

Quantifying the contributions of climate change and direct human interventions to streamflow alteration in the Hablehrood watershed using empirical approaches

Vahedberdi Sheikh^{1*} , Mahin Naderi² , Abdolreza Bahremand³ , Amir Sadoddin¹ , Morteza Abedi Tourani⁴ , Chooghi Bairam Komaki⁵ , Alalah Ghaemi⁶ 

¹Associate Professor, Watershed Management Department, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

²Ph.D. Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

³Professor, Watershed Management Department, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

⁴Head of Surface Water Utilization, Regional Water Company of Tehran, Tehran, Iran

⁵Assistant Professor, Watershed Management Department, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

⁶ Head of Applied research, Regional Water Company of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Introduction

Climate changes and human activities are the two main factors altering the hydrological cycle of watersheds causing changes in the spatial and temporal distribution of water availability. The river flow, as the most critical component of the hydrological cycle, is the most vulnerable component that is affected by these changes resulting in worrying consequences on water demand by different sectors. Since there is growing controversy on the contribution of two main factors (climate change and human interventions) affecting river flow alteration, assessment and quantification of their contribution is of utmost importance to the water resources managers. Quantification of climate change and direct human intervention contributions to streamflow alteration is a prerequisite for developing adaptation strategies and policies for regional water resources planning and management. To this end, various approaches and methods have been developed and proposed during the last decades in order to separate the contribution of natural and human-induced factors on river flow regime conditions. The current research investigates the contribution of climate change and direct human interventions on the discharge decline of the Hablehrood watershed.

Materials and Methods

In this research, the upstream area of the Hablehrood watershed draining to the Bonekouh hydrometry station, located within the Tehran Province jurisdiction, has been studied. The hydrological condition of the Hablehrood watershed, as a main drainage channel of the watershed, has drastically altered during recent years and its discharge has significantly decreased. In this study, first, the long-term statistics of Simindasht and Dalichay hydrometric stations were collected and subjected to pre-processing. Then, using the Pettit and Lanzante statistical tests, the significant change point in their annual discharge time series was identified. Then, the empirical methods of the slope change ratio of accumulative quantity (SCRAQ) and double mass curve (DMC) were applied to separate the effect of climate change and human interventions on the discharge decline of the Hablehrood watershed and its main tributaries. Since rainfall, temperature, and potential evapotranspiration are considered the main climatic elements in both the used methods, the relationship between discharge, and precipitation, between discharge and precipitation as well as temperature, between discharge and precipitation as well as potential evapotranspiration were analyzed in order to compute the contribution of climatic drivers first. According to the empirical methods, after calculating the contribution of climatic variables to the changes in water flow, the remaining changes in water flow are attributed to human interventions. In this study, the observed data from the hydrometry stations of Simindasht and Dalichay during 1980 – 2017 were used. For SCRAQ, the slope change of the ratio of cumulative discharge and cumulative values of rainfall and temperature

as well as the slope change of the ratio of cumulative discharge and cumulative values of rainfall and evapotranspiration were computed to separate the effects of climate change and human interventions.

Results and Discussion

The results of both tests showed that the hydrological regime of the basin changed in the mid-1990s in both hydrometric stations and the average annual discharge drastically decreased in the period after the change point. Results of different calculation methods of SCRAQ (the slope change of the ratio of cumulative discharge and cumulative values of rainfall and temperature (first method) and the slope change of the ratio of cumulative discharge and cumulative values of rainfall and evapotranspiration (second method)) showed that human intervention is the main cause of discharge decline within the Hablehrood watershed. According to the first calculation method, the contribution of climate change on discharge decline at the Simindasht and Dalichay stations were, respectively, 15.53 % and -37.08 %, and for the second calculation method, 0.55 % and -39.72 %, respectively. The positive values for the contribution of climate change to the Dalichay station indicate that climate change has resulted in an increase in its discharge. Results of different calculation methods of DMC between cumulative values of discharge and climate variables showed that climate change has increasing effects on the discharge of both Simindasht and Dalichay sub-watersheds.

Conclusion

Human intervention is the main cause of discharge decline in the Hablehrood watershed and the contribution of climate change is very small and incremental in some cases, particularly for the Dalichay sub-watershed. Therefore, management policies and priorities should be focused on managing human interventions, promoting public awareness, optimal using of water resources, and preventing over-exploitation of water resources across the watershed. The results of this study can provide a scientific guide for the development, utilization, and management of regional water resources and ecological environment protection.

Keywords: Change point, Double mass curve method, Lanzante test, Petit test, Slope change ratio of accumulative quantity method

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: sheikh@gau.ac.ir

Citation: Sheikh, V., Naderi, M., Bahremand, A., Sadoddin, A., Abedi Tourani, M., Komaki, CH., & Ghaemi, A. (2023). Quantifying the contributions of climate change and direct human interventions to streamflow alteration in the Hablehrood watershed using empirical approaches. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(1), 298-315.

DOI: 10.22098/mmws.2023.12114.1205

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.1.19.7

Received: 27 November 2022, Received in revised form: 11 December 2022, Accepted: 12 December 2022, Published online: 12 December 2022

Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 1, pp. 298-315



Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)



تعیین سهم تغییر اقلیم و مداخلات مستقیم انسانی در تغییرات آب‌دهی رودخانه حبله‌رود با استفاده از رویکردهای تجربی

واحدپردی شیخ^{۱*}، مهین نادری^۲، عبدالرضا بهره‌مند^۳، امیر سعدالدین^۴، مرتضی عابدی طورانی^۴، چوقی بایرام کمکی^۵، آلاله قائمی^۶

^۱دانشیار، گروه آب‌خیزداری، دانشکده مرتع و آب‌خیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۲دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۳استاد، گروه آب‌خیزداری، دانشکده مرتع و آب‌خیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۴رئیس گروه بهره‌برداری آب‌های سطحی شرکت آب منطقه ای تهران، تهران، ایران

^۵استادیار، گروه آب‌خیزداری، دانشکده مرتع و آب‌خیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۶رئیس گروه تحقیقات کاربردی شرکت آب منطقه‌ای تهران، تهران، ایران

چکیده

تغییرات آب و هوا و فعالیت‌های انسانی دو عامل اصلی در تغییر روند چرخه هیدرولوژی حوزه‌های آبخیز هستند که باعث تغییر در توزیع مکانی و زمانی دسترسی به آب می‌شوند. جریان رودخانه به‌عنوان مهم‌ترین مؤلفه چرخه هیدرولوژی، یکی از آسیب‌پذیرترین مؤلفه‌های آن بوده که تحت تأثیر این تغییرات قرار می‌گیرد. منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، بخش بالادست حوزه آبخیز حبله‌رود تا ایستگاه آب‌سنجی بنکوه است که در محدوده سیاسی استان تهران واقع شده است. در این پژوهش از روش‌های تجربی نسبت تغییر شیب مقدار تجمعی و منحنی جرم مضاعف به‌منظور تفکیک اثر تغییر اقلیم و مداخلات انسانی در کاهش آب‌دهی رودخانه حبله‌رود در محل ایستگاه‌های هیدرومتری سیمین‌دشت و دلیچای (دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷) استفاده شد. برای روش نسبت تغییر شیب مقدار تجمعی، یک‌بار تغییر شیب مقدار تجمعی دبی نسبت به مقادیر تجمعی بارش و دما (حالت اول) و بار دیگر تغییر شیب مقدار تجمعی دبی نسبت به مقادیر تجمعی بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل (حالت دوم) محاسبه شد تا سهم تغییر اقلیم و مداخلات انسانی مشخص شود. میزان اثر تغییر اقلیم در دبی ایستگاه‌های سیمین‌دشت و دلیچای، طبق حالت اول به‌ترتیب ۱۵/۵۳ و ۳۷/۰۸- درصد و طبق حالت دوم به‌ترتیب ۰/۵۵ و ۳۹/۷۲- درصد به‌دست آمد. مقادیر منفی در ایستگاه دلیچای بدین معناست که تغییر اقلیم باعث افزایش آب‌دهی زیرحوزه آبخیز دلیچای شده است. نتایج روش‌های مختلف منحنی جرم مضاعف بین متغیر دبی تجمعی و متغیرهای تجمعی بارش، دما و تبخیر-تعرق پتانسیل نیز نشان داد که اثر تغییر اقلیم در هر دو زیرحوزه آبخیز به‌صورت افزایش آب‌دهی (۲۹ درصد برای زیرحوزه آبخیز سیمین‌دشت و ۹۲ درصد برای زیرحوزه آبخیز دلیچای) است و عامل اصلی کاهش آب‌دهی رودخانه‌های حوزه آبخیز حبله‌رود (۱۲۹ درصد برای زیرحوزه آبخیز سیمین‌دشت و ۱۹۲ درصد برای زیرحوزه آبخیز دلیچای) مداخلات مستقیم انسانی است. تغییر اقلیم سهم بسیار کمی در کاهش آب‌دهی دو زیرحوزه آبخیز اصلی حوضه حبله‌رود دارد و مداخلات انسانی عامل اصلی کاهش آب‌دهی رودخانه‌های حوزه آبخیز حبله‌رود است. بنابراین لازم است تمرکز اصلی سیاست‌های مدیریتی در جهت مدیریت مداخلات انسانی، ارتقای آگاهی عمومی، استفاده بهینه از منابع آب و جلوگیری از بهره‌برداری بیش از توان منابع آبی حوزه آبخیز باشد.

واژه‌های کلیدی: آزمون پتیت، آزمون لانزانتته، روش نسبت تغییر شیب مقدار تجمعی، روش منحنی جرم مضاعف، نقطه تغییر

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sheikh@gau.ac.ir

استناد: شیخ، و.، نادری، م.، بهره‌مند، ع.، سعدالدین، ا.، عابدی طورانی، م.، کمکی، چ.، و قائمی، آ. (۱۴۰۲). تعیین سهم تغییر اقلیم و مداخلات مستقیم انسانی در تغییرات آب‌دهی رودخانه حبله‌رود با استفاده از رویکردهای تجربی. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۱)، ۲۹۸-۳۱۵.

DOI: 10.22098/mmws.2023.12114.1205

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.1.19.7

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۱، شماره صفحه ۲۹۸ تا ۳۱۵

© نویسنده‌گان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

یزد را با استفاده از مدل SWAT انجام دادند که نتایج حاکی از افزایش میزان رواناب در آینده نزدیک به احتمال بیش از ۹۰ درصد تحت تاثیر اقلیم در منطقه است. در پژوهشی، Hasanzadeh et al. (2021) با استفاده از مدل HEC-HMS اثر تغییرات کاربری اراضی بر دبی رودخانه دره‌رود را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که زراعت آبی و دیم، مناطق مسکونی، باغات و مناطق سنگی دارای افزایش مساحت بوده‌اند و حجم و مقدار رواناب روند کاهشی داشته است. (Rezaei et al. (2022) نیز به بررسی روند تغییرات کاربری اراضی و بارش و نقش هر یک از آن‌ها در روند تغییرات دبی حوزه آبخیز کبار در استان چهارمحال و بختیاری پرداختند. نتایج تحلیل روند برای سری زمانی دبی رودخانه در ایستگاه کوه سوخته نشان داد که دبی در مقیاس‌های فصلی و سالانه روند کاهشی داشته است و نتایج بیان‌گر این است که در حوزه آبخیز مذکور تأثیر تغییرات بارش بر میزان دبی بیش از تغییرات کاربری اراضی بوده است. (Naderi et al. (2022a) در پژوهشی به تحلیل تغییرات رژیم جریان آب رودخانه‌ای با استفاده از شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز حبله‌رود پرداختند و بیان کردند که میزان آب‌دهی حوزه آبخیز حبله‌رود در دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ به میزان ۳۵ درصد کاهش یافته است و مداخلات انسانی از عوامل اصلی تاثیرگذار بر تغییرات هیدرولوژیکی این حوزه آبخیز است. (Hejazizadeh et al. (2022) نیز با استفاده از مدل بارش-رواناب HEC-HMS دبی حوزه آبخیز کن در استان تهران را شبیه‌سازی کردند و نشان دادند که این استان با تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی روبه‌رو شده و گرم‌تر خواهد شد. همچنین، در اثر تغییر اقلیم حجم دبی حوزه آبخیز مذکور به میزان پنج درصد کاهش خواهد یافت.

