Research Paper

Investigating changes in the hydrological flow regime and the environmental flow component of EFCs in Khiauchai River in a 30-year period

Hasan Setayeshi Nesaz[1]، Sayyad Asghari Saraskanroud*[2], Aghil madadi[4] Raoof Mostafazadeh[3]

This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.

DOI:10.22034/hyd.2023.54796.1672

Refference to this article: Setayeshi esaz,Hasan, Asghari Saraskanroud Sayyad madadi Aghil , Mostafazadeh Raoof. (2023). Investigating changes in the hydrological flow regime and the environmental flow component of EFCs in Khiauchai River in a 30-year period. *Hydrogeomorphology*, 10(37): 25-43.

Keywords

Flow Duration curve, Flow regime change, Minimum flows, Flow rate, Threshold change, Khiauchai, Northwest Iran

Receive Date:2023/01/04

Accept Date: 2023/02/14

Available: 2024/01/20

A B S T R A C T

Rivers are very important in terms of human uses and ecological functions. In the present research, the environmental flow components of the Khiavchai River have been determined. Therefore, changes in the EFCs were determined using IHA software. According to the results, the values of low flows were high in the first period (1988 to 2017), but decreased in recent periods. Also, the decrease in the discharge values of the maximum flow indicators and the increase in the number of days with zero discharge to the number of 174 days were also caused by the change of the river regime. The amount of peak rate and decline rate components has increased in recent periods. The values of low flow duration indicators and low flow frequency have increased. Based on the change of flow dispersion index, the occurrence of strong or very low flows in the river has been intensified. According to the FDCs, in the early periods of the river flow regime, river flow was higher than 0.01cms during the year, while in recent periods it has decreased to less than 0.001cms. Based on the changes in the duration of the flow in recent periods, the duration of the river has changed to 50-60% of the days of the year with a very low discharge. Overuse of river flow changes in the flow regime, and successive droughts have increased the severity of the change in the flow regime and the deviation of the river conditions from the normal state.

*** Corresponding Author: Sayyad Asghari Saraskanroud**
E-mail: s.asghari@uma.ac.ir

1. Ph.D Student in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2. Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3. Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

4. Associate Professor, Department of Watershed Management and Member of Water Management Research Institute, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Extended Abstract

Introduction

As a dynamic system, the river always changes its location and morphological characteristics according to time, geomorphic, geological, hydrological factors and as a result of human intervention. One of the most important goals of water resources management is the wise use of water resources in such a way that the functions and values of water ecosystems are preserved. Rivers in most parts of Iran have undergone many changes as a result of human intervention, construction of dams, increased use of water for agricultural and urban purposes, water transfer between basins. These human and natural interferences have resulted in effects such as reducing the total flow of the river and influencing seasonal changes as well as the size and frequency of floods. These changes caused by drought or human factors have negative effects on hydrological services, hydrological drought, and the ecological functions of the watershed. In recent decades, the importance of the natural hydrological regime in maintaining the integrity of rivers has been widely recognized. Construction of dams, point source pollution, surface water abstraction and hydroelectric power can alter the natural regime of a river by negatively affecting water quality, biological composition, structures and functioning of aquatic and coastal ecosystems.

Methodology

In the present research, the environmental flow components of the Khiavchai River have been determined in different periods. In this regard, changes in the environmental flow components have been determined using IHA software

Results and Discussion

Based on the results, it can be said that the values of minimum flows were high in the first period (1988 to 2017) but decreased in recent periods. Also, the decrease in the maximum flow indicators and the increase in the number of days with zero discharge to 174 days are also caused by the change in the river regime. The amount of components of peak rate as well as decline rate has increased in recent periods. The values of minimum flow continuity indicators and minimum flow frequency have increased in Khiavchai River. In addition, based on the change of flow dispersion index values, the occurrence of strong or very low flows in the river has intensified. Based on the flow duration curves, it can be said that in the early periods of the river flow regime, the river flow was normal, and the river flow flowed throughout the year with a flow rate higher than 0.01 cubic meters per second, while in the recent periods, it was less than or equal to 0.01. cubic meters per second have decreased. The changes in the continuity of the river flow showed that in recent periods the continuity of the river has changed to 50-60% of the days of the year with a very low discharge.

Conclusions

Considering the importance of the environmental flow and the continuity of the river's life, it is necessary to comply with the environmental rights. It should be noted that indiscriminate harvests have aggravated the changes in the flow regime, and on the other hand, the occurrence of successive droughts has increased the severity of the changes in the flow components and the deviation of the river conditions from the natural state.

مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات رژیم جریان هیدرولوژیکی و مؤلفه جریان محیط زیستی EFCs در رودخانه خیاوچای در یک دوره ۳۰ ساله

حسن ستایشی نساز[۱]، صیاد اصغری سرسکانرود*[۲]، عقیل مددی[۳]، رئوف مصطفی زاده[۴]

این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کریتیو کامانز قابل استفاده است.

ارجاع به این مقاله: ستایشی نساز، حسن، اصغری سرسکانرود، مددی و مصطفی زاده (۱۴۰۲). تعیین مولفه‌های جریان محیط زیستی رودخانه خیاوچای در دوره‌های متوالی: ۴۵ – ۲۵. هیدروژئومورفولوژی، ۱۰ (۳۷)، ۴۳-۲۵

DOI:10.22034/hyd.2023.54796.1672

کلیدواژه‌ها

منحنی تداوم جریان، تغییر رژیم جریان، جریان‌های کمینه، آستانه تغییر، رودخانه خیاوچای، شمالغرب ایران

