استفاده از رابطه (۱۵) نرمال‌سازی می‌شود.

$$z = \frac{X - \bar{X}}{S} \quad (19)$$

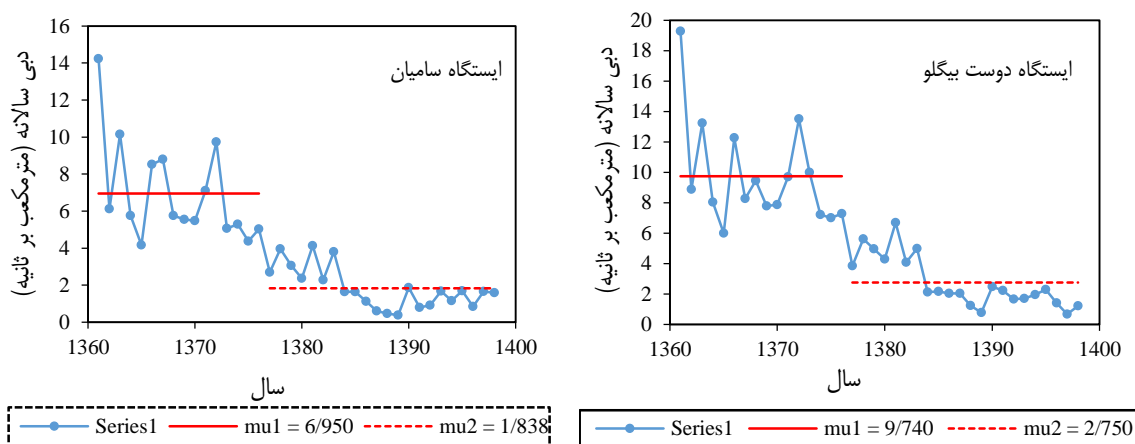
X داده‌های شبکه، \bar{X} میانگین داده‌ها و S انحراف معیار داده‌هاست.

ورودی‌های شبکه در این پژوهش، شامل بارش و تبخیر به‌صورت ماهانه در دوره پایه و خروجی شبکه دبی ماهانه است. برای تعیین ساختار شبکه با کم‌ترین تعداد نرون در لایه مخفی شروع کرده تا شبکه به جواب مطلوب برسد. شبکه با هر تعداد لایه و نرون پنهان به جواب مورد نظر برسد آن ساختار به‌عنوان ساختار بهینه انتخاب می‌شود و سپس به ارزیابی و مقایسه مدل با استفاده از شاخص‌های آماری و نمودار پرداخته می‌شود. تمامی مراحل در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار MATLAB صورت گرفته و سپس نمودارهای مربوطه در محیط Excel ترسیم شده است.

۳- نتایج و بحث

در این پژوهش، از آزمون من-کندال به‌منظور تحلیل روند بارش، رواناب و تبخیر انجام شد. با توجه به نتایج این آزمون (جدول ۲) در ایستگاه سامیان، تبخیر روند افزایشی معنادار در سطح پنج درصد را نشان می‌دهد (افزایش قابل ملاحظه به میزان ۱۵/۱۴ میلی‌متر در دوره تغییر نسبت به دوره پایه). بارش روند نسبتاً کاهشی را نشان می‌دهد که این کاهش معنادار نیست (کاهش کم به میزان ۲/۱ میلی‌متر در دوره تغییر نسبت به دوره پایه). رواناب نیز روند کاهشی معنادار در سطح یک درصد را نشان می‌دهد. در ایستگاه دوست بیگلو، مقدار تبخیر روند کاهشی معنادار در سطح ۱۰ درصد را نشان می‌دهد (کاهش کم به میزان ۲/۶۲ میلی‌متر در دوره تغییر نسبت به دوره پایه). بارش روند نسبتاً کاهشی را نشان می‌دهد که این کاهش معنادار نبوده است (کاهش کم به میزان ۱/۱۴ میلی‌متر در دوره تغییر نسبت به دوره پایه). رواناب نیز روند کاهشی معنادار در سطح یک درصد را نشان می‌دهد. کاهش معناداری رواناب و عدم کاهش معنادار بارش در هر دو ایستگاه فوق با نتایج حاصل از پژوهش Jahedi

¹ Multi Layer Perceptron (MLP)