Huo et al. (2008) در پژوهشی بیان کردند که تأثیر فعالیت‌های انسانی در کاهش رواناب سطحی در جریان اصلی ۴۱/۵۹ درصد در سال ۱۹۷۰، ۶۳/۷۷ درصد در سال‌های ۱۹۸۰ و ۷۵/۱۵ درصد در سال ۱۹۹۰ در رودخانه طارم بوده است. همچنین، Du et al. (2011) جریان را در واکنش به تغییرات بارش و عوامل انسانی، در حوزه آبخیز رودخانه Zhengshui چین مورد ارزیابی قرار دادند. در پژوهش آن‌ها مشاهده شد که فعالیت‌های انسانی و بارش به‌ترتیب جریان رودخانه را ۵۳ و ۴۷ درصد در سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۳ افزایش داده است. در ادامه، Wang et al. (2012) بیان کردند که فعالیت‌های انسانی مهم‌ترین عامل کاهش رواناب در سه زیرحوضه رودخانه Huaihe (Luanhe، Choohe و Zhanghe) است. در حوزه آبخیز یورسرن در دره کوه‌های آلپ نیز Alaoui et al. (2014)، تأثیر تغییر کاربری اراضی و آب و هوا را با استفاده از

روابط بارش-رواناب حوزه آبخیز نتیجه اثر متقابل بسیاری از فرآیندها از قبیل اقلیم و کاربری اراضی است. بنابراین، پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز را به‌عنوان شاخص جامعی از شرایط فعلی آن و پیش‌بینی‌کننده اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر کمیت و کیفیت آب (Hernandez et al., 2000) و نماد جامعی از شرایط و خصوصیات محیط طبیعی آن حوزه آبخیز می‌دانند (Sikka et al., 2003). از میان مؤلفه‌های مختلف چرخه هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز، جریان رودخانه به‌عنوان مهم‌ترین عامل برای مدیریت منابع آب در نظر گرفته می‌شود و تغییرپذیری آن در بخش‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت، تولید برق‌آبی، ناوبری و به‌طور قابل‌توجهی بر الگوی مصرف آب تأثیر می‌گذارد (Dey and Mishra, 2017). درک و فهم و به‌کمیت درآوردن اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر فراهمی آب، پیش‌شرط مدیریت سازگار منابع آب است. اما تفکیک این اثرات، کار پیچیده‌ای است (Renner et al., 2012). تفکیک تغییرات اقلیمی از تغییرات سطح زمین منجر به بصیرت بیشتر در خصوص اثرات اقلیمی و انسانی گذشته و درک و آگاهی در خصوص پیامدهای احتمالی تغییرات آبی پیش‌بینی شده بر مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژیکی می‌شود. تغییرات آب و هوایی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محرک‌های کاهش منابع آب و تغییر توزیع مکانی بارندگی در سطح جهان در نظر گرفته می‌شود (Kundzewicz et al., 2008). جدا از تنوع آب و هوایی، فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری/پوشش اراضی (LULC)، صنعتی شدن و شهرنشینی نیز فرآیندهای هیدرولوژیکی را تغییر داده و تأثیرات جهانی بر محیط زیست و پیامدهای قابل‌توجهی بر منابع آب اعمال کرده است.

بررسی ادبیات علمی موضوع پژوهش نشان می‌دهد که پژوهشگران، روش‌های مختلفی از جمله مدل‌سازی هیدرولوژیکی (Li et al., 2009; Liu et al., 2013)، خاصیت الاستیسیته آب و هوا (Zheng et al., 2009; Yang and Yang, 2011)، الاستیسیته و فرضیه بودیکو (Liang et al., 2013; Zhang et al., 2012)، روش تجزیه (Wang and Hejazi, 2011; Sun et al., 2014)، روش حساسیت هیدرولوژیکی (Zuo et al., 2014)، چارچوب تامر شیلینگ (Tomer and Schilling, 2009)، روش روند زمانی (Zhang et al., 2012) و روش حوزه‌های آبخیز زوجی (Huang et al., 2003; Liu et al., 2004) را برای کمی‌سازی اثرات عوامل مختلف بر هیدرولوژی حوزه‌های آبخیز اتخاذ کرده‌اند. (Hayatzadeh and Mousavi (2018) مدل‌سازی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر شرایط هیدرولوژیکی حوزه آبخیز فخرآباد

در آب و انتقال آب بوده است. همچنین، Xu et al. (2022) تغییرات زمانی و منطقه‌ای هیدرولوژی رودخانه زرد کشور چین را در ۶۰ سال گذشته بررسی کردند و دریافته‌اند که فعالیت‌های انسانی، ساخت سد و بهره‌برداری از منابع آب همگی تأثیر قابل‌توجهی بر تغییرات هیدرولوژیکی داشتند. درک چگونگی تأثیر پوشش زمین و تغییرات آب و هوایی در رژیم جریان برای مدیریت سازگار آب و خاک بسیار مهم است. تعیین اثرات عوامل اقلیمی و انسانی بر کاهش جریان آب جهت مدیریت منابع و مصارف و برنامه‌ریزی‌های آبی و تأمین حقابه‌ها امری ضروری است. بنابراین، شناخت و کمی‌سازی سهم اثرات تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی بر جریان رودخانه‌ها، برای تدوین اقدامات گوناگون سازگاری با پدیده تغییر اقلیم و برای تنظیم سیاست‌ها و استراتژی‌های برنامه‌ریزی و مدیریت تطبیقی منابع آب منطقه‌ای در حوزه‌های آبخیز و تحقق الگوی مصرف آب آینده برای فعالیت‌های مختلف انسانی ضمن تضمین تأمین پایدار حقابه محیط زیست امر بسیار ضروری است.

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل بخش بالادست حوزه آبخیز حبله‌رود تا ایستگاه آب‌سنجی بنکوه است که در محدوده سیاسی استان تهران واقع شده است. رودخانه حبله‌رود که زهکش اصلی این حوزه آبخیز است در سال‌های اخیر وضعیت هیدرولوژیکی آن به‌طور چشم‌گیری تغییر کرده است و آب‌دهی آن به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است. کاهش آب‌دهی رودخانه حبله‌رود موجب ایجاد تنش بین استان تهران و سمنان و ایجاد تنش و درگیری بین کشاورزان روستاهای مجاور در این حوزه آبخیز شده است. بنابراین در این پژوهش کمی‌سازی اثرات عوامل مختلف طبیعی و انسان‌ساز بر کاهش آب‌دهی رودخانه حبله‌رود در محل ایستگاه هیدرومتری سیمین‌دشت و دلیچای مورد بررسی قرار می‌گیرد. بیش‌ترین روش‌های توسعه داده شده برای تفکیک اثرات تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر رژیم هیدرولوژیکی جریان از دسته رویکردهای تجربی و مفهومی هستند که در این پژوهش از روش‌های تجربی نسبت تغییر شیب مقدار تجمعی (SCRAQ) و منحنی‌های جرم مضاعف به‌منظور تفکیک اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی در کاهش آب‌دهی رودخانه حبله‌رود استفاده می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر شامل بخش بالادست حوزه آبخیز حبله‌رود تا ایستگاه آب‌سنجی بنکوه است که در محدوده

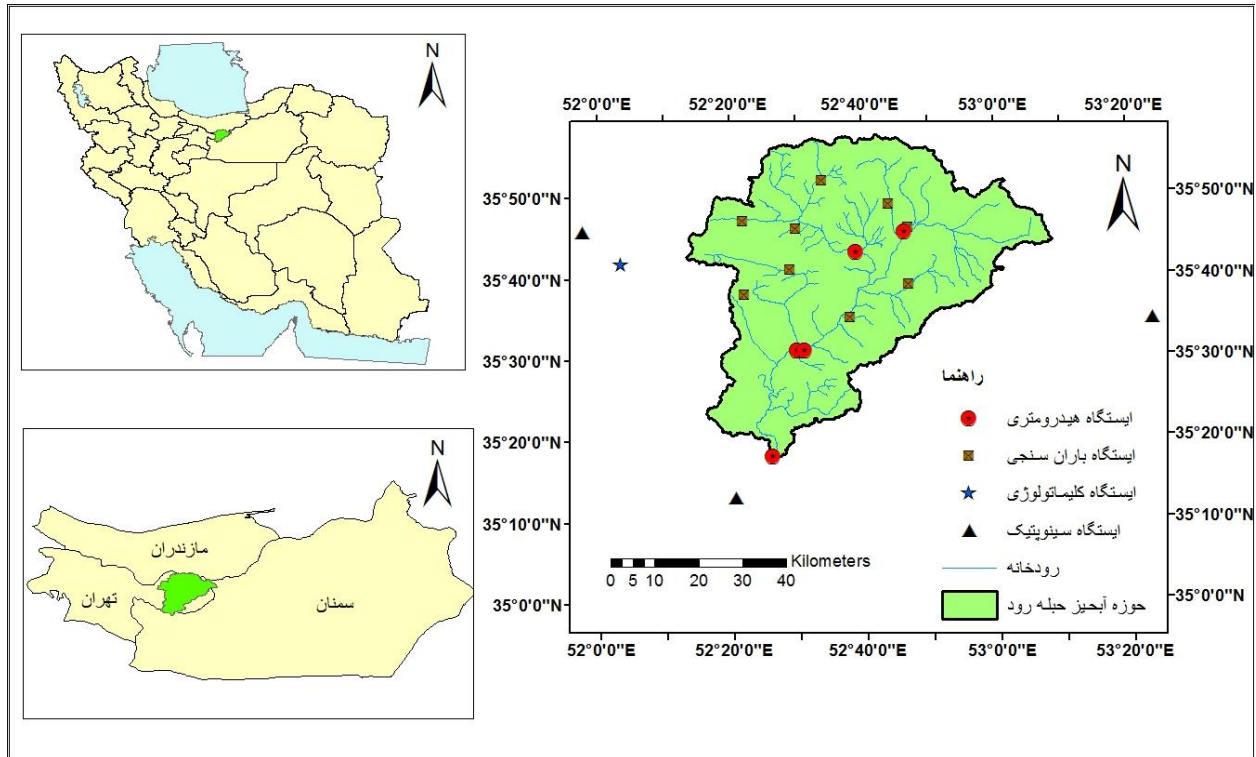
مدل WaSiM-ETH بررسی نمودند. آن‌ها بیان کردند که میزان دبی در طول تابستان کاهش معناداری پیدا کرده و دبی سالانه در اثر تغییر کاربری اراضی شش درصد و در اثر تغییر اقلیم پنج درصد کاهش یافته است. در پژوهشی دیگر (Baloch et al. (2015) اثرات کاربری اراضی و تغییر اقلیم را بر رژیم جریان آب در حوزه آبخیز کویسگیز در ترکیه بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با گسترش توسعه شهری تغییر شدید در میزان، فراوانی و مدت زمان جریان ایجاد شده است. در پژوهش‌های موردی مختلف در چین، مانند نمونه‌های حوزه رودخانه Kuye و حوزه رودخانه سانگ کان فوقانی، (Zhang et al. و Wang et al. (2013) به‌ترتیب دریافته‌اند که فعالیت‌های انسانی نقش اصلی را در کاهش رواناب دارند. همچنین، (Saidi et al. (2018) اثرات کمی تغییر آب و هوا و فعالیت‌های انسان را در جریان رودخانه آلپ از طریق روش‌هایی شامل حساسیت هیدرولوژیکی، خاصیت ارتجاعی آب و هوا و الگو برداری هیدرولوژیکی تخمین زده و نتایج آن نشان می‌دهد که تغییرپذیری آب و هوا ۸۵ درصد از کاهش جریان را به خود اختصاص داده و تغییرات باقی‌مانده می‌تواند ناشی از تغییر کاربری اراضی باشد.