چکیده

در تحقیق حاضر مولفه‌های جریان محیط زیستی رودخانه خیاوچای در دوره‌های متوالی ۵ ساله با استفاده از نرم‌افزار IHA مشخص شد. بر اساس نتایج، مقادیر جریان‌های کمینه در دوره اول (۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶) بالا بوده است ولی در دوره اخیر (۱۳۹۱ تا ۱۳۹۸) کاهش پیدا کرده است. هم‌چنین کاهش مقادیر دبی شاخص‌های جریان‌های حداکثر و افزایش تعداد روزهای دبی صفر به تعداد ۱۷۴ روز نیز ناشی از کاهش آبدهی رودخانه بوده است. مقدار مولفه‌های نرخ اوج‌گیری و نرخ فروکش در دوره‌های اخیر افزایش پیدا کرده است. مقادیر شاخص‌های تداوم جریان کمینه، و فراوانی جریان کمینه در رودخانه خیاوچای افزایش داشته است. بر اساس تغییر مقادیر شاخص پراکندگی جریان، وقوع جریان‌های شدید و یا بسیار کم در رودخانه به‌دلیل کاهش جریانهای کمینه و افزایش دبی‌های سیلابی تشدید شده است. بر اساس منحنی‌های تداوم جریان، در دوره‌های ابتدایی رژیم جریان رودخانه طبیعی بوده و در ایام سال با دبی بالاتر از ۰/۰۱ مترمکعب درثانیه جریان داشته است، درحالی‌که، در دوره ۷ ساله اخیر کاهش پیدا کرده و به میزان ۰/۰۰۱ مترمکعب درثانیه رسیده است. براساس تغییرات تداوم جریان در دوره‌های اخیر تداوم رودخانه به ۵۰ الی ۶۰ درصد ایام سال با دبی بسیار کم تغییر پیدا نموده است. در مجموع می‌توان گفت که تغییر مولفه‌های محیط زیستی جریان در راستای کاهش دبی و افزایش روزهایی با دبی صفر بوده است که می‌تواند ناشی از کاهش بارندگی و وقوع خشکسالی‌ها باشد.

تاریخ‌دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴
تاریخ‌پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

* نویسنده مسئول: صیاد اصغری سراسکانرود
رایانامه: S.asghari@uma.ac.ir

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۴- دانشیار گروه آموزشی منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

مقدمه

رودخانه به‌عنوان سیستمی پویا، مکان و خصوصیات مورفولوژیکی خود را همواره بر حسب زمان، عوامل ژئومورفیک، زمین‌شناختی، هیدرولوژیکی و در اثر دخالت بشر تغییر می‌دهند (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۱). رودخانه‌ها در اغلب نقاط کشور ایران بر اثر دخالت‌های انسانی، ساخت سد، افزایش میزان بهره‌برداری از آب برای مصارف کشاورزی و شهری، انتقال آب بین حوضه‌ای، تغییرات زیادی یافته‌اند (مهری و همکاران، ۱۳۹۶؛ آسیابی و همکاران، ۱۳۹۷؛ بون و آرتینگتن[1]، ۲۰۰۲: ۴۹۲). این دخالت‌های انسانی و طبیعی به بروز آثاری از جمله کاهش کل جریان رودخانه و تحت تاثیر قرار دادن تغییرات فصلی و نیز اندازه و تناوب سیلاب منجر شده است (نصیری و همکاران، ۱۳۹۸؛ امینی و همکاران، ۱۳۹۸الف؛ پیروزی و همکاران، ۱۳۹۹). در بسیاری موارد این تغییرات ناشی از وقوع خشکسالی و یا عوامل انسانی، آثار منفی روی خدمات هیدرولوژیکی، خشکسالی هیدرولوژیک (امینی و همکاران، ۱۳۹۸ب) و کارکردهای اکولوژیکی حوزه آبریز دارند. در دهه‌های اخیر اهمیت رژیم هیدرولوژیکی طبیعی در حفظ یکپارچگی رودخانه‌ها به‌طور گسترده‌ای شناخته شده است (پوف[2]، ۱۹۹۶: ۱۴۷؛ ریشتر[3] و همکاران، ۱۹۹۶: ۱۱۶۳). فعالیت‌های انسانی مانند احداث سدها، ایجاد آلودگی‌های نقطه‌ای، برداشت آب‌های سطحی و تولید نیروی برق‌آبی می‌تواند رژیم طبیعی رودخانه را تغییر دهد. این تغییر در اکوسیستم رودخانه و رژیم جریان می‌تواند بر کیفیت آب ، ترکیب زیستی، سازه‌ها و عملکرد اکوسیستم‌های آبزی و ساحلی تأثیر منفی داشته باشد (بوفاگنی[4] و همکاران، ۲۰۰۹: ۹۵، هرینگ[5] و همکاران، ۲۰۰۳: ۳۴۵، زوپینی[6] و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۷). ارتباط رژیم هیدرولوژیکی با دستورالعمل چارچوب آب شناخته شده است (پارلمان اروپا، ۲۰۰۰)، که صریحاً جنبه‌های مورفولوژیکی مربوط به آب را به‌عنوان عناصر کیفی تعریف می‌کند. به‌منظور ارزیابی رژیم هیدرولوژیکی حدود ۲۷۰ روش برای ارزیابی رژیم و تعیین نیاز آب محیط زیستی رودخانه‌ها شناسایی شده است که در چهار روش متمایز هیدرولوژیکی درجه‌بندی هیدرولیکی شبیه‌سازی زیستگاه‌ها و روش جامع طبقه‌بندی شده‌اند (تریم[7]، ۲۰۰۳). روش‌های مبتنی بر شاخص‌های هیدرولیکی ساده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ارزیابی رژیم هیدرولوژی و برآورد جریان محیط زیستی در سطح جهان هستند (پوف و همکاران، ۲۰۱۰). روش‌های قدیمی از این دسته فقط به حداقل نیاز آبی رودخانه اکتفا می‌کنند، در حالی‌که روش‌های جدیدتر چندین ویژگی جریان مانند مقدار، فراوانی، مدت زمان تداوم جریان و غیره را در نظر می‌گیرند (ریشتر و همکاران، ۲۰۱۱). از جمله مرسوم‌ترین این روش‌ها شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی (IHA) است که پارامترهایی را برای مقایسه ویژگی‌های هیدرولوژیکی در دو دوره زمانی قبل و بعد از آثار مداخلات انسانی و تغییر اقلیم و استفاده در رویکرد دامنه تغییرپذیری[8] ارائه می‌دهد (ریشتر و همکاران، ۱۹۹۷؛ ماتئو و ریشتر[9]، ۲۰۰۷). پژوهش‌های متعددی در زمینه تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک رودخانه‌ها انجام شده است. الگوهای جریان رودخانه‌ای توسط عشقی و قنبرزاده (۱۳۹۳) مورد مطالعه قرار گرفت و تاثیر مولفه‌های مختلف را در تغییر بستر و مسیر رودخانه بررسی شدند و مشخص شد که شکل هندسی رودخانه‌ها تحت تاثیر عواملی چون مقاومت بستر رود و پوشش گیاهی به‌صورت مئاندری درآمده است. با بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر شاخص‌های جریان کمینه حوزه آبخیز طالقان کاظمی و بیات (۱۳۹۶) دریافتند که تغییرات کاربری ناشی از دخالت انسان بر روی روند تغییرات شاخص‌های جریان کمینه تاثیر مستقیم دارد. در بررسی علل تغییرات زمانی و مکانی بستر رودخانه بالهارود بر اساس پارامترهای هندسی، کیانی و پوربشیر هیر (۱۳۹۷) به این نتیجه رسیدند که مجموع عواملی مانند دخالت‌های انسانی، محیط، خشکی اقلیم، پوشش گیاهی در روند تغییرات بستر رودخانه دخیل هستند. با بررسی تغییرات رژیم جریان آب رودخانه‌ای خرمالو در استان گلستان با استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی IHA، خسروی و همکاران (۱۳۹۸) به این نتیجه رسیدند که الگوی رژیم جریان آب سالانه طی دوره آماری ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۵ از طبقه "رواناب دائمی PR" به "دائمی با سیلاب‌های ناگهانی PF" تغییر کرده است. در پژوهشی با عنوان ارزیابی تغییرات زمانی-مکانی شاخص‌های فصلی منحنی تداوم جریان (FDCSI) طی چهار دهه در حوزه دریاچه نمک، شیخ و همکاران (۱۳۹۸) به این نتیجه رسیدند که جریان تابستانه به‌علت عدم تأمین دبی پایه، خشکسالی شدیدتری طی