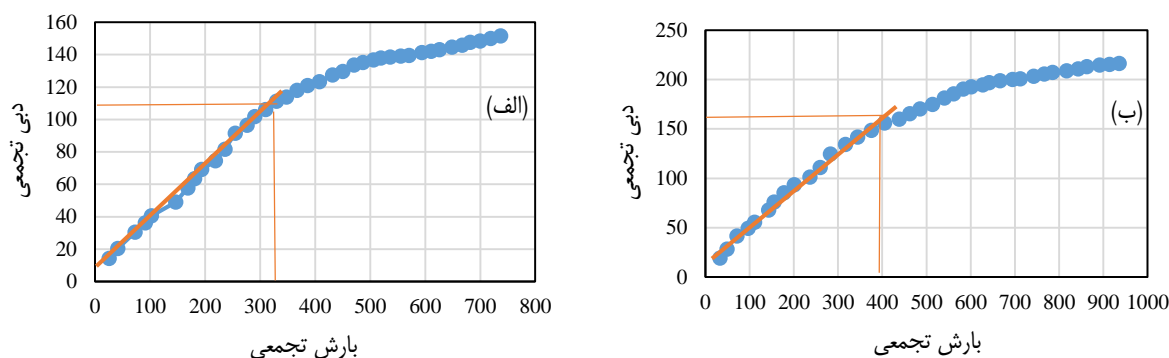
شکل ۲- نتایج آزمون پتیت در تعیین نقطه تغییر رواناب در ایستگاه سامیان و دوست بیگلو
 Figure 2 -The results of Pettitt test in detecting the change point of runoff at Samian and Doost-Bigloo stations

جدول ۳- سهم اثرات اقلیمی و انسانی با استفاده از روش های مختلف در ایستگاه سامیان
 Table 3- Contribution of climate and human effects using different methods in Samian station

نام روش	دوره	متوسط دبی سالانه مشاهداتی (متر مکعب بر ثانیه)	متوسط دبی سالانه بازسازی شده (مترمکعب بر ثانیه)	ضریب تعیین (R ²)	مقدار خطای رواناب بازسازی شده (مترمکعب بر ثانیه)	سهم تغییرات اقلیمی (درصد)	سهم فعالیت های انسانی (درصد)
رگرسیون خطی	پایه	6.95	6.95	-	-	6.45	93.55
	تغییرات	1.83	6.61	0.30	4.78		
رگرسیون خطی دو متغیره	پایه	6.95	6.95	-	-	14.42	85.58
	تغییرات	1.83	6.21	0.33	4.38		
جرم مضاعف	پایه	6.95	7.03	-	-	14.86	85.14
	تغییرات	1.83	6.25	0.22	4.42		
شبکه عصبی مصنوعی	پایه	6.95	-	-	-	8.62	91.38
	تغییرات	1.83	6.50	0.40	4.67		

جدول ۴- سهم اثرات اقلیمی و انسانی با استفاده از روش های مختلف در ایستگاه دوست بیگلو
 Table 4- Contribution of climate and human effects using different methods in Doost-Bigloo station

نام روش	دوره	متوسط دبی سالانه مشاهداتی (متر مکعب بر ثانیه)	متوسط دبی سالانه بازسازی شده (مترمکعب بر ثانیه)	ضریب تعیین (R ²)	مقدار خطای رواناب بازسازی شده (مترمکعب بر ثانیه)	سهم تغییرات اقلیمی (درصد)	سهم فعالیت های انسانی (درصد)
رگرسیون خطی	پایه	9.74	9.74	-	-	2.1	97.9
	تغییرات	2.75	9.59	0.02	6.84		
رگرسیون خطی دو متغیره	پایه	9.74	9.74	-	-	3	97
	تغییرات	2.75	9.53	0.15	6.78		
جرم مضاعف	پایه	9.74	10.23	-	-	27	73
	تغییرات	2.75	9.56	0.03	6.81		
شبکه عصبی مصنوعی	پایه	9.74	-	-	-	0.14	99.86
	تغییرات	2.75	9.73	0.43	6.98		



شکل ۳- منحنی جرم مضاعف در ایستگاه سامیان (الف) و دوست بیگلو (ب)
Figure 3- Double mass curve for the Samian (a) and Doost-Bigloo (b) stations