(Ahmed et al. (2019) ارزیابی مداخلات انسانی در کشورهای بالادستی همراه با وقایع خشکسالی بر رژیم جریان کشورهای پایین‌دست را در حوزه رود نیل انجام دادند، یافته‌های آن‌ها نشان داد که اعمال مقررات و مداخلات در کشورهای بالادستی، تغییراتی در رژیم جریان رودخانه ایجاد کرده است. همچنین، (Farinosi et al. (2019) اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی آینده بر جریان رودخانه‌ها را در حوزه آبخیز Tapajós واقع در آمازون کشور برزیل را بررسی کردند. آن‌ها از یک مدل هیدرولوژیکی جامع سطح زمین و مدل هیدرولیکی روندیابی جریان رودخانه استفاده کردند تا تغییرات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مورد انتظار را که در اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی اتفاق افتاده است را بررسی نمایند. نتایج آن‌ها نشان داد که تغییرات آب و هوا، جریان رودخانه‌ها را در بعضی از فصول سال تا حدود ۲۰ درصد کاهش می‌دهد. در ادامه، (Reddy et al. (2021) اثرات بالقوه تغییر آب و هوا بر بارش و دما در زیر حوزه آبخیز غاتا‌پراپاها در کشور هند را بررسی کردند. نتایج نشان داد که میانگین سالانه بارندگی و دمای روزانه در دهه‌های آتی افزایش می‌یابد و بر دبی خروجی حوزه آبخیز تأثیرگذار است. Liu et al. (2021) نیز روند جریان را در بخش میانی و فوقانی رودخانه زرد چین بررسی کردند. نتایج نشان داد که آب‌دهی رودخانه زرد در ۵۰ سال گذشته کاهش یافته که این کاهش جریان در بخش میانی و پایینی رودخانه بیش‌تر به‌دلیل اجرای اقدامات و پروهای صرفه‌جویی

¹ Slope Change Ratio of Accumulative Quantity

متوسط کاربری غالب منطقه است. براساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه، اقلیم حوضه حبله‌رود نیمه‌خشک سرد و براساس روش دومارتن نیمه‌خشک ارتفاعی است (Tehran Soil and Water Engineering Consulting Corporation, 2013). متوسط بارندگی سالانه حبله‌رود شمالی (منطقه مورد مطالعه) حدود ۴۰۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد است (Sheikh et al., 2017). در شکل ۱ موقعیت مکانی این حوزه آبخیز حبله‌رود نمایش داده شده است.

سیاسی استان تهران واقع شده و مساحت آن حدود ۳۲۰۰ کیلومترمربع است. از نظر مختصات جغرافیایی در محدوده طول "۱۹' ۱۱' ۵۲" تا "۴۰' ۸' ۵۳" شرقی و عرض "۱۷' ۵۴" ۳۵° تا "۲۹' ۵۷" ۳۵° شمالی واقع شده است. تراکم جمعیتی و مناطق مسکونی حوزه آبخیز نسبتاً کم است و با توجه به کوهستانی بودن حوزه آبخیز، اراضی زراعی نیز اکثراً باغات و کشاورزی آبی است که محدود به بستر دره‌ها و پادگانه رودخانه‌ها در بالادست و دشت‌های کوچک پراکنده در پائین‌دست است. مرتع با پوشش گیاهی فقیر تا



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز حبله‌رود در ایران

Figure 1- Geographical location of Hablehrood watershed in Iran

۲-۲-۱- تحلیل آماری متغیرهای هیدروکلیمایی

به‌منظور تحلیل آماری متغیرهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز مورد مطالعه، آمار روزانه ایستگاه هیدرومتری سیمین‌دشت و دلچای جمع‌آوری شد. سپس به‌منظور بررسی معناداری روند تغییرات آبدهی حوزه آبخیز حبله‌رود و این‌که جهت تغییرات به چه صورت است. روند تغییرات دبی متوسط سالانه رودخانه حبله‌رود در محل ایستگاه هیدرومتری سیمین‌دشت و دلچای از طریق رگرسیون خطی و نرخ تغییرات با استفاده از شیب خط روند مشخص شد (Sheikh et al., 2009).

داده‌های روزانه اقلیمی نیز از آمار مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی داخل و اطراف حوزه آبخیز

۲-۲-۲- روش کار

در این پژوهش به‌منظور تعیین سهم تغییر اقلیم و مداخلات انسانی در کاهش آبدهی، ابتدا در محل ایستگاه هیدرومتری سیمین‌دشت و دلچای روند تغییرات آبدهی رودخانه حبله‌رود مورد بررسی قرار گرفت و بعد از مشخص شدن روند تغییرات دبی با استفاده از روش‌های مختلف، نقطه تغییر معنادار در جریان آبدهی تعیین شد. سپس با استفاده از روش نسبت تغییر شیب مقدار تجمعی و روش منحنی‌های جرم مضاعف اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی در کاهش آبدهی رودخانه حبله‌رود در دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ مورد بررسی قرار گرفت.

آن اتفاق می‌افتد بلکه بیان‌گر این است از این نقطه به بعد ویژگی‌های کلیدی توزیع آماری داده‌ها همچون میانگین و واریانس داده‌ها دچار تغییر معنادار می‌شوند (Gao et al., 2011).

این روش، اختلاف پارامترهای توزیع آماری دو مجموعه نمونه x_1, x_2, \dots, x_t و x_{t+1}, \dots, x_T از یک جامعه آماری را آزمون می‌کند. آماره مورد استفاده در این آزمون به صورت $U_{t,T}$ نشان داده می‌شود. حداکثر مقدار آن به عنوان نقطه تغییر (CPT) تعریف می‌شود (Gao et al., 2011). محاسبات مربوط به این روش مطابق با روابط (۱) تا (۳) در محیط نرم‌افزار آماری R انجام شد.

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

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{CPT} = \max |U_{t,T}|, 1 \leq t < T \quad (3)$$

۲-۲-۲-۲-۲ آزمون لانزانت

یک آزمون ناپارامتریک است که به منظور آزمایش تغییر در گرایش یک سری زمانی انجام داد. مطابق این آزمون، اگر X بیان‌گر یک متغیر تصادفی پیوسته باشد، مدل زیر را با یک نقطه تغییر در عدد m و $\theta(\epsilon) = 0$ می‌توان پیشنهاد داد:

$$x[i] = \theta + \epsilon[i] \quad \text{for } i = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$x[i] = \theta + \Delta + \epsilon[i] \quad \text{for } i = m + 1, \dots, n \quad (5)$$

فرضیه صفر در این آزمون عدم تغییر در سری زمانی است $H: \Delta = 0$ که در مقابل فرض تغییر در سری زمانی $A: \Delta \neq 0$ با استفاده از آزمون آماری ویلکاکسون-من-ویتنی مورد آزمایش قرار می‌گیرد (Lanzante et al., 1996). برای این منظور، در محیط نرم‌افزار R، ابتدا داده‌های سری زمانی به صورت صعودی مرتب می‌شوند و رتبه هر داده تعیین می‌شود و برای هر گام سری زمانی، مجموع رتبه داده‌های گام‌های زمانی قبل به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$U_K = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1) \quad (6)$$

$$k = 1, \dots, n$$

در این روش نقطه تغییر احتمالی (m) به صورت رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$m = k(\max |U_K|) \quad (7)$$

۲-۲-۳-۳ تعیین سهم تغییر اقلیم و مداخلات مستقیم انسانی در کاهش

آب‌دهی

۲-۲-۳-۱-۱ روش نسبت تغییر شیب مقدار تجمی (SCRAQ)

حبله‌رود به دست آمد. در شکل ۱ موقعیت این ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود. به منظور بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی سالانه، رگرسیون خطی و شیب خط روند استفاده شد. در ادامه معناداری یا عدم معناداری روند تغییرات و جهت و نرخ روند تغییرات برای هر کدام از متغیرهای مورد بررسی در مقیاس سالانه مشخص شد.

۲-۲-۲-۲ تعیین نقطه تغییر در دبی سالانه

زمان ایجاد تغییر معنادار در سری‌های زمانی (نقطه تحول) از اهمیت ویژه‌ای در توصیف رفتار آن‌ها برخوردار است. به منظور تشخیص نقطه تغییر در سری‌های زمانی، روش‌های متعددی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بعضی از روش‌های رایج عبارتند از: آزمون من-کندال دنباله‌ای^۱ یا آزمون جهش من-کندال^۲، آزمون پتیت، آزمون دامنه بویژاند^۳، آزمون U بویژاند^۴، آزمون همگنی استاندارد نرمال^۵، آزمون جرم مضاعف و آزمون لانزانت^۶ که در این پژوهش آزمون پتیت و آزمون لانزانت مورد استفاده قرار گرفته است. به دلیل این که تمام این آزمون‌ها، روش‌های تجربی هستند و روابط و فرضیات مورد استفاده در آن‌ها متفاوت است. بنابراین، برای حصول اطمینان و اعتبار بالای نتایج شناسایی نقطه تغییر از روش‌های مختلف تحلیل نقطه تغییر استفاده شد و در صورت شباهت آن‌ها (علی‌رغم تفاوت‌های جزئی)، از میانگین روش‌ها برای تعیین نقطه تغییر معنادار استفاده می‌شود. تمام محاسبات مربوط به تعیین نقطه تغییر با استفاده از روش‌های زیر در محیط نرم‌افزار آماری R انجام شد.

۲-۲-۲-۱-۱ آزمون پتیت

یکی از روش‌های مورد استفاده برای تعیین نقاط تغییر معنادار در سری‌های زمانی، روش ناپارامتری پیشنهاد شده توسط Pettitt (1979) است. این روش معمولاً برای تشخیص تغییرات در سری هیدرولوژیکی و هم‌چنین سری‌های آب و هوایی مورد استفاده قرار گرفته است. در حقیقت در این روش هر عدد سری زمانی با عدد قبل از خود مقایسه و میزان تفاوت آن‌ها به صورت تراکمی و در مقطعی از زمان که مقدار تراکمی این تغییرات به حدی افزایش می‌یابد که معنادار شود آن مقطع زمانی به عنوان نقطه شروع معنادار شدن تغییرات محسوب و انتخاب می‌شود. بنابراین این بدان معنا نیست که نقطه تغییر منتخب، ضرورتاً مقطع زمانی است که تغییرات ناگهانی در

¹ Sequence Mann-Kendall Test

² Mann-Kendall Mutation Test

³ Buishand Range Test

⁴ Buishand U Test

⁵ Standard Normal Homogeneity Test

⁶ Lanzante

متغیرهای بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل هم محاسبه شود. روابط مورد استفاده برای محاسبه نرخ تغییرات شیب تبخیر-تعرق پتانسیل (RSET) به درصد و سهم آن بر رواناب (CET) به صورت زیر است.

$$R_{SET} = \frac{S_{IIET} - S_{IET}}{S_{IET}} \times 100\% \quad (15)$$

$$C_{ET} = \frac{R_{SET}}{R_{SR}} \times 100\% \quad (16)$$

به طوری که SIET و IIET شیب‌های رابطه همبستگی بین سال و تبخیر-تعرق پتانسیل تجمعی قبل و بعد از نقطه تغییر (میلی متر در سال) است.