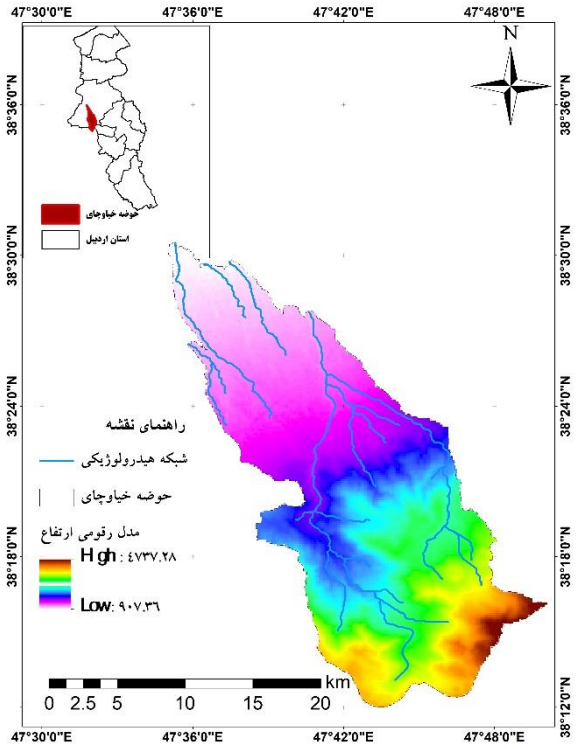
[1]- Bunn and Arthington
[2]- Poff
[3]- Richter
[4]- Buffagni
[5]- Hering
[6]- Zoppini
[7]- Tharme
[8]- Range of Variability Approach
[9]- Mathews and Richter

دوره ۲۰۱۲-۱۹۷۰ متحمل شده است. در حوزه‌های آبریز بلژیک اثر هیدرولوژیکی تغییر اقلیم را از جنبه وقایع حدی توسط باجیوس و همکاران (۲۰۱۰) مورد مطالعه قرار دادند و بیان کردند که افزایش فراوانی وقوع جریان کم آبی در تابستان و جریان پر آبی در زمستان از اثرات مهم تغییر اقلیم بوده است. با ارزیابی تغییرات رژیم جریان در رودخانه موقتی سلون با استفاده از یک شاخص هیدرولوژیکی ساده توسط دی گیرولامو[1] و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که رژیم هیدرولوژیکی بخش بالادست کم‌تر تغییر کرده است، درحالی که رژیم بخش رودخانه در قسمت پایین‌دست به شدت تغییر یافته است. مارتین[2] و همکاران (۲۰۱۸) با ارزیابی فرایندهای تغییر جریان بر روی عملکرد ساختاری رودخانه تور در سوئیس بیان نمودند که مورفولوژی کانال به‌شدت تغییر نموده است و روند تغییرات رژیم هیدرولوژیکی ناشی از آثار تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بوده است. (اسماختین[3] و همکاران، ۲۰۰۴). بر اساس سوابق پژوهش تعیین میزان تغییرات مولفه‌های رژیم رودخانه و جریان محیط زیستی در رودخانه‌های مناطق کوهستانی که از برف تغذیه می‌شوند، کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. لذا هدف پژوهش حاضر، تعیین تغییرات رژیم جریان و تاثیر وقوع خشکسالی‌های متوالی بر شدت تغییر رژیم جریان و انحراف شرایط رودخانه از حالت طبیعی بوده در ک دوره طولانی‌مدت بوده است. در این راستا، ۳۴ مؤلفه جریان محیط زیستی[4] (EFCs) در ایستگاه هیدرومتری خیاوچای محاسبه شده است.