ساختار مدل‌های به‌کار رفته با یک‌دیگر با توجه به ساختار بهینه ساده شبکه عصبی مصنوعی (۱-۱-۲) باشد. با این‌حال، در ایستگاه سامیان مدل رگرسیون خطی دومتغیره خطای کم‌تر و مدل رگرسیون خطی تک‌متغیره خطای بیش‌تری نسبت به سایر روش‌ها نشان دادند. در ایستگاه دوست بیگلو نیز مدل رگرسیون خطی دومتغیره خطای کم‌تر و مدل شبکه عصبی مصنوعی خطای بیش‌تری نسبت به سایر روش‌ها نشان دادند. علت خطای نه‌چندان کم شبکه عصبی در پیش‌بینی رواناب را می‌توان به خطای موجود در داده‌های مورد استفاده و طول داده‌های نسبتاً کوتاه ربط داد. به‌طور کلی، نتایج حاصل از روش‌های مختلف در هر دو ایستگاه نشان داد که بر اساس خطای محاسباتی، روش رگرسیون خطی دو متغیره نتایج بهتری در مدل‌سازی دبی رودخانه در هر دو ایستگاه هیدرومتری ارائه داد. مقادیر ضریب تعیین (R^2) مدل‌ها در هر دو ایستگاه نشان می‌دهد که این ضرایب، مقدار کمی دارند که یکی از دلایل آن می‌تواند بخاطر اثرات سدهای احداث شده بر رودخانه و به هم خوردن روابط بین بارش و دبی در زمان‌های قبل و بعد از احداث سدها باشد. با این‌حال، این ضرایب در سطح ۱۰ درصد معنادار هستند. مقادیر ضریب تعیین شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون دو متغیره بیش‌تر از سایر مدل‌ها در هر دو ایستگاه است. با مقایسه نتایج دو ایستگاه سامیان و دوست بیگلو، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تأثیر تغییرات اقلیمی بر دبی رودخانه قره‌سو در ایستگاه سامیان (۱۱/۰۸ درصد) بیش‌تر از ایستگاه دوست بیگلو (۸/۰۶ درصد) است و برعکس تأثیر فعالیت‌های انسانی بر دبی رودخانه در ایستگاه دوست بیگلو (۹۱/۹۴ درصد) بیش‌تر از ایستگاه سامیان (۸۸/۹۱ درصد) است که علت آن می‌تواند تأثیر هم‌زمان احداث دو سد پامچی و سیلان بر دبی ایستگاه دوست بیگلو باشد. همچنین، مطابق انتظار سهم تغییرات اقلیمی (کم‌تر از ۲۷ درصد) کم‌تر از سهم فعالیت‌های انسانی (بیش‌تر از ۷۳ درصد) در کاهش جریانات رودخانه قره‌سو در هر

در روش رگرسیون دومتغیره، مقدار خطای رواناب محاسباتی در دوره تغییرات برابر ۴/۳۸ مترمکعب در ثانیه است و ۸۵/۵۸ درصد از کاهش رواناب به‌علت فعالیت‌های انسانی و ۱۴/۴۲ درصد مربوط به تغییرات اقلیمی است. در روش منحنی جرم مضاعف، مقدار خطای رواناب در دوره تغییرات برابر ۴/۴۲ مترمکعب در ثانیه بوده و سهم فعالیت‌های انسانی و اقلیمی در کاهش رواناب به‌ترتیب ۸۵/۱۴ و ۱۴/۸۶ درصد است. در روش شبکه عصبی مصنوعی نیز مقدار خطای رواناب محاسباتی در دوره تغییرات برابر ۴/۶۷ مترمکعب در ثانیه است. همچنین، ۹۱/۳۸ درصد و ۸/۶۲ درصد از کاهش رواناب به‌ترتیب به‌علت فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی است.

با توجه به جدول ۴ در ایستگاه دوست بیگلو، در روش رگرسیون خطی، مقدار خطای رواناب محاسباتی در دوره تغییرات برابر ۶/۸۴ مترمکعب در ثانیه است. همچنین، ۹۷/۹ درصد از کاهش رواناب به‌علت فعالیت‌های انسانی و ۲/۱ درصد مربوط به تغییرات اقلیمی است. در روش رگرسیون دومتغیره، مقدار خطای رواناب محاسباتی در دوره تغییرات برابر ۶/۷۸ مترمکعب در ثانیه بوده و ۹۷ درصد از کاهش رواناب به‌علت فعالیت‌های انسانی و ۳ درصد مربوط به تغییرات اقلیمی است. در روش منحنی جرم مضاعف، مقدار خطای رواناب محاسباتی در همان دوره برابر ۶/۸۱ مترمکعب در ثانیه و سهم تأثیرات فعالیت‌های انسانی و اقلیمی در کاهش رواناب به‌ترتیب برابر ۷۳ درصد و ۲۷ درصد است. در روش شبکه عصبی مصنوعی نیز مقدار خطای رواناب پیش‌بینی شده در دوره تغییرات برابر ۶/۹۸ مترمکعب در ثانیه برآورد شده است و ۹۹/۸۶ درصد از کاهش رواناب به‌علت فعالیت‌های انسانی و ۰/۱۴ درصد مربوط به تغییرات اقلیمی است.