۲-۲-۳- روش منحنی‌های جرم مضاعف

استفاده از منحنی‌های جرم مضاعف یکی از روش‌های تحلیل مقایسه‌ای مفید برای ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی و مداخلات انسانی بر روند دبی جریان است. برخلاف روش‌های تحلیل حساسیت و مدل‌سازی هیدرولوژیکی که نیازمند داده‌های زیاد می‌باشند، روش منحنی جرم مضاعف نیازمند داده‌های زیاد نیست. در این روش بین مقادیر تجمعی دبی جریان و مقادیر تجمعی متغیرهای اقلیمی تأثیرگذار هم‌چون بارندگی، دما و تبخیر-تعرق روابط رگرسیونی برقرار می‌شود. با توجه به این که به طور کلی رابطه همبستگی خوبی بین دبی جریان و مقادیر بارش و یا تبخیر-تعرق وجود دارد، در صورت وقوع تغییرات اقلیمی، دبی جریان هم متناسب با تغییرات اقلیمی تغییر خواهد یافت و ترسیم مقادیر تجمعی آن‌ها روی یک دستگاه محور مختصات دو بعدی منجر به یک خط مستقیم خواهد شد. اما از آنجایی که دبی جریان تحت تأثیر مداخلات انسانی نیز ممکن است تغییر یابد، در صورت وقوع چنین مداخلاتی، ترسیم مقادیر تجمعی دبی جریان در مقابل متغیرهای اقلیمی تأثیرگذار منجر به یک خط مستقیم نخواهد شد و از نقطه‌ای که تأثیر مداخلات انسانی چشم‌گیر می‌شود شکستگی و انحراف در مسیر خط همبستگی بین مقادیر تجمعی دبی و متغیرهای اقلیمی ایجاد خواهد شد. به عبارتی دبی جریان از حالت طبیعی خود خارج شده و دچار تغییرات ناشی از مداخلات انسانی می‌شود. با توجه به این واقعیت علمی، پژوهشگران در طول دو دهه گذشته از روش منحنی‌های جرم مضاعف به عنوان ابزاری مفید برای تحلیل و تفکیک تغییرات دبی جریان ناشی از تغییرات اقلیمی و مداخلات انسانی بهره جسته‌اند (Gao et al., 2016; Zhang et al., 2018). در این پژوهش، از روش‌های مختلف منحنی‌های جرم مضاعف هم‌چون رابطه رگرسیونی بین مقادیر تجمعی دبی-مقادیر تجمعی بارش، رابطه رگرسیونی بین مقادیر

روش نسبت تغییر شیب مقدار تجمعی بارندگی و دما را به عنوان فاکتورهای تغییرات اقلیمی برای تفکیک سهم تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر تغییرات رواناب در نظر می‌گیرد. سهم بارندگی بر تغییرات رواناب به صورت نسبت نرخ تغییرات شیب بارندگی تجمعی به نرخ تغییرات شیب رواناب تجمعی بیان می‌شود. در حالی که سهم دما بر تغییرات رواناب به صورت نسبت نرخ تغییرات شیب دمای تجمعی بر نرخ تغییرات شیب رواناب تجمعی بیان می‌شود. سهم مداخلات انسانی بر تغییرات رواناب می‌تواند به صورت ۱۰۰ منهای حاصل جمع سهم تغییرات بارش و دما بر رواناب محاسبه شود. مراحل مختلف استفاده از این روش عبارتند از:

نرخ‌های تغییرات شیب بارش (RSP)، دما (RST) و رواناب (RSR) تجمعی به درصد به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$R_{SP} = \frac{S_{IIP} - S_{IP}}{S_{IP}} \times 100\% \quad (8)$$

$$R_{ST} = \frac{S_{IIT} - S_{IT}}{S_{IT}} \times 100\% \quad (9)$$

$$R_{SR} = \frac{S_{IIR} - S_{IR}}{S_{IR}} \times 100\% \quad (10)$$

به طوری که SIP و IIP شیب‌های رابطه همبستگی بین سال و بارش تجمعی قبل و بعد از نقطه تغییر (میلی متر در سال)؛ SIT و IIIT شیب‌های رابطه همبستگی بین سال و دمای تجمعی قبل و بعد از نقطه تغییر (درجه سانتی‌گراد در سال) و SIR و IIR شیب‌های رابطه همبستگی بین سال و رواناب تجمعی قبل و بعد از نقطه تغییر (مترمکعب بر ثانیه در سال) هستند. سهم تغییرات اقلیمی بر رواناب به صورت زیر بیان می‌شود:

$$C_P = \frac{R_{SP}}{R_{SR}} \times 100\% \quad (11)$$

$$C_T = \frac{R_{ST}}{R_{SR}} \times 100\% \quad (12)$$

$$C_C = C_P + C_T \quad (13)$$

به طوری که C_P و C_T سهم‌های تغییرات بارش و دما بر تغییرات رواناب هستند و C_C سهم تغییرات اقلیمی بر تغییرات رواناب است. هم‌چنین، سهم مداخلات انسانی (CH) بر تغییرات رواناب به صورت رابطه (۱۴) بیان می‌شود.

$$C_H = 100\% - C_C \quad (14)$$

در این پژوهش، علاوه بر استفاده از متغیرهای بارش و دما در تعیین سهم اثر تغییرات اقلیمی بر رواناب، از آنجایی که بارش و تبخیر-تعرق مولفه‌های اصلی بیلان هیدرولوژیکی طولانی مدت هستند یکبار هم از تبخیر-تعرق پتانسیل به عنوان متغیر اقلیمی جایگزین متغیر دما استفاده شد تا سهم تغییرات اقلیمی با استفاده از

تجمعی بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل استفاده شد که روابط آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

تجمعی دبی- مقادیر تجمعی اختلاف بین بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل، رابطه رگرسیونی بین مقادیر تجمعی دبی-مقادیر تجمعی بارش و دما و رابطه رگرسیونی بین مقادیر تجمعی دبی-مقادیر

جدول ۱- روابط روش‌های مختلف منحنی‌های جرم مضاعف
Table 1- Equations of different methods of double mass curves

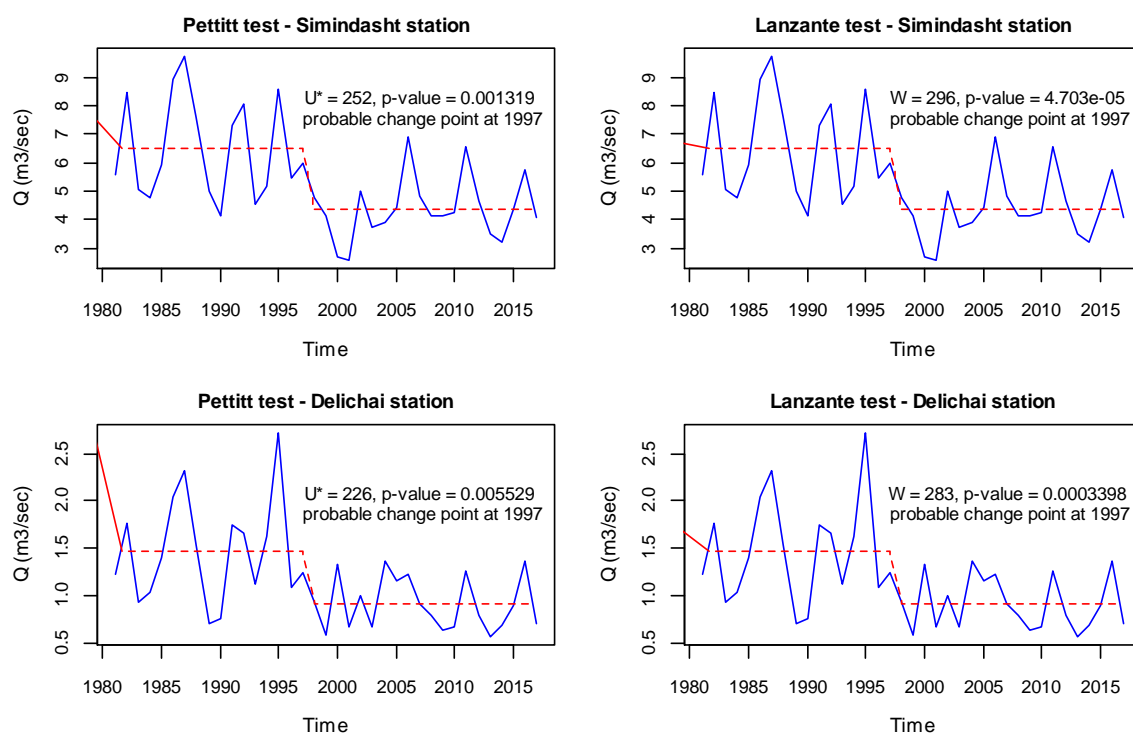
ردیف	نام روش	علامت	رابطه رگرسیونی
1	منحنی جرم مضاعف دبی-بارش	DMC-Q(P)	$\sum_{i=1}^t Q_i = a + b \sum_{i=1}^t P_i$
2	منحنی جرم مضاعف دبی-اختلاف بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل	DMC-Q(P-ET)	$\sum_{i=1}^t Q_i = a + b \sum_{i=1}^t (P_i - PET_i)$
3	همبستگی چندمتغیره بین مقادیر تجمعی دبی-مقادیر تجمعی بارش و دما	MR-Q(P, T)	$\sum_{i=1}^t Q_i = a + b \sum_{i=1}^t P_i + c \sum_{i=1}^t T_i$
4	همبستگی چندمتغیره بین مقادیر تجمعی دبی-مقادیر تجمعی بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل	MR-Q(P, ET)	$\sum_{i=1}^t Q_i = a + b \sum_{i=1}^t P_i + c \sum_{i=1}^t PET_i$

برای ایستگاه سیمین‌دشت و دلپچای در شکل ۲ ارائه شده است. در هر دو روش، محل نقطه تغییر با تغییر ناگهانی در خط نقطه‌چین که نشان‌دهنده میانگین سری داده‌هاست ارائه شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از تعیین نقطه تغییر در جریان دبی

بر اساس سری‌های دبی متوسط سالانه ایستگاه سیمین‌دشت و دلپچای، سال شروع تغییر معنادار (نقطه تغییر) با استفاده از آزمون‌های آماری پتیت و لانزانتی شناسایی شد. نتایج استفاده از این آزمون‌ها