منطقه مورد مطالعه

از نظر جغرافیایی حوضه آبریز رودخانه خیاوچای در شرق شهر مشگین‌شهر واقع گردیده است. حوضه خیاوچای در استان اردبیل و از زیرشاخه‌های رودخانه قره‌سو است رودخانه اصلی این حوزه خیاوچای نام دارد که از ارتفاعات سبلان سرچشمه می‌گیرد و پس از طی نمودن دره موئیل به محدوده شهر وارد شده و در نهایت به رودخانه قره‌سو می‌ریزد. جهت عمومی حرکت این رودخانه جنوبی-شمالی بوده و در طول مسیر خود از حاشیه شهر مشگین‌شهر و روستاهای قره‌درویش، نصیرآباد، بارزیل، دستگیر، پاشلو و حاجیلو عبور می‌کند. با توجه به ماهیت کوهستانی رودخانه، شیب بستر رودخانه در طول مسیر نسبتاً بالا بوده و بستر و کناره‌های رودخانه درشت دانه و مشتمل بر شن و ماسه، سنگ و قلوه‌سنگ است. اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس روش طبقه‌بندی دومارتن اصلاح شده به‌عنوان نیمه‌خشک سرد طبقه‌بندی می‌شود. رژیم آبدهی رودخانه خیاوچای بر اساس آمار دبی ایستگاه پل سلطان نشان می‌دهد که حداقل دبی سالانه رودخانه برابر ۰/۲۵ مترمکعب در ثانیه، و حداکثر آن برابر ۱/۳۶ مترمکعب در ثانیه است. هم‌چنین مقدار متوسط آبدهی سالانه برابر ۰/۷۶ مترمکعی در ثانیه ثبت شده است. وسعت محدوده بالادست رودخانه برابر ۱۱۵ کیلومترمربع و متوسط بارش منطقه برابر ۳۷۵ میلی‌متر است (عیوضی و همکاران، ۱۴۰۱). مقادیر حداکثر دبی سیلاب روزانه در ایستگاه هیدرومتری پل سلطانی بر اساس توزیع لوگ نرمال سه پارامتره در دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله به‌ترتیب برابر ۱۰/۵۸، ۱۸/۹۹، ۳۶/۱۹ و ۵۵/۲۵ مترمکعب در ثانیه بوده است (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۶). ضریب متوسط رواناب منطقه مورد مطالعه نیز برابر ۵۱/۲ درصد گزارش شده است. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

[1]- De Girolamo
[2]- Martín
[3]- Smakhtin
[4] - Environmental Flow Components



شکل (۱): نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه و مدل رقومی ارتفاعی منطقه

Figure (1): a) Location map of the studied area and digital elevation model

مواد و روش

در این پژوهش به‌منظور بررسی تغییر رژیم جریان رودخانه خیاوچای آمار دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری خیاوچای به‌دلیل دارا بودن طول دوره آماری طولانی مدت استفاده شده است. دوره آماری داده‌های استفاده شده از ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۸ بوده است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، داده‌های دبی جریان رودخانه بوده است که از وبسایت شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه شده است. در مرحله اول با پردازش داده‌ها و انجام آزمون همگنی، از صحت داده‌ها اطمینان حاصل شد. سپس، برخی داده‌های ناقص با روش‌های میانگین‌گیری و همبستگی بازسازی شدند. در مرحله بعدی سپس بر اساس طول دوره آماری موجود، دوره‌های زمانی مشخص شدند. در ادامه داده‌های تهیه شده برای ورود به نرم‌افزار IHA آماده شدند. محاسبه شاخص‌های تغییرات در مولفه‌های مختلف جریان صورت گرفت و سپس با استفاده از روش‌های منحنی تداوم جریان، رسم نمودار هیستوگرام و نیز مقایسه ویژگی‌های اماری نتایج، تحلیل‌های لازم انجام گرفت.

محاسبه شاخص‌های تغییر جریان

در تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزار شاخص‌های هیدرولوژیکی (IHA)، وضعیت تغییرات رژیم هیدرولوژیکی دبی روزانه در ایستگاه هیدرومتری خیاوچای در شهرستان مشگین‌شهر بررسی شده است. به‌منظور بررسی تغیرات رژیم هیدرولوژیکی متاثر از عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی در حوضه آبریز خیاوچای از شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی IHA و محاسبه مولفه‌های جریان محیط زیستی استفاده شد. بر اساس تغییرات در مقادیر بارش، دبی رودخانه و نیز ارزیابی تغییرات جریان در دوره‌های متوالی، شش دوره مطابق جدول ۱ تفکیک شدند.

جدول (۱): دوره‌های مورد مطالعه در ارزیابی تغییرات رژیم جریان رودخانه خیاوچای

Table (1): The periods studied in the evaluation of changes in the flow regime of Khiauchai River

دوره	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره چهارم	دوره پنجم
سال	۱۳۶۷-۱۳۷۶	۱۳۷۶-۱۳۸۱	۱۳۸۱-۱۳۸۶	۱۳۸۶-۱۳۹۱	۱۳۹۱-۱۳۹۸

در ادامه مؤلفه‌های جریان زیست‌محیطی EFC با استفاده از نرم‌افزار IHA محاسبه شدند.

شاخص‌های تغییر جریان رودخانه‌ای

نرم‌افزار IHA توسط کمیسیون حفاظت از طبیعت[1] در سال ۱۹۹۰ به‌عنوان ابزاری کاربردی برای محاسبه ویژگی‌های رژیم هیدرولوژیکی طبیعی و تغییر یافته توسعه یافت (کمیسیون حفاظت از طبیعت، ۲۰۰۹). این رویکرد برای هر نوع داده هیدرولوژیکی مانند دبی، تراز جریان رودخانه، تراز آب زیرزمینی و یا دریاچه قابل استفاده است. مزیت بسته نرم‌افزاری شاخص‌های تغییر جریان در این است که می تواند داده‌های هیدرولوژیکی روزانه را به تعداد مؤلفه هیدرولوژیکی قابل مدیریت و مرتبط با وضعیت اکولوژی مانند مقدار، زمان وقوع، فراوانی، مدت تداوم و میزان تغییرات خلاصه کند. نرم‌افزار مذکور قادر به محاسبه ۶۷ پارامتر شامل ۳۳ پارامتر تغییرات هیدرولوژیکی (IHA) و ۳۴ پارامتر جریان محیط زیستی (EFC) است.