به‌طور کلی، می‌توان گفت مقدار خطای محاسباتی رواناب در همه مدل‌ها تقریباً یکسان است و لذا مدل‌ها عملکرد نسبتاً مشابهی داشته‌اند. علت این امر می‌تواند به‌دلیل نسبتاً مشابه بودن

در این پژوهش، برای تعیین میزان اثرات تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر مقادیر دبی رودخانه قره‌سو واقع در استان اردبیل از روش‌های مختلفی از جمله رگرسیون خطی، رگرسیون دومتغیره، جرم مضاعف و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. از داده‌های هیدرومتئورولوژیکی مختلف مانند بارش، تبخیر-تعرق و دبی ماهانه مرتبط با ایستگاه سامیان و ایستگاه دوست بیگلو با دوره آماری ۱۳۶۱-۱۳۹۸ بهره گرفته شد. ابتدا با استفاده از آزمون پیتیت مشخص شد که از سال ۱۳۷۶ میزان جریان رودخانه دچار تغییرات معنادار شده است. لذا کل دوره آماری به دو دوره پایه و تغییرات تقسیم‌بندی شد و سپس با استفاده از روش‌های یاد شده سهم فعالیت‌های انسانی و سهم تغییرات اقلیمی مشخص شد.

دو عامل اقلیمی یعنی کاهش بارندگی و افزایش تبخیر-تعرق به‌عنوان عوامل مؤثر در تغییرات اقلیمی و انجام فعالیت‌هایی مانند احداث سد یامچی و سد سیلان و نیز توسعه و گسترش باغات و اراضی کشاورزی به‌عنوان فعالیت‌های انسانی در کاهش جریان رودخانه قره‌سو مؤثر بوده‌اند. با این حال، فعالیت‌های انسانی تأثیر بیش‌تری (بالای ۷۳ درصد) نسبت به عامل تغییر اقلیم (کم‌تر از ۲۷ درصد) در کاهش جریان این رودخانه داشته است.

آبدهی رودخانه حبله‌رود با استفاده از رویکرد تحلیل حساسیت هیدرولوژیکی مبتنی بر فرضیه بودیکو، مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، doi: 10.22098/mmws.2023.12114.1205
صانع، ایمان، ثقفیان، بهرام، و ناصری، محسن (۱۳۹۶). اثر تغییرات اقلیمی و انسانی بر آبدهی رودخانه راوند با استفاده از مدل ون-لون. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۱(۱)، ۱۷۸-۱۹۰.
کنعانی، رضا، فاخری‌فرد، احمد، قربانی، محمدعلی، و دین‌پژوه، یعقوب (۱۳۹۹). تحلیل روند تغییرات جریان در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست رودخانه لیقوان. *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۱۱(۲۲)، ۱۱-۱۸. doi:10.52547/jwmmr.11.22.11
ملکانی، لیلا، و عباسی، حبیبه (۱۳۹۸). مدل‌سازی رواناب و برآورد میزان تغییرات رواناب در اثر عوامل اقلیمی و انسانی. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۳(۲)، ۴۷۵-۴۸۵. doi: 20.1001.1.20087942.1398.13.2.18.6
نوروززاده، هاجر، حسنیور کاشانی، مهسا، و رسول‌زاده، علی (۱۴۰۱). بررسی نقش تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در میزان جریان رودخانه قره‌سو اردبیل. کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، دانشگاه شهرکرد، ۱-۱۱.