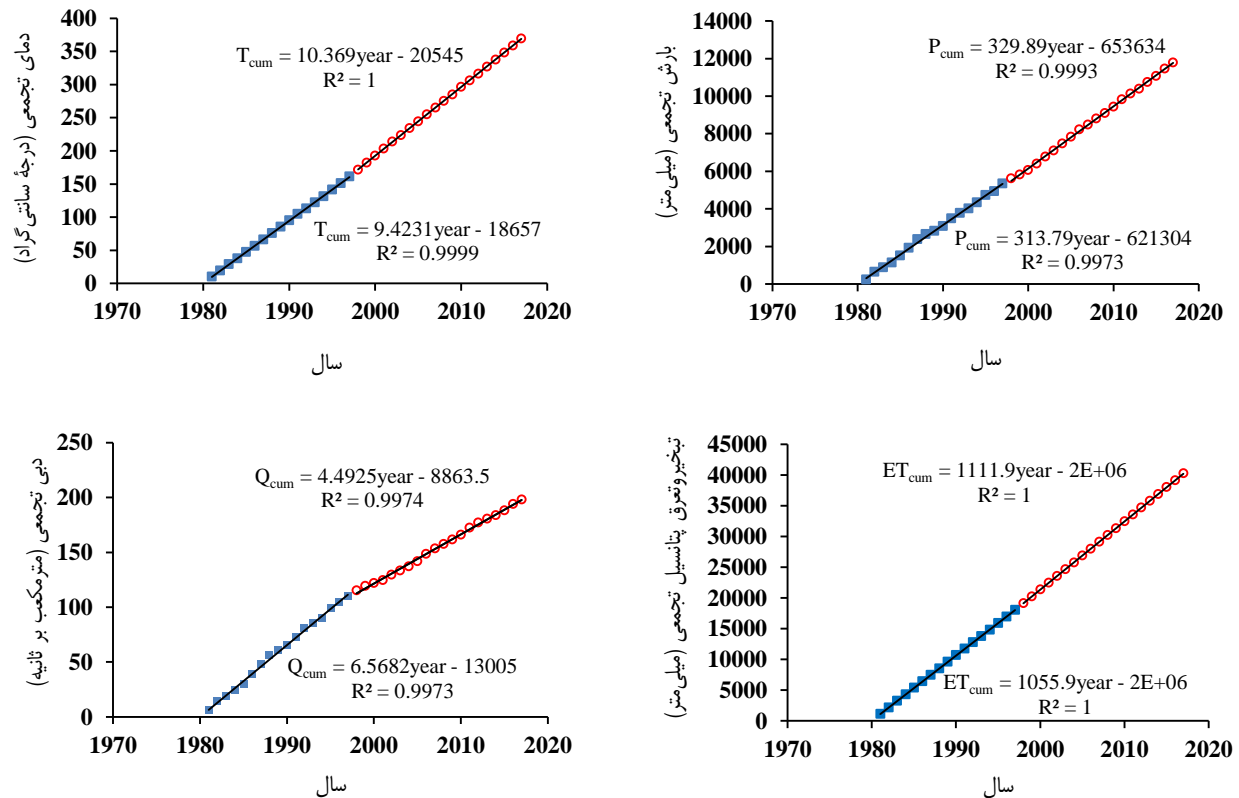


شکل ۲- نتایج آزمون‌های تعیین نقطه تغییر برای سری آب‌دهی متوسط سالانه زیرحوزه‌های آبخیز سیمین‌دشت و دلپچای

Figure 2- Results of change point detecting tests for the average annual discharge time series at the Simindasht and Dalichay hydrometry station

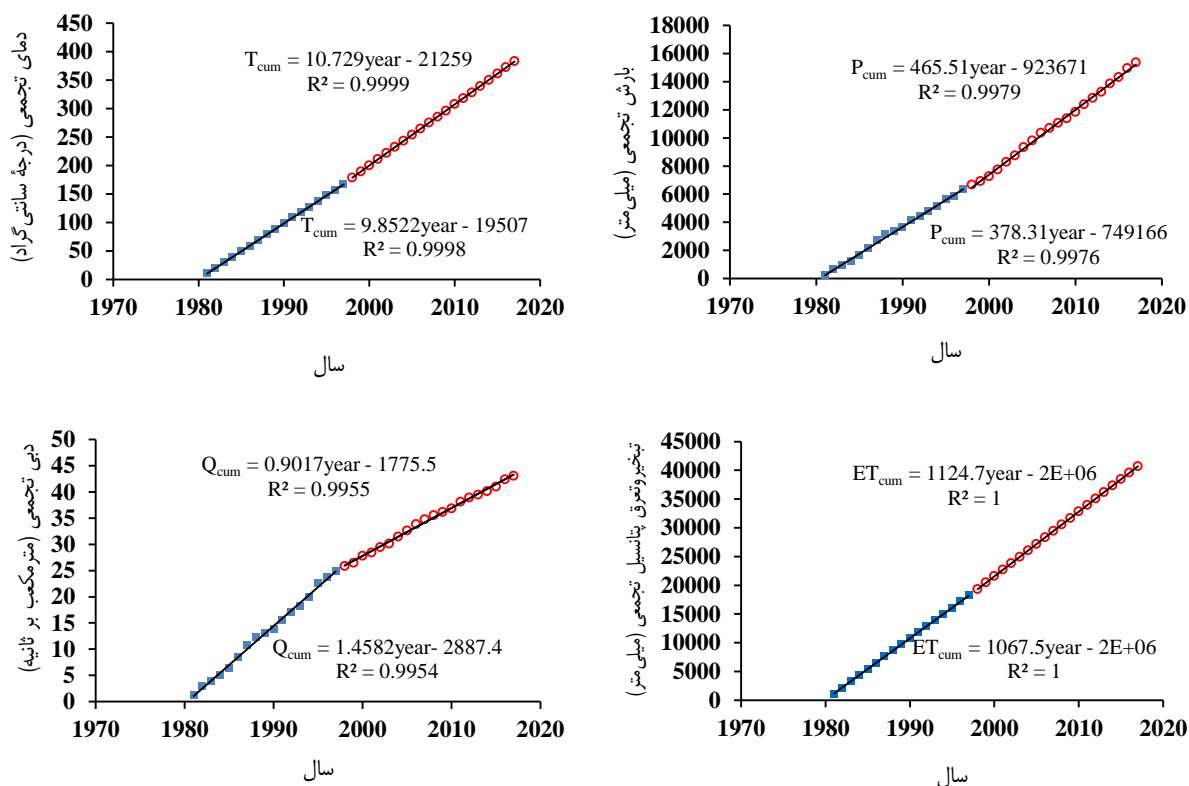
افزایش یافته است. بنابراین، در این مطالعه یک‌بار تغییر شیب مقدار تجمعی دبی نسبت به تغییر شیب مقادیر تجمعی بارش و دما (روش محاسبه اول) و بار دیگر تغییر شیب مقدار تجمعی دبی نسبت به تغییر شیب مقادیر تجمعی بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل (روش محاسبه دوم) محاسبه شد تا سهم تغییر اقلیم (بارش و دما و یا بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل) مشخص شود. نتایج این محاسبات در جدول ۲ خلاصه شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود سهم تغییرات اقلیمی در هر دو حالت کمتر از سهم مداخلات انسانی است. اگر چه مقادیر سهم نسبی تغییرات اقلیمی و مداخلات انسانی در دو حالت (رابطه دبی-بارش و دما و دبی-بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل) متفاوت است اما روند تأثیرگذاری آن‌ها در زیرحوضه آبخیز مشابه است.

۳-۳- نتایج حاصل از روش نسبت تغییر شیب مقدار تجمعی (SCRAQ) نتایج کاربرد روش SCRAQ برای ایستگاه‌های سیمین‌دشت و دلچای در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو ایستگاه مورد بررسی شیب خط مقدار تجمعی دبی در دوره بعد از تغییر، کمتر از دوره قبل از تغییر است. به عبارتی در هر دو ایستگاه، آب‌دهی رودخانه‌ها کاهش یافته است. در حالی که شیب خط مقدار تجمعی متوسط بارش در دوره بعد از تغییر حتی بیش‌تر از دوره قبل از تغییر است. به عبارتی اگر روند آب‌دهی این زیرحوضه‌های آبخیز از روند بارش تبعیت کند بایستی میزان آب‌دهی آن‌ها نه تنها کاهش یابد بلکه انتظار می‌رود افزایش نیز پیدا کند. البته شیب خط تجمعی میانگین دما و تبخیر-تعرق پتانسیل هر دو ایستگاه در دوره بعد از تغییر بیش‌تر از دوره قبل از تغییر است. به عبارتی نرخ تلفات آب زیرحوضه‌های آبخیز به‌صورت تبخیر-تعرق در دوره بعد از تغییر



شکل ۳- نتایج روش SCRAQ برای زیرحوضه سیمین‌دشت (مربع آبی و دایره قرمز رنگ به ترتیب دوره قبل و بعد از نقطه تغییر را نشان می‌دهند)

Figure 3- Results of SCRAQ method for Simindasht sub-watershed (the blue square and the red circle show the period before and after the change point, respectively)



شکل ۴- نتایج روش SCRAQ برای زیرحوضه دلیچای (مربع آبی و دایره قرمز رنگ به ترتیب دوره قبل و بعد از نقطه تغییر را نشان می‌دهند)
Figure 4- Results of SCRAQ method for the Dalichay sub-watershed (the blue square and the red circle show the period before and after the change point, respectively)

جدول ۲- تعیین سهم تغییرات اقلیمی و مداخلات انسانی به روش SCRAQ برای حوضه حبله‌رود (اعداد مثبت بیان‌گر افزایش یا اثر افزایشی و اعداد منفی بیان‌گر کاهش یا اثر کاهنده هستند)

Table 2- Determining the contribution of climate change and human interventions using the SCRAQ method for the Hablehrood watershed (Positive values indicate increment or increasing effect and negative values indicate decline or decreasing effect)

دلیچای	سیمین‌دشت	علامت	متغیر	
1997	1997	-	نقطه تغییر (سال)	
-38.16	-31.60	R_{SR}	نرخ تغییرات شیب رواناب	
23.05	5.13	R_{SP}	نرخ تغییرات شیب بارش	
8.90	10.04	R_{ST}	نرخ تغییرات شیب دما	
5.36	5.30	R_{SET}	نرخ تغییرات شیب تبخیر-تعرق پتانسیل	
60.40	16.24	C_P	سهم بارش در تغییرات رواناب (درصد)	
-23.32	-31.76	C_T	سهم دما در تغییرات رواناب (درصد)	
-13.88	-16.78	C_{ET}	سهم تبخیر-تعرق پتانسیل در تغییرات رواناب (درصد)	
37.08	-15.53	C_{C1}	سهم تغییرات اقلیمی (بارش و دما) (درصد)	روش محاسبه ۱
-137.08	-84.47	C_{H1}	سهم مداخلات انسانی (درصد)	
39.72	-0.55	C_{C2}	سهم تغییرات اقلیمی (بارش و تبخیر-عرق پتانسیل) (درصد)	روش محاسبه ۲
-139.72	-99.45	C_{H2}	سهم مداخلات انسانی (درصد)	

۳-۴ نتایج حاصل از روش منحنی‌های جرم مضاعف

پارامترهای آن‌ها برای زیرحوضه‌های آبخیز مختلف در جدول ۴ ارائه شده است.

نتایج کاربرد انواع روش‌های منحنی جرم مضاعف در جدول ۳ و روابط کلی روش‌های مختلف منحنی جرم مضاعف و مقادیر

جدول ۳- مقادیر پارامترهای روابط همبستگی مورد استفاده در روش‌های مختلف منحنی جرم مضاعف
Table 3- Parameters values of the correlation equations used for different methods of double mass curve

ردیف	روش	رابطه رگرسیونی	سیمین‌دشت	دلیچای
1	DMC-Q(P)	$\sum_{i=1}^t Q_i = a + b \sum_{i=1}^t P_i$	a = -0.1391 b = 0.0209 R ² = 0.999	a = 0.113 b = 0.0039 R ² = 0.997
2	DMC-Q(P-ET)	$\sum_{i=1}^t Q_i = a + b \sum_{i=1}^t (P_i - PET_i)$	a = -0.717 b = -0.0088 R ² = 0.995	a = -0.89 b = -0.0002 R ² = 0.991
3	MR-Q(P, T)	$\sum_{i=1}^t Q_i = a + b \sum_{i=1}^t P_i + c \sum_{i=1}^t T_i$	a = -0.232 b = 0.016 c = 0.151 R ² = 0.999	a = 0.02 b = 0.0033 c = 0.021 R ² = 0.997
4	MR-Q(P, ET)	$\sum_{i=1}^t Q_i = a + b \sum_{i=1}^t P_i + c \sum_{i=1}^t PET_i$	a = -0.2662 b = 0.0164 c = 0.0013 R ² = 0.999	a = 0.0539 b = 0.0035 c = 0.00012 R ² = 0.997

جدول ۴- نتایج روش‌های منحنی جرم مضاعف (اعداد مثبت بیان‌گر افزایش یا اثر افزایشی و اعداد منفی بیان‌گر کاهش یا اثر کاهش‌دهنده هستند).