در نرم‌افزار یاد شده می‌توان شاخص‌های هیدرولوژیکی را در دوره‌های زمانی مجزا مانند دوره زمانی قبل و بعد از آثار فعالیت‌هایی مانند احداث سد، انحراف جریان، پمپاژ آب زیرزمینی، تغییرات شدید کاربری اراضی با هم مقایسه نمود. یا اینکه برای سیستم‌های هیدرولوژیکی که در بلندمدت تحت تاثیر دخالت‌ها و تغییرات انسانی قرار گرفته اند، روند تغییرات جریان در طول زمان بررسی شود. در مواردی که طول آمار موجود کافی نباشد، سری زمانی باید با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی آماری بازسازی شوند و ارجحیت داده‌های مورد استفاده، داده‌های روزانه است (اسماختین و آنپوتاس، ۲۰۰۶). شاخص‌های IHA با استفاده از هر دو آمار پارامتریک (میانگین و انحراف معیار) یا آمار ناپارامتریک (میانه و صدک) محاسبه می‌شوند و در بیش‌تر وضعیت‌ها، آمار ناپارامتریک گزینه بهتری است زیرا بیش‌تر داده‌های هیدرولوژیکی دارای چولگی بوده و غیرنرمال هستند. باید اشاره شود که برای مقادیری مانند میانگین دبی ماهیانه، آمار پارامتریک ترجیح داده می‌شوند.

مؤلفه‌های جریان محیط زیستی (EFC)

در نرم‌افزار IHA، ۳۴ پارامتر در قالب پنج مولفهٔ جریان محیط زیستی شامل جریان کم، جریان‌های بسیار کم، پالس‌های جریان‌های بالا، سیلاب‌های کوچک و سیلاب‌های بزرگ وجود دارد این پنج مؤلفه، طیف کاملی از وضعیت جریان را ارائه می‌دهند که نشان‌دهنده وضعیت پایداری اکولوژیکی رودخانه هستند. ابتدا جریان‌های بالا و جریان‌های کم تفکیک می‌شود. به این منظور، از چهار پارامتر برای تفکیک این دو نوع جریان استفاده می‌شود در نخستین مرحله برای تفکیک جریان‌های بالا یک مقدار آستانه (مقدار اولیه توصیه شده، صدک ۷۵ از جریان‌های روزانه است) تعیین می‌شود و جریان‌های بیش‌تر از این آستانه به‌عنوان جریان‌های بالا در نظر گرفته می‌شوند. دومین پارامتر مقدار آستانه برای تفکیک جریان کم (مقدار اولیه توصیه شده صدک ۵۰ جریان‌های روزانه) است. همه دبی های کم‌تر از این آستانه به‌عنوان جریان‌های کم، طبقه‌بندی می‌شوند سومین پارامتر، آستانه شروع جریان بالاست. وقتی جریان‌ها در بین آستانه جریان بالا و جریان پایین قرار دارند، این پارامتر آستانه شروع جریان‌های بالا را کنترل می‌کند. مقدار اولیه توصیه شده ۲۵ درصد است چهارمین پارامتر، مقدار آستانه برای تفکیک انتهای جریان‌های بالاست و برای جریان‌هایی به‌کار می رود که بین آستانهٔ جریان و آستانهٔ جریان پایین قرار دارند، این آستانه، انتهای وقایع جریان های بالا را روی شاخهٔ نزولی مشخص می‌کند. مقدار اولیهٔ توصیه شده ۱۰ درصد است.

1- The Nature Conservancy

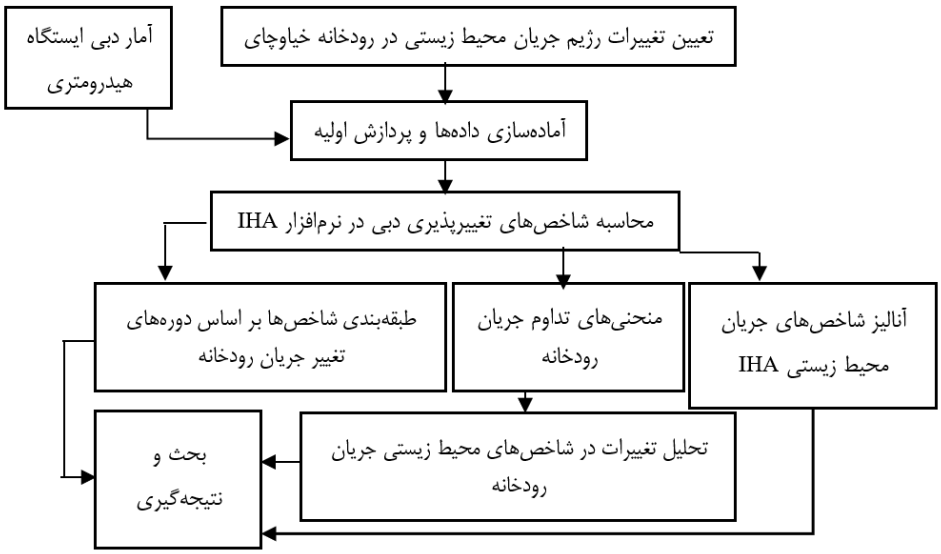
در تعیین آستانه سیلاب‌های کوچک جریان‌های بالا که جریان پیک بزرگ‌تر یا مساوی با این آستانه و کم‌تر از جریان پیک سیلاب‌های بزرگ را دارند، به کلاس سیلاب‌های کوچک اختصاص داده می‌شوند. همهٔ وقایع با جریان پیک کم‌تر از این آستانه به‌عنوان کلاس پالس‌های جریان بالا در نظر گرفته می‌شوند. دبی سیلاب‌های کوچک معمولاً معادل دبی با دوره بازگشت دو تا کم‌تر از ۱۰ سال در نظر گرفته می‌شود. تعیین آستانه سیلاب‌های بزرگ: همه جریان‌های بالا که دبی پیک بیش‌تر یا مساوی این مقدار را دارند به‌عنوان کلاس سیلاب‌های بزرگ در نظر گرفته می‌شوند. همه وقایع با دبی پیک کم‌تر از این مقدار در کلاس پالس جریان بالا یا کلاس سیلاب کوچک طبقه‌بندی می‌شوند. در این خصوص کاربر می‌تواند یکی از سه گزینه دبی با دوره بازگشت، مقدار معین جریان یا صدک همهٔ جریان‌های روزانه را انتخاب کند. مقدار اولیهٔ پیشنهاد شده دبی با دورهٔ بازگشت ۱۰ سال است. اهمیت اکولوژیکی مولفه‌های جریان محیط زیستی و نقش آن در اکوسیستم رودخانه در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول (۲): پارامترهای جریان محیط زیستی (EFC) و تاثیرات آن‌ها بر اکوسیستم رودخانه (EP, 2009)