References

Ahmadi, H., & Delavar, M. (2019). Comparison of different approaches to separating human and climatic impacts on run-off changes in Basins. *Iranian journal of Ecohydrology*, 6(4), 943-

دو ایستگاه مورد مطالعه است که این نتایج با نتایج برخی از مطالعات قبلی هم‌خوانی دارد. مطالعه Norouzzadeh et al. (2022) در ایستگاه سامیان همین رودخانه با استفاده از روش‌های الاستیسیته محور نشان داد که درصد سهم تغییرات انسانی خیلی بیش‌تر از تغییرات اقلیمی در کاهش دبی رودخانه است. مطالعه Xue et al. (2021) بر روی رودخانه شیانگ در شمال غربی چین نشان داد که سهم فعالیت‌های انسانی ۸۸/۷۲ درصد و سهم تغییرات اقلیمی ۱۱/۲۸ درصد است. پژوهش Gao et al. (2016) نشان داد که بیش‌تر از ۶۰ درصد از کاهش رواناب در حوضه‌های مختلف لوس پلاتو به‌علت فعالیت‌های انسانی است. نتایج پژوهش Ahmadi and Delavar (2019) در حوضه آبخیز سد کرخه نشان داد که سهم فعالیت‌های انسانی ۶۰ تا ۸۳ درصد و سهم تغییرات اقلیمی ۴۰ تا ۱۷ درصد است. مطالعه Kanani et al. (2020) در حوضه رودخانه لیقوان که از زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه است، نیز نشان داد که عوامل انسانی موجب کاهش ۶۵ تا ۸۴ درصد میزان رواناب شده است.

۴- نتیجه‌گیری

منابع:

احمدی، حامد، و دلاور، مجید (۱۳۹۸). مقایسه رویکردهای مختلف تفکیک آثار انسانی و اقلیمی بر تغییرات جریان حوضه‌های آبخیز. *اکوهیدرولوژی*، ۶ (۴)، ۹۴۳-۹۵۵. doi: 10.22059/ije.2019.283700.1139
پور سیفاللهی، بتول، کانونی، امین، و نیک‌پور، محمدرضا (۱۳۹۷). بررسی اثرات احداث سد یامچی و سیلان بر روند جریان رودخانه اصلی در حوضه آبریز دره‌رود (اردبیل). هفتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه یزد.
جاهدی اسفنجانی، ناهیده، و قربانی، محمدعلی (۱۳۹۴). تحلیل روند تغییرات بارندگی و دبی ایستگاه‌های دوست‌بیگلو و سامیان حوضه آبریز قره‌سو. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۵۲، ۴۳-۶۴.
شفیعی، مجتبی، و قراری، شروان (۱۳۹۶). مروری بر مفاهیم مدل‌سازی هیدرولوژی در حوضه‌های آبریز: بخش اول معرفی فرآیند مدل‌سازی. *آب و توسعه پایدار*، ۴(۲)، ۹۵-۱۰۲. doi: 10.22067/jwsd.v4i2.62154
شیخ، واحدبردی، نادری، مهین، سعدالدین، امیر، اسدی نلیوان، امید، کرامت‌زاده، علی، عابدی طورانی، مرتضی، و نظری، عطیه (۱۴۰۱). تعیین سهم تغییر اقلیم و مداخلات انسانی در تغییرات

955. doi: 10.22059/ije.2019.283700.1139 [In Persian]

Gao, G., Fu, B., Wang, S., Liang, W., & Jiang, X. (2016). Determining the hydrological responses to climate variability and land