Table 4- Results of double mass curve methods (positive values indicate increment or increasing effect and negative values indicate decline or decreasing effect)

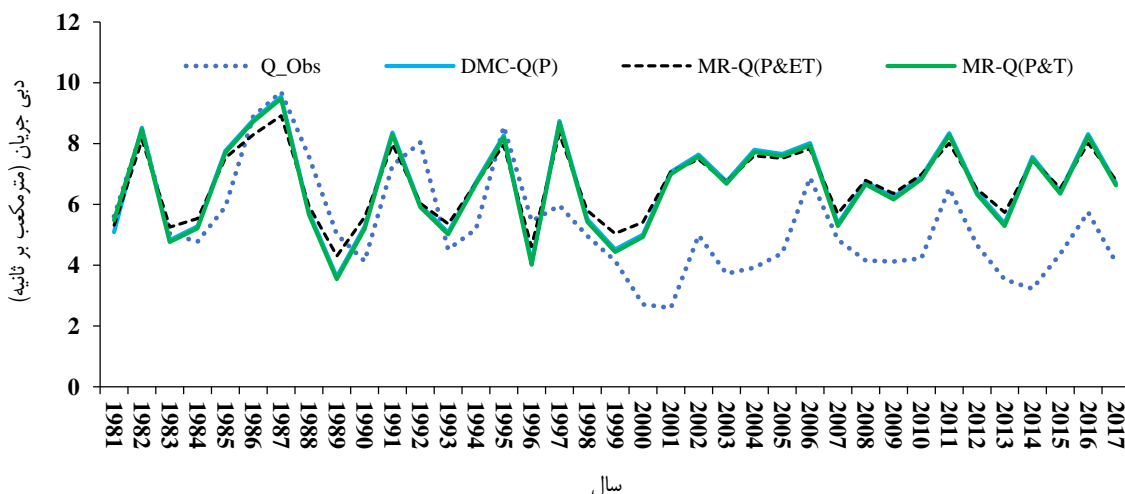
دلیچای	سیمین‌دشت	علامت	متغیر	
1.39	6.28	Q1	متوسط دبی دوره قبل از تغییر (مترمکعب بر ثانیه)	DMC-Q(P)
0.92	4.38	Q2	متوسط دبی دوره بعد از تغییر (مترمکعب بر ثانیه)	
-0.47	-1.90	ΔQ^{total}	میزان تغییرات دبی (مترمکعب بر ثانیه)	
364.65	307.01	P1	متوسط بارش دوره قبل از تغییر (میلی‌متر)	
468.13	330.55	P2	متوسط بارش دوره بعد از تغییر (میلی‌متر)	DMC-Q(P-ET)
103.48	23.54	ΔP	میزان تغییرات بارش (میلی‌متر)	
9.95	9.59	T1	متوسط دمای سالانه دوره قبل از تغییر (درجه سانتی‌گراد)	
10.78	10.41	T1	متوسط دمای سالانه دوره بعد از تغییر (درجه سانتی‌گراد)	
0.82	0.82	ΔT	میزان تغییرات دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد)	MR-Q(P, T)
1077.18	1065.04	PET1	متوسط تبخیر-تعرق دوره قبل از تغییر (میلی‌متر)	
1125.09	1112.25	PET2	متوسط تبخیر-تعرق دوره بعد از تغییر (میلی‌متر)	
47.92	47.20	ΔPET	میزان تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل (میلی‌متر)	
0.43	0.57	ΔQ^c	سهم تغییرات اقلیمی در تغییرات دبی (مترمکعب بر ثانیه)	MR-Q(P, ET)
92.92	29.78	% Q _c	سهم تغییرات اقلیمی در تغییرات دبی (درصد)	
-0.90	-2.47	ΔQ^H	سهم تغییرات انسانی در تغییرات دبی (مترمکعب بر ثانیه)	
-192.92	-129.78	% Q _H	سهم تغییرات انسانی در تغییرات دبی (درصد)	
-0.01	0.45	ΔQ^c	سهم تغییرات اقلیمی در تغییرات دبی (مترمکعب بر ثانیه)	MR-Q(P, ET)
-2.50	23.48	% Q _c	سهم تغییرات اقلیمی در تغییرات دبی (درصد)	
-0.46	-2.35	ΔQ^H	سهم تغییرات انسانی در تغییرات دبی (مترمکعب بر ثانیه)	
-97.50	-123.48	% Q _H	سهم تغییرات انسانی در تغییرات دبی (درصد)	
0.42	0.56	ΔQ^c	سهم تغییرات اقلیمی در تغییرات دبی (مترمکعب بر ثانیه)	MR-Q(P, ET)
90.59	29.44	% Q _c	سهم تغییرات اقلیمی در تغییرات دبی (درصد)	
-0.89	-2.46	ΔQ^H	سهم تغییرات انسانی در تغییرات دبی (مترمکعب بر ثانیه)	
-190.59	-129.44	% Q _H	سهم تغییرات انسانی در تغییرات دبی (درصد)	
0.43	0.56	ΔQ^c	سهم تغییرات اقلیمی در تغییرات دبی (مترمکعب بر ثانیه)	MR-Q(P, ET)
92.31	29.48	% Q _c	سهم تغییرات اقلیمی در تغییرات دبی (درصد)	
-0.90	-2.46	ΔQ^H	سهم تغییرات انسانی در تغییرات دبی (مترمکعب بر ثانیه)	
-192.31	-129.48	% Q _H	سهم تغییرات انسانی در تغییرات دبی (درصد)	

است، بلکه مطابق اکثر روش‌های منحنی جرم مضاعف، در اثر تغییرات اقلیمی، دبی زیرحوزه‌های آبخیز مذکور بایستی افزایش هم

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود سهم تغییرات اقلیمی در کاهش آب‌دهی زیرحوزه‌های آبخیز حبله‌رود نه تنها ناچیز

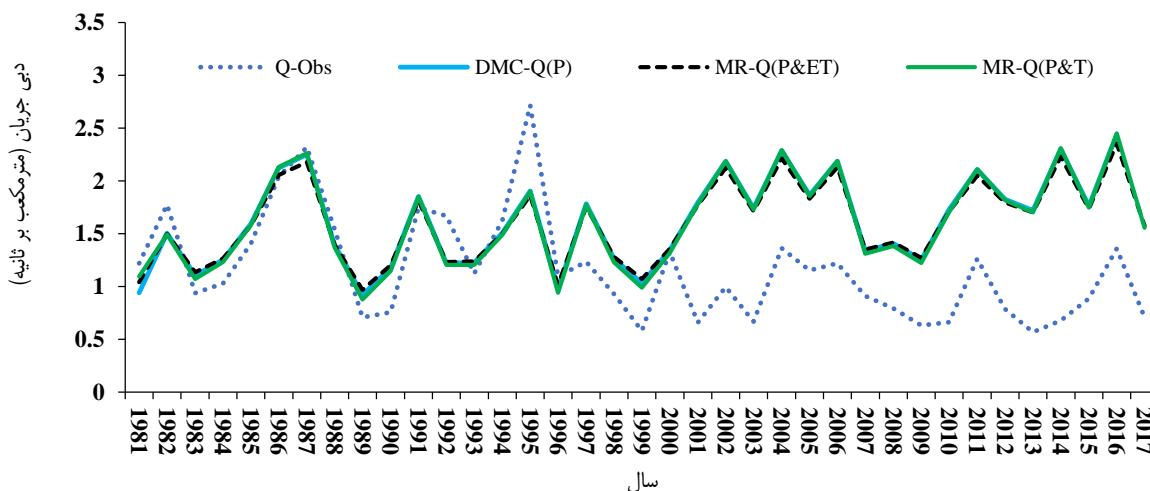
ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه با استفاده از متغیرهای اقلیمی وجود دارد. اما در ادامه، فاصله بین سری‌های مشاهداتی و برآوردی که نشان‌دهنده اثر مداخلات مستقیم انسانی بر کاهش آبدهی است، به شدت افزایش یافته است. نکته مهم دیگر این است که بین روش‌های مختلف برآورد دبی با استفاده از منحنی‌های جرم مضاعف خیلی ناچیز است که نشان‌دهنده استواری نتایج روش‌های مورد استفاده است.

می‌یافت. چون در اکثر زیرحوزه‌های آبخیز حبله‌رود بارش متوسط سالانه دارای روند صعودی است. این در حالی است که سهم تغییرات انسانی در کاهش آبدهی بسیار زیاد است. نتایج حاصل از برآورد دبی ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز حبله‌رود با استفاده از روش‌های مختلف منحنی جرم مضاعف در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تا اواسط دهه ۱۹۹۰ توافق خوبی بین سری زمانی دبی مشاهداتی و دبی برآورده شده سالانه



شکل ۵- دبی برآورد شده ایستگاه هیدرومتری سیمین‌دشت با روش‌های مختلف منحنی جرم مضاعف

Figure 5- Estimated discharge at the Simindasht hydrometry station with different methods of double mass curve



شکل ۶- دبی برآورد شده ایستگاه هیدرومتری دلچای با روش‌های مختلف منحنی جرم مضاعف

Figure 6- Estimated discharge at the Dalichay hydrometry station with different double mass curve methods

یافت. (Hasanzadeh et al. (2021) در حوزه آبخیز دره‌رود بیان کردند کاهش رواناب تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی است.

نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج سایر پژوهش‌ها مطابقت دارد. برای مثال، (Hayatzadeh et al. (2018) در حوزه آبخیز فخرآباد یزد بیان کردند در اثر تغییر اقلیم رواناب افزایش خواهد

سپس با استفاده از آزمون‌های آماری پتیت ولانزانته، نقطه تغییر معنادار در سری دبی سالانه آن‌ها شناسایی شد. نتایج هر دو آزمون نشان داد که در هر دو ایستگاه هیدرومتری در اواسط دهه ۱۹۹۰ میلادی رژیم هیدرولوژیکی حوزه آبخیز تغییر پیدا کرده و آب‌دهی متوسط سالانه در دوره بعد از نقطه تغییر به شدت کاهش یافته است. برای بررسی دلیل کاهش آب‌دهی، از روش‌های تجربی نسبت تغییر شیب مقدار تجمعی و منحنی‌های جرم مضاعف استفاده شد تا سهم اثر تغییر اقلیم و مداخلات انسانی در کاهش آب‌دهی رودخانه حبله‌رود کمی‌سازی شود. از آن‌جایی که بارش، دما و تبخیر-تعرق پتانسیل از عناصر کلیدی اقلیمی محسوب می‌شوند در هر دو روش مورد استفاده، رابطه بین دبی و بارش، رابطه بین دبی و بارش و دما، رابطه بین دبی و بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل مورد تحلیل قرار گرفت تا ابتدا سهم پیشران‌های اقلیمی بر مقادیر آب‌دهی محاسبه شود. مطابق روش‌های تجربی، بعد از محاسبه سهم متغیرهای اقلیمی بر تغییرات آب‌دهی، باقی‌مانده تغییرات آب‌دهی به مداخلات انسانی منتسب می‌شود. نتایج هر دو روش تجربی تفکیک سهم تغییر اقلیم و مداخلات انسانی و شیوه‌های مختلف تفکیک توسط این روش‌ها، اگر چه تفاوت‌هایی از نظر مقدار عددی سهم تغییر اقلیم و مداخلات انسانی را در حوزه آبخیز حبله‌رود نشان می‌دهند، اما الگوی کلی نتایج شباهت خیلی زیادی به هم دارند. به طوری که نتایج روش SCRAQ، نشان می‌دهد که تغییر اقلیم به مقدار اندکی باعث کاهش آب‌دهی در زیرحوزه آبخیز سیمین‌دشت شده است ولی برای زیرحوزه آبخیز دلیچای اندکی سهم افزایشی در آب‌دهی را نشان می‌دهد. درحالی‌که در روش منحنی‌های جرم مضاعف، به‌استثنای رابطه بین مقادیر تجمعی دبی، اختلاف بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل سایر روابط مورد استفاده، برای هر دو زیرحوزه آبخیز سیمین‌دشت و دلیچای سهم تغییر اقلیم را در آب‌دهی به‌صورت افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اثر تغییر اقلیم بر آب‌دهی رودخانه‌های حوزه آبخیز حبله‌رود نه تنها کاهشدهنده، بلکه افزایشدهنده است. نتایج پژوهش‌های پیشین در این حوزه آبخیز نشان می‌دهد که متغیر بارش که عامل اصلی تأثیرگذار بر رژیم هیدرولوژیکی آبخیزهاست، در طول دهه‌های گذشته کاهش معناداری را نشان نمی‌دهد و حتی در تعدادی از ایستگاه‌های پایش اقلیمی، مقدار بارندگی سالانه افزایش یافته است (Ziaee et al., 2022a; Naderi et al., 2017). البته تمام پژوهش‌های پیشین در منطقه نشان می‌دهند که افزایش دمای معناداری در این حوزه آبخیز اتفاق افتاده است که می‌تواند باعث کاهش آب‌دهی حوزه آبخیز شود، اما موازنه اثر افزایش بارش و کاهش دما بر آب‌دهی

هم‌چنین، Huo et al. (2008) که در حوضه رودخانه طارم کاهش رواناب سطحی را تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی دانستند. Wang et al. (2012) بیان کردند که فعالیت‌های انسانی در درجه اول مسئول کاهش رواناب در حوضه رودخانه Huaihe است. از طرفی، Alaoui et al. (2014) در حوضه یورسرن در دره کوه‌های آلپ بیان کردند که دبی سالانه در اثر تغییر کاربری اراضی شش درصد و در اثر تغییر اقلیم پنج درصد کاهش یافته است، Zhang et al. (2017) در حوضه رودخانه سانگ کان فوقانی که دریافتند فعالیت‌های انسانی نقش اصلی را در کاهش رواناب دارد، Ahmed et al. (2019) در حوضه رود نیل که تغییرات رژیم جریان را به علت مداخلات انسانی می‌دانند. در ادامه، Liu et al. (2021) نشان دادند کاهش جریان در بخش میانی و پایینی رودخانه زرد چین بیش‌تر به دلیل اقدامات و مداخلات انسانی بوده است. Xu et al. (2022) دریافتند فعالیت‌های انسانی، ساخت سد و بهره‌برداری از منابع آب همگی تأثیر قابل‌توجهی بر تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه زرد در کشور چین داشته است. نتایج به‌دست آمده با برخی از پژوهش‌ها مطابقت ندارد. برای مثال، Rezaei et al. (2022) در حوزه آبخیز کیار در استان چهار محال و بختیاری بیان کردند که تأثیر تغییرات بارش بر میزان دبی بیش از تغییرات کاربری اراضی بوده است. Saidi et al. (2018) در حوضه رودخانه آلپ نشان دادند که تغییرپذیری آب و هوا ۸۵ درصد از کاهش جریان را به خود اختصاص داده و تغییر باقی‌مانده می‌تواند ناشی از تغییر کاربری اراضی باشد. علاوه بر این، Reddy et al. (2021) بیان نمودند که تغییر اقلیم بر دبی خروجی حوضه غاتا‌پراپها در کشور هند تأثیرگذارتر است. بررسی نتایج مطالعات پیشین در این حوزه آبخیز نشان می‌دهد که تغییرات گسترده کاربری اراضی از مراتع و دیمزارها به اراضی کشاورزی آبی (توسعه زراعت آبی و باغات) صورت گرفته است (Naderi et al., 2022b) و میزان مصرف آب در واحد سطح این اراضی بسیار بالا و ضریب بهره‌وری آب نیز پائین است (Tehran Soil and Water Engineering Consulting Corporation, 2013). این شرایط بیان‌گر برداشت بی‌رویه از منابع آب سطحی جاری در رودخانه‌ها و مصرف نامناسب آب است که جزء مداخلات مستقیم انسانی محسوب می‌شوند و باعث کاهش آب‌دهی در رودخانه‌های حوزه آبخیز حبله‌رود شده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، ابتدا آمار طولانی‌مدت ایستگاه‌های هیدرومتری سیمین‌دشت و دلیچای جمع‌آوری و مورد پردازش اولیه قرار گرفت.

پیشنهاد می‌شود تمرکز اصلی سیاست‌ها و اقدامات مدیریتی، بایستی روی مدیریت مداخلات انسانی در حوزه آبخیز حبله‌رود، بهره‌برداری بهینه متناسب با پتانسیل منابع آب منطقه و جلوگیری از بهره‌برداری بیش از توان آن‌ها به‌ویژه بهره‌برداری‌های غیرمجاز از طریق کانال‌های انحراف آب و پمپاژ آب به‌وسیله موتور پمپ‌های دیزلی و الکتریکی و ذخیره آب در استخرهای روباز باشد.

سپاسگزاری

مطالب این مقاله برگرفته از نتایج طرح تحقیقاتی "تعیین سهم مداخلات انسانی و تغییر اقلیم در کاهش آب‌دهی رودخانه‌های حبله‌رود" به سفارش شرکت آب منطقه‌ای استان تهران است. بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی و معنوی شرکت آب منطقه‌ای استان تهران و معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تقدیر و تشکر می‌شود.

رحمانی، م.، صادقی، ف.، منتظری، م.، و حقدادی، م. (۱۳۹۶). تدوین برنامه مدیریت جامع حوزه آبخیز حبله رود. گزارش طرح تحقیقاتی، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۲۵۹ صفحه.

ضیایی، ن.، اوقنق، م.، عسگری، ح.، مساح بوانی، ع.، سلمان ماهینی، ع.، و حسینعلی‌زاده، م. (۱۳۹۶). مقایسه اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر شدت خطر و ریسک بیابان زایی حوضه حبله‌رود استان تهران. *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۶(۱۶)، ۱۰۵-۱۱۸.

کریمی سنگچینی، ا.، اوقنق، م.، سعدالدین، ا.، طهماسبی‌پور، ن.، و رضایی، ح. (۱۳۹۷). بررسی عوامل موثر بر مشارکت مردمی و پیش‌بینی پذیرش مردمی سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی حوزه حبله‌رود. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۰(۳)، ۲۸۰-۲۹۳.

کریمی سنگچینی، ا.، اوقنق، م.، سعدالدین، ا.، طهماسبی‌پور، ن.، و رضایی، ح. (۱۳۹۶). کاربرد مدل پویایی سیستم برای پیش‌بینی اثرات اجرای سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی بر ساختار اکولوژیک سیمای منظر حوضه حبله‌رود. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۹(۱)، ۵۸-۷۰.

مهندسین مشاور آب خاک تهران، (۱۳۹۲). پروژه مطالعات بهبود بهره برداری از آب‌های سطحی رودخانه حبله‌رود و سرشاخه‌های آن در استان تهران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، شرکت آب منطقه‌ای تهران، ۲۲۶ صفحه.

نادری، م.، شیخ، و.، بهره‌مند، ع.، کمکی، چ.، و قانقرمه، ع. (۱۴۰۱). تحلیل تغییرات رژیم جریان آب رودخانه‌ای با استفاده از شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله‌رود). *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۳)، ۱-۱۹.

باعث شده است که تغییر اقلیم سهم محسوسی در کاهش آب‌دهی رودخانه‌های حوزه آبخیز حبله‌رود نداشته باشد. بنابراین یافته‌های این پژوهش به وضوح نشان می‌دهد که دلیل اصلی کاهش آب‌دهی رودخانه‌های حوزه آبخیز حبله‌رود مداخلات مستقیم انسانی است که در قالب تغییر کاربری اراضی از مراتع و دیم‌زارها به کشاورزی آبی به‌ویژه باغات و ویلا-باغ‌ها اتفاق افتاده است که باعث افزایش مصرف آب در بخش کشاورزی می‌شود (Sheikh et al., 2017; Karimi Sangchini et al., 2017; Karimi Sangchini et al., 2018; Naderi et al., 2022b). یافته‌های این پژوهش برخلاف تصور عمومی، کارشناسان و مدیران محلی و منطقه‌ای است که عامل اصلی کاهش آب‌دهی رودخانه‌های حوزه آبخیز حبله‌رود را تغییر اقلیم می‌دانند. بنابراین نتایج پژوهش حاضر در آشکارسازی دلایل کاهش آب‌دهی رودخانه‌های حوزه آبخیز حبله‌رود و آگاهی‌بخشی به ذینفعان جهت بازنگری در دیدگاه‌های خویش و اعمال اقدامات مناسب جهت کاهش سهم اثرات مداخلات انسانی در آب‌دهی رودخانه‌های حبله‌رود می‌تواند مفید و کاربردی باشد.

منابع

رضایی، م.، امیدپور، ر.، رضایی، ا.، و نداف، م. (۱۴۰۱). مقایسه تاثیر تغییرات روند کاربری اراضی و بارش بر دبی سالانه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کیار). *مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز*، ۲(۲)، ۶۲-۷۴.

حسن‌زاده، ر.، اسفندیاری دارآباد، ف.، و اصغری، س. (۱۴۰۰). ارزیابی تغییرات کاربری اراضی بر دبی رودخانه دره رود در دوره (۱۳۸۸-۱۳۶۹) با استفاده از مدل HEC-HMS. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۰(۳)، ۱۵۷-۱۷۴.

حیات‌زاده، م.، و موسوی، و. (۱۳۹۷). مدل‌سازی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر شرایط هیدرولوژیکی حوزه آبخیز. *سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست با محوریت آبخیزداری و صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست*، دانشگاه محقق اردبیلی.

حجازی‌زاده، ز.، اکبری، م.، ساسانپور، ف.، حسینی، ع.، و محمدی، ن. (۱۴۰۱). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش‌های سیل آسا در استان تهران. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۲)، ۸۷-۱۰۵.

شیخ، و.، بابایی، ا.، و موشاخیان، ی. (۱۳۸۸). بررسی روند تغییرات رژیم بارش حوضه آبریز گرگانرود. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۳(۸)، ۲۹-۳۸.

شیخ، و.، سعدالدین، ا.، اوقنق، م.، نجفی‌نژاد، ع.، زارع، آ.، سلمان ماهینی، ع.، عبداللهیان، ح.، بارانی، ح.، کامکار، ب.، بایرام کمکی، چ.، محمدیان بهبهانی، ع.، عابدی سروسناتی، ا.، اسلامی، ا.، کرامت زاده، ع.، کامیاب، ح.، خسروی، غ.، اسدی نلیوان، ا.، الوندی، ا.