Table (2): Environmental flow parameters (EFC) and their effects on the river ecosystem (EP, 2009)

پارامتر	شیوه محاسبه	ملاحظات اکولوژیک و ژئومورفولوژیک
جریان‌های کمینه ماهانه (۱۲ پارامتر)	-مقادیر میانگین یا میانه مقادیر جریان‌های کم برای هر ماه	تشکیل زیستگاه مناسب، تنظیم دمای آب اکسیژن محلول و کیفیت آب، رطوبت خاک، تامین آب شرب آبزیان، تغذیه و تخم‌ریزی ماهی‌ها و دوزیستان
۲. جریان‌های بسیار کم (چهار پارامتر)	-فراوانی جریان‌های بسیار کم در هر سال آبی یا فصل -میانگین یا میانه مقادیر بسیار کم شامل روزها، زمان وقوع یا تعداد روز جریان بسیار کم	توسعه برخی گونه‌های گیاهی در دشت سیلابی، توسعه گونه‌های مهاجم، گونه‌های آبزی و جوامع کناری رودخانه، متمرکز شدن شکار در مناطق محدود
پالس‌های جریان‌های بالا (شش پارامتر)	-فراوانی پالس‌های جریان‌های بالا در سال یافصل -میانگین یا میانه مقادیر پالس‌های جریان بالا شامل مدت زمان (روزها)، مقدار و زمان وقوع جریان پیک جریان (حداکثر) جریان‌های بالا -میزان افزایش و کاهش	ویژگی‌های واحدهای ژئومورفیک، اندازه ابعاد قطر رسوبات کف و لایه زیرین بستر، جلوگیری از گسترش جوامع گیاهی کنارزی در کانال، جابجایی مواد زائد و آلاینده ها، هوا دهی تخم ها در سنگ ریزه ها، برقرارکردن وضعیت مناسب برای شوری آب در شکارگاه م(حل تلاقی رود به دریا)
سیل‌های کوچک و بزرگ (۱۲ پارامتر)	-فراوانی سیلاب‌های کوچک و بزرگ ظی سال آبی یا فصل -میانگین یا میانه مقادیر سیلاب‌های کوچک و بزرگ -مدت زمان (روز)، مقدار، زمان وقوع جریان پیک -میزان افزایش و کاهش هیدروگراف	فراهم شدن شرایط برای مهاجرت و تخم‌ریزی ماهی‌ها، تغذیه سطح آب دشت سیلابی، حفظ تنوع و توزیع گیاهان دشت سیلابی، ترسیب مواد مغذی در دشت سیلابی، تعادل گونه‌های جوامع آبزی و کنارزی رودخانه، ایجاد واحدهای ژئومورفیک برای توسعه پوشش گیاهی، حرکت جانبی رودخانه و شکل‌گیری زیستگاه‌های جوامع گیاهی کنارزی رودخانه

نمودار جریانی روش تحقیق در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل (۲): نمودار جریانی مراحل ارزیابی تغییرات رژیم هیدرولوژیکی جریان در رودخانه خیاوچای، مشگین‌شهر

Figure (2): The flow chart of the stages of evaluating the changes in the hydrological regime of flow in Khiavchai River, Meshginshahr

بحث ونتایج

ویژگی‌های آماری تغییرات دبی جریان رودخانه خیاوچای در دوره‌های مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول (۳): ویژگی‌های آماری رژیم جریان در دوره‌های متوالی رودخانه خیاوچای

Table (3): Statistical characteristics of the flow regime in consecutive periods of Khiavchai River

ویژگی	واحد	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره چهارم	دوره پنجم
متوسط جریان سالانه	مترمکعب در ثانیه	۰/۹۱	۰/۶۴	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۳۹
ضریب تغییرات سالانه	(-)	۲/۳۷	۱/۰۴	۲/۲۱	۲/۲۵	۱/۳۸
قابلیت پیش‌بینی جریان	(-)	۰/۴۲	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۶۶	۰/۶۴
ثبات/قابلیت پیشش‌بینی	(-)	۰/۶	۰/۵۰	۰/۴۱	۰/۵۸	۰/۵۹
درصد سیلاب‌ها در دوره ۶۰ روزه	(٪)	۰/۲۴	۰/۵۷	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۳۲

پارامترهای محاسباتی گروه ۱ شامل مقادیر دبی متوسط ماهانه جریان در دوره‌های مختلف بوده است که از ارائه آن صرفنظر شده است. در جدول ۴ مقادیر پارامترهای جریان محیط زیستی گروه دوم رودخانه خیاوچای در دوره‌های متوالی ارائه شده است.

جدول (۴): مقادیر پارامترهای جریان محیط زیستی گروه دوم در دوره‌های متوالی رودخانه خیاوچای

Table (4): Values of environmental flow parameters of the second group in successive periods of Khiavchai River

پارامترهای گروه ۲	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره چهارم	دوره پنجم
جریان حداقل ۱ روزه (مترمکعب در ثانیه)	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
جریان حداقل ۳ روزه (مترمکعب در ثانیه)	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
جریان حداقل ۷ روزه (مترمکعب در ثانیه)	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
جریان حداقل ۳۰ روزه (مترمکعب در ثانیه)	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
جریان حداقل ۹۰ روزه (مترمکعب در ثانیه)	۰/۲۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
جریان حداکثر ۱ روزه (مترمکعب در ثانیه)	۳/۷۶	۱/۵۹	۶/۷۱	۴/۷۰	۲/۳۵
جریان حداکثر ۳ روزه (مترمکعب در ثانیه)	۲/۷۵	۱/۵۷	۵/۲۵	۳/۴۴	۱/۷۷
جریان حداکثر ۷ روزه (مترمکعب در ثانیه)	۲/۳۹	۱/۵۴	۳/۱۲	۲/۸۷	۱/۴۳
جریان حداکثر ۳۰ روزه (مترمکعب در ثانیه)	۱/۷۷	۱/۳۸	۲/۲۹	۱/۴۸	۱/۲۳
جریان حداکثر ۹۰ روزه (مترمکعب در ثانیه)	۱/۳۵	۰/۹۹	۱/۱۴	۱/۱۱	۰/۹۱
تعداد روزهای صفر (روز)	۰/۰۰	۹۸/۵۰	۹۴/۰۰	۱۸۶/۰۰	۱۷۴/۵۰
شاخص جریان پایه (بدون بعد)	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۴ می‌توان گفت که مقادیر جریان‌های حداقل در دوره اول (۱۳۶۷ تا ۱۳۷۱) بالا بوده است ولی در دوره‌های اخیر مقادیر شاخص‌های جریان کمینه کاهش پیدا کرده و به صفر رسیده است. باید اشاره شود که الگوی تغییرات مشابه در مورد شاخص‌های جریان‌های حداکثر نیز وجود دارد و مقادیر دبی در همه دوره‌ها به‌شدت کاهش پیدا کرده است. علاوه بر این، باید ذکر نمود که تعداد روزهای دارای جریان صفر نیز در دوره اول پژوهش صفر بوده ولی در دوره‌های اخیر تعداد روزهای جریان صفر افزایش پیدا نموده است و بیش‌ترین تعداد روزها با دبی صفر (برابر ۱۷۴ روز) در دوره پنج پژوهش اتفاق افتاده است.

در جدول ۵ مقادیر پارامترهای جریان محیط زیستی گروه سوم رودخانه خیاوچای در دوره‌های متوالی ارائه شده است.

جدول (۵): مقادیر پارامترهای جریان محیط زیستی گروه سوم در دوره‌های متوالی رودخانه خیاوچای

Table (5): Values of environmental flow parameters of the third group in successive periods of Khiavchai River

پارامترهای گروه ۳	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره چهارم	دوره پنجم
تاریخ دبی حداقل	۳۰۰	۱۰۰	۸۵/۵	۲۹۲	۲۰/۵
تاریخ دبی حداکثر	۲۶۴	۲۴۵	۳۲۰	۳۱۸/۵	۵۴

مقادیر پارامترهای جریان محیط زیستی گروه چهارم رودخانه خیاوچای در دوره‌های متوالی در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول (۶): مقادیر پارامترهای جریان محیط زیستی گروه چهارم در دوره‌های متوالی رودخانه خیاوچای

Table (6): Values of environmental flow parameters of the fourth group in successive periods of Khiauchai River

پارامترهای گروه ۴	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره چهارم	دوره پنجم
تعداد پالس‌های جریان کم	۳/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
مدت پالس‌های جریان کم	۵/۰۰	۹۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
تعداد پالس‌های جریان زیاد	۵/۰۰	۰/۵	۶/۰۰	۶/۰۰	۳/۵
مدت پالس‌های جریان زیاد	۵/۵	۲۹/۰۰	۴/۲۵	۴/۷۵	۱۰/۰۰
آستانه پالس‌های جریان کم	۰/۱۸	/۰۳۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
آستانه پالس‌های جریان زیاد	۱/۱۸	۱/۱۲	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۷۶

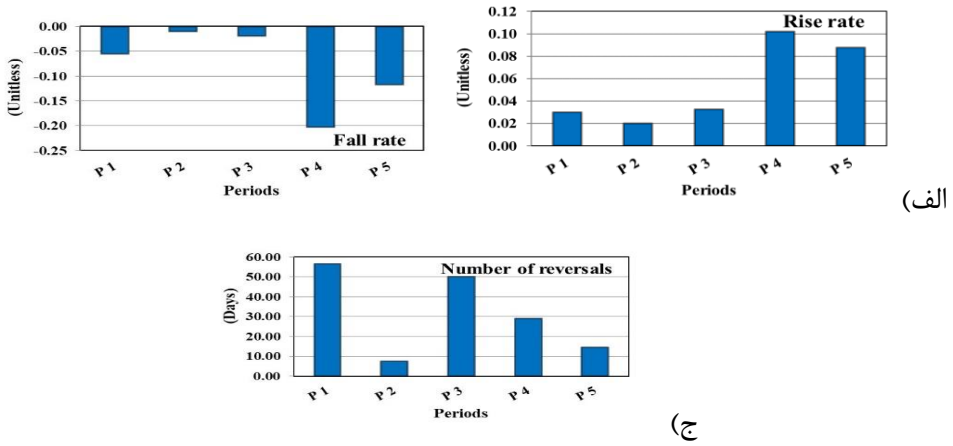
در جدول ۷ مقادیر پارامترهای جریان محیط زیستی گروه پنجم رودخانه خیاوچای در دوره‌های متوالی ارائه شده است.

جدول (۷): مقادیر پارامترهای جریان محیط زیستی گروه پنجم در دوره‌های متوالی رودخانه خیاوچای

Table (7): Values of environmental flow parameters of the fifth group in successive periods of Khiavchai River

پارامترهای گروه ۵	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره چهارم	دوره پنجم
نرخ اوج‌گیری	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۸
نرخ فروکش	-۰/۰۵	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۲۰	-۰/۱۱
تعداد نقاط تغییر جریان	۵۶/۵	۷/۵	۵۰/۰۰	۲۹/۰۰	۱۴/۵

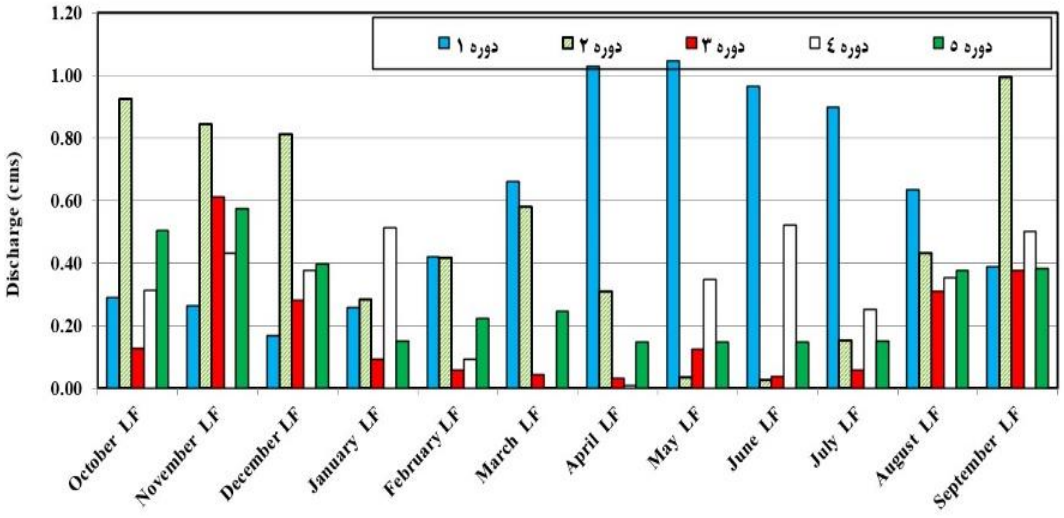
در شکل ۳ مقایسه مقادیر شاخص‌های نرخ اوج‌گیری، نرخ فروکش و تعداد نقاط تغییر جریان در دوره‌های متوالی نشان داده شده است.



شکل (۳): مقایسه مقادیر شاخص‌های الف) نرخ اوج‌گیری، ب) نرخ فروکش و ج) تعداد نقاط تغییر

Figure (3): Comparing the values of indicators a) peak rate, b) decline rate and c) number of change points

در خصوص نتایج شکل ۳ می‌توان گفت که مقدار دو مولفه نرخ اوج‌گیری و نیز نرخ فروکش در دوره‌های اخیر افزایش پیدا کرده است. این ویژگی را می‌توان با افزایش شدت تغییرات جریان رودخانه در مواقع سیلابی و یا در زمان‌های تخلیه دبی از حوزه مرتبط دانست. مشاهدات، در سال‌های اخیر مقدار بارندگی به‌صورت برف در منطقه مورد مطالعه کاهش معنی‌داری داشته است. لذا این واکنش سریع در دبی رودخانه را می‌توان به‌صورت افزایش شدت اوج‌گیری دبی جریان و یا افزایش شدت تخلیه دبی از منطقه مشاهده نمود. در همین راستا، نصیری و همکاران (۱۳۹۸) به کاهش معنی‌دار بارندگی با مقدار آماره من-کندال (۱/۹۹-) و هم‌چنین افزایش دما در سطح اطمینان ۹۵ درصد (با آماره من-کندال ۲/۳۴+) در دامنه‌های سبلان اشاره نموده‌اند. در شکل ۴ مقادیر دبی کمینه جریان رودخانه در ماه‌های مختلف در دوره‌های تغییر جریان رودخانه خیاوچای نشان داده شده است.



شکل (۴): مقایسه مقادیر دبی جریان کمینه رودخانه در ماه‌های مختلف در دوره‌های تغییر جریان رودخانه خیاوچای

Figure (4): Comparison of the minimum flow of the river in different months in the periods of flow changes of the Khiauchai River

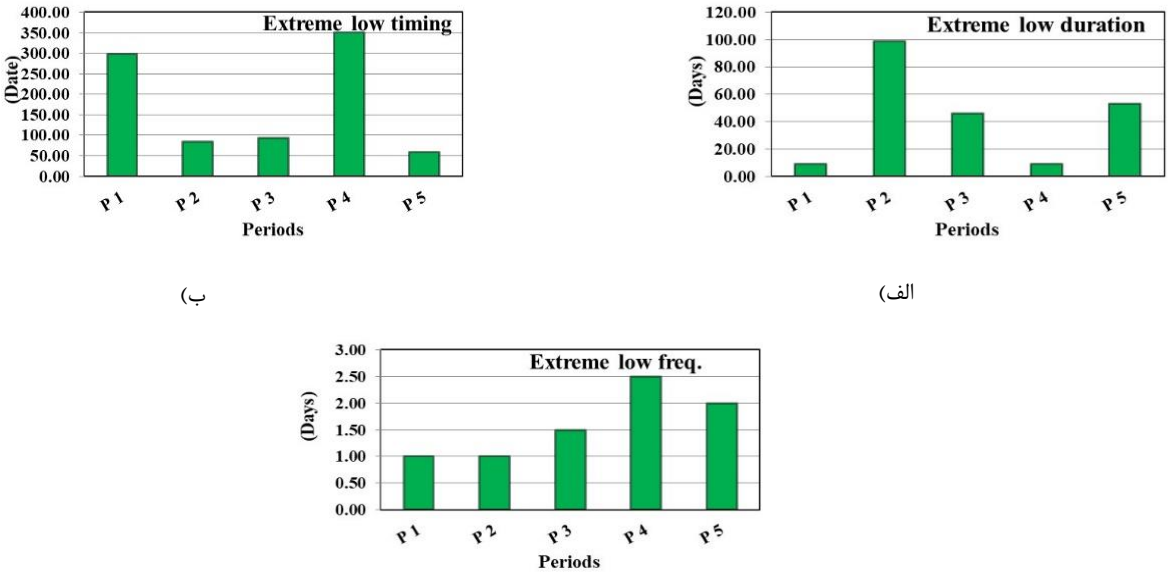
بر اساس نتایج شکل ۴ می‌توان گفت که مقادیر دبی کمینه جریان رودخانه در دوره‌های قبلی بیش‌تر بوده و در دوره‌های اخیر کاهش داشته است. باید اشاره شود که مقدار این تغییرات در ماه‌های پرباران سال بیش