- use/cover change in the Loess Plateau with the Budyko framework. *Science of the Total Environment*, 557-558, 331-342. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.03.019
- Huntington, T.G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319 (1-4), 83-95. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.07.003
- Huo, Z., Feng, S., Kang, S., Li, W., & Chen, S. (2008). Effect of climate changes and water-related human activities on annual stream flows of the Shiyang river basin in arid north-west China. *Hydrological Processes*, 22(16), 3155-3167. doi:10.1002/hyp.6900
- Jahedi Sfanjani, N., & Ghorbani, M.A. (2015). The trend analysis of rainfall and discharge stations Bigelow and Sami Nagorno-hand basin. *Journal of Geography and Planning*, 52(19), 43-63. [In Persian]
- Kanani, R., Fakheri Fard, A., Ghorbani, M.A., & Dinpashoh, Y. (2020). Trend analysis of the streamflow in the lighvan river hydrometric stations (upstream and downstream). *Journal of Watershed Management Research*, 11(22), 11-19. doi:10.52547/jwmr.11.22.11 [In Persian]
- Kendall, M.G. (1975). *Rank Correlation Methods*. Griffin, London, England.
- Liu, D., Chen, X., Lian, Y., & Lou, Z. (2010). Impacts of climate change and human activities on surface runoff in the Dongjiang river basin of china. *Hydrological Processes*, 24, 1487-1495. doi:10.1002/hyp.7609
- Malekani, L., & Abbasi, H. (2019). Runoff modeling and estimation of runoff changes due to climatic and human factors. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(2), 475-485. doi: 20.1001.1.20087942.1398.13.2.18.6 [In Persian]
- Mann, H.B. (1945). Non-Parametric tests against trend. *Econometrica*, 33, 245-259. doi:10.2307/1907187
- Milly, P.C.D., Dunne, K.A., & Vecchia, A.V. (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438(7066), 347-350. doi:10.1038/nature04312
- Mwangi, H.M., Julich, S., Patil, S.D., McDonald, M.A., & Feger, K.H. (2016). Relative contribution of land use change and climate variability on discharge of upper Mara River, Kenya. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 5, 244-260. doi:10.1016/j.ejrh.2015.12.059
- Norouzzadeh, H., Hasanpour Kashani, M., & Rasoulzadeh, A. (2022). Investigating the role of climate changes and human activities in the flow rate of Qarasu River in Ardabil. The 4th National Iranian Conference on Hydrology, Shahrekord University, 1-11. [In Persian]
- Nourani, V., Alami, M.T., & Aminfar, M.H. (2009). A combined neural- Wavelet model for Porecasting of Ligvanchai Watershed Precipitation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22, 466-472. doi:10.1016/j.engappai.2008.09.003
- Pettitt, A.N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society*, 28, 126-135. doi:10.2307/2346729
- Pour Saifullahi, B., Kanoni, A., & Nikpour, M.R. (2017). Investigating the effects of the construction of Yamchi and Sablan dams on the flow of the main river in Dareh-Roud watershed (Ardabil). 7th National Conference on Water Resources Management of Iran, Yazd, Iran. [In Persian]
- Sane, I., Saghafian, B., & Nasserri, M. (2017). Contribution of climate variability and human intervention on watershed regime based on van loon model. *Iran-Water Resources Research*, 13(1), 178-190. [In Persian]
- Searcy, J.K., Hardison, C.H., & Langbein, W.B. (1960). *Double mass curves*. US Geological Survey, Washington DC.
- Sorokin, L.V., & Mondello, G. (2017). Entering the new +2 °C Global Warming age and a threat of World Ocean expansion for sustainable economic development. In: Mal, S. et al (eds.), *Climate Change Extreme Events and Disaster Risk Reduction*, Springer, Berlin, Germany.
- Shafiei, M., & Gharari, Sh. (2017). A review on hydrological modelling concepts: Part 1- introduction of modelling process. *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(2), 95-102. doi: 10.22067/jwsd.v4i2.62154 [In Persian]
- Sheikh, V., Naderi, M., Sadoddin, A., Asadi Nalivan, O., Keramatzadeh, A., Abedi Tourani, M., & Nazari, A. (2023). Quantifying the contributions of climate change and human interventions on streamflow alteration in the Hableroud River basin using the hydrological sensitivity analysis approach based on the Budyko hypothesis. *Water and Soil Management and Modelling*, doi: 10.22098/mmws.2023.12114.1205 [In Persian]
- Wang, S.J., Yan, M., Yan, Y.X., Shi, C.X., & He, L. (2012). Contributions of climate change and human activities to the changes in runoff increment in different sections of the Yellow River. *Quaternary International*, 282, 66-77. doi:10.1016/j.quaint.2012.07.011
- Wu, J., Miao, C., Zhang, X., Yang, T., & Duan, Q. (2017). Detecting the quantitative hydrological response to changes in climate and human activities. *Science of the Total Environment*, 586, 328-337. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.02.010

- Xue, D., Zhou, J., Zhao, X., Liu, C., Wei, W., Yang, X., Li, Q., & Zhao, Y. (2021). Impacts of climate change and human activities on run off change in a typical arid watershed, NW China. *Ecological Indicators*, 121, 107013. doi:10.1016/j.ecolind.2020.107013
- Yao, H., Shi, C., Shao, W., Bai, J., & Yang, H. (2015). Impacts of climate change and human activities on runoff and sediment load of the Xiliugao Basin in the upper Yellow river. *Advances in Meteorology*, 481713. doi:10.1155/2015/481713
- Ye, X., Zhang, Q., Liu, J., Li, X., & Xu, C. (2013). Distinguishing the relative impacts of climate change and human activities on variation of streamflow in the Poyang Lake catchment, China. *Journal of Hydrology*, 494, 83-95. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.04.036