موردی: حوزه آبخیز جبله رود). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۹(۲)، ۱۱۳-۱۳۴.

References

- Ahmed, Y., Al-Faraj, F., Scholz, M., & Soliman, A. (2019). Assessment of upstream human intervention coupled with climate change impact for a transboundary river flow regime: Nile river basin. *Water Resources Management*, 33(7), 2485-2500.
- Alaoui, A., Willmann, E., Jasper, K., Felder, G., Herger, F., Magnusson, J., & Weingartner, R. (2014). Modelling the effects of land use and climate changes on hydrology in the Ursern Valley, Switzerland. *Hydrological Processes*, 28(10), 3602-3614.
- Baloch, M.A., Ames, D.P., & Tanik, A. (2015). Hydrologic impacts of climate and land-use change on Namnam stream in Koycegiz watershed, Turkey. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(5), 1481-1494.
- Dey, P., & Mishra, A. (2017). Separating the impacts of climate change and human activities on streamflow: A review of methodologies and critical assumptions. *Journal of Hydrology*, 548, 278-290.
- Du, J., He, F., Zhang, Z., & Shi, P. (2011). Precipitation change and human impacts on hydrologic variables in Zhengshui river basin, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(7), 1013-1025.
- Farinosi, F., Arias, M.E., Lee, E., Longo, M., Pereira, F.F., Livino, A., Moorcroft, P., & Briscoe, J. (2019). Future climate and land use change impacts on river flows in the Tapajós basin in the Brazilian Amazon. *Earth's Future*, 7(8), 993-1017.
- 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, 331-342.
- Gao, P., Mu, X.M., Wang, F., & Li, R. (2011). Changes in streamflow and sediment discharge and the response to human activities in the middle reaches of the Yellow river. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 1-10.
- Hasanzadeh, R., Esfandiari Darabad, F., & Asghari, S. (2021). Evaluating of land use changes on the discharge Darre Rood river in the period (1990-2019) using HEC_HMS model. *Quantitative Geomorphological Research*, 10(3), 157-174 (in Persian).
- Hayatzadeh, M., & Mousavi, V. (2018). Modeling the effect of climate change and land use change on the hydrological conditions of the watershed. The 13th National Conference on Watershed Management Science & Engineering of Iran and The 3rd National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment, Ardabil, Iran, Pp. 1-8 (in Persian).
- Hernandez, M., Miller, S.N., Goodrich, D.C., Goff, B.F., Kepner, W.G., Edmonds, C.M., & Bruce Jones, K. (2000). Modeling runoff response to land cover and rainfall spatial variability in semi-arid watersheds. *Monitoring Ecological Condition in the Western United States*, 64, 285-298.
- Huang, M., Zhang, L., & Gallichand, J. (2003). Runoff responses to afforestation in a watershed of the Loess Plateau, China. *Hydrological Processes*, 17(13), 2599-2609.
- 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.
- Hejazizadeh, Z., Akbari, M., Sasanpour, F., Hosseini, A., & Mohammadi, N. (2022). Investigating the effects of climate change on torrential rains in Tehran Province. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(2), 87-105 (in Persian).
- Karimi Sangchini, E., Ownegh, M., Sadoddin, A., Tahmasebipour, N., & Rezaee, H. (2017). A system dynamics model to predict the effects of vegetation-based management scenarios on structural landscape ecology in Hablehrud river basin. *Watershed Engineering and Management*, 9(1), 58-70 (in Persian).
- Karimi Sangchini, E., Ownegh, M., Sadoddin, A., Tahmasebipour, N., & Rezaee, H. (2018). An investigation on affecting factors on community participation and predicting the community acceptance of the vegetation-based management scenarios for the Hablerud river basin. *Watershed Engineering and Management*, 10(3), 280-293 (in Persian).
- Kundzewicz, Z.W., Mata, L.J., Arnell, N.W., Döll, P., Jiménez, B., Miller, K., & Shiklomanov, I. (2008). The implications of projected climate

- change for freshwater resources and their management. *Hydrological Sciences Journal*, 53(1), 3-10.
- Lanzante, J.R. (1996). Resistant, robust and non-parametric techniques for the analysis of climate data: Theory and examples, including applications to historical radiosonde station data. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 16(11), 1197-1226.
- Li, Z., Liu, W.Z., Zhang, X.C., & Zheng, F.L. (2009). Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. *Journal of Hydrology*, 377(1-2), 35-42.
- Liang, K., Liu, C., Liu, X., & Song, X. (2013). Impacts of climate variability and human activity on streamflow decrease in a sediment concentrated region in the Middle Yellow river. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(7), 1741-1749.
- Liu, S., Leslie, L.M., Speer, M., Bunker, R., & Mo, X. (2004). The effects of bushfires on hydrological processes using a paired-catchment analysis. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 86(1), 31-44.
- Liu, W., Shi, C., & Zhou, Y. (2021). Trends and attribution of runoff changes in the upper and middle reaches of the Yellow River in China. *Journal of Hydro-Environment Research*, 37, 57-66.
- Liu, X., Liu, W., & Xia, J. (2013). Comparison of the streamflow sensitivity to aridity index between the Danjiangkou reservoir basin and Miyun reservoir basin, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(3), 683-691.
- Naderi, M., Sheikh, V., Bahremand, A., Komaki, C.B., & Ghangermeh, A. (2022a). Analysis of river flow regime changes using the Indicators of hydrologic alteration (Case study: Hableroud watershed). *Water and Soil Management and Modelling*, 3(3), 1-19 (in Persian).
- Naderi, M., Sheikh, V., Komaki, C., Bahremand, A., Ghangermeh, A., Siroosi, H. (2022 b). Detection and prediction of land use changes using modeling approach within a gis environment (case study: Hablehroud watershed). *Journal of Water and Soil Conservation*, 29(2), 113-134 (in Persian).
- Pettitt, A.N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 28(2), 126-135.
- Reddy, N., Patil, N.S., & Nataraja, M. (2021). Assessment of climate change impacts on precipitation and temperature in the Ghataprabha sub-basin using CMIP5 models. *Journal of Metrology Society of India*, 36(4), 803-812.
- Renner, M., Seppelt, R., & Bernhofer, C. (2012). Evaluation of water-energy balance frameworks to predict the sensitivity of streamflow to climate change. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(5), 1419-1433.
- Rezaei, M., Omidipour, R., Rezaei, A., & Nadaf, M. (2022). Comparison of the effects of land use change and precipitation on annual discharge (case study: Kiar watershed). *Integrated Watershed Management*, 2(2), 62-74 (in Persian).
- Saidi, H., Dresti, C., Manca, D., & Ciampittello, M. (2018). Quantifying impacts of climate variability and human activities on the streamflow of an Alpine river. *Environmental Earth Sciences*, 77(19), 1-16.
- Sheikh, V.B., Babaei, A., & Mooshakhian, Y. (2009). Trend analysis of precipitation regime in the Gorganroud basin. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 3(8), 29-38 (in Persian).
- Sheikh, V., Sadoddin, A., Ong, M., Najafinejad, A., Zare, A., Salman Mahini, A., Abdullahian, H., Barani, H., Kamkar, B., Bairam Komaki, CH., Mohammadian Behbahani, A., Abedi Sarostani, A., Eslami, A., Karamatzadeh, A., Kamyab, H., Khosravi, G., Asadi Nelivan, A., Alvandi, A., Rahmani, M., Sadeghi, F., Montazeri, M., & Haqdadi, M. (2017). Developing integrated watershed management plan for Hableroud river basin. Final Research Report, Iranian Forest, Rangeland, and Watershed Management Organization, 259 pages (in Persian).
- Sikka, A.K., Samra, J.S., Sharda, V.N., Samraj, P., & Lakshmanan, V. (2003). Low flow and high flow responses to converting natural grassland into bluegum (*Eucalyptus globulus*) in Nilgiris watersheds of South India. *Journal of Hydrology*, 270(1-2), 12-26.
- Sun, Y., Tian, F., Yang, L., & Hu, H. (2014). Exploring the spatial variability of contributions from climate variation and change in catchment properties to streamflow decrease in a mesoscale basin by three different methods. *Journal of Hydrology*, 508, 170-180.
- Tehran Soil and Water Engineering Consulting Corporation, (2013). A study on promoting efficiency of water use from surface water resources of the Hableroud river and its tributaries within the Tehran Province jurisdiction. Final Research Report, Regional Water Company of Tehran, 226 pages (in Persian).
- Tomer, M.D., & Schilling, K.E. (2009). A simple approach to distinguish land-use and climate-

- change effects on watershed hydrology. *Journal of Hydrology*, 376(1-2), 24-33.
- Wang, D., & Hejazi, M. (2011). Quantifying the relative contribution of the climate and direct human impacts on mean annual streamflow in the contiguous United States. *Water Resources Research*, 47(10).
- Wang, W., Shao, Q., Yang, T., Peng, S., Xing, W., Sun, F., & Luo, Y. (2013). Quantitative assessment of the impact of climate variability and human activities on runoff changes: a case study in four catchments of the Haihe river basin, China. *Hydrological Processes*, 27(8), 1158-1174.
- Wang, W.G., Shao, Q., Yang, T., Peng, S., Xing, W., Sun, F., & Luo, Y. (2012). Quantitative assessment of the impact of climate variability and human activities on runoff changes: a case study in four catchments of the Haihe river basin, China. *Hydrological Processes*, 25(7), 881-895.
- Xu, M., Wang, G., Wang, Z., Hu, H., Singh, D.K., & Tian, S. (2022). Temporal and spatial hydrological variations of the Yellow River in the past 60 years. *Journal of Hydrology*, 609, 127750.
- Yang, H., & Yang, D. (2011). Derivation of climate elasticity of runoff to assess the effects of climate change on annual runoff. *Water Resources Research*, 47(7).
- Zhang, J.Y., Wang, G.Q., Pagano, T.C., Jin, J.L., Liu, C.S., He, R.M., & Liu, Y.L. (2012). Using hydrologic simulation to explore the impacts of climate change on runoff in the Huaihe river basin of China. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(11), 1393-1399.
- Zhang, J., Gao, G., Fu, B., & Zhang, L. (2018). Explanation of climate and human impacts on sediment discharge change in Darwinian hydrology: Derivation of a differential equation. *Journal of Hydrology*, 559, 827-834.
- Zhang, L., Karthikeyan, R., Bai, Z., & Srinivasan, R. (2017). Analysis of streamflow responses to climate variability and land use change in the Loess Plateau region of China. *Catena*, 154, 1-11.
- Zhang, L., Zhao, F.F., & Brown, A.E. (2012). Predicting effects of plantation expansion on streamflow regime for catchments in Australia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(7), 2109-2121.
- Zheng, H., Zhang, L., Zhu, R., Liu, C., Sato, Y., & Fukushima, Y. (2009). Responses of streamflow to climate and land surface change in the headwaters of the Yellow river basin. *Water Resources Research*, 45(7).
- Ziaee, N., Ownegh, M., Asgari, H.R., Massah Bavani, A. R., Salman Mahini, A.R., & Hosseinalizadeh, M. (2017). Comparison of climate change scenarios on the desertification hazard intensity and risk of Hablehroud basin, Tehran Province. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 6(16), 105-118 (in Persian).
- Zuo, D., Xu, Z., Wu, W., Zhao, J., & Zhao, F. (2014). Identification of streamflow response to climate change and human activities in the Wei river basin, China. *Water Resources Management*, 28(3), 833-851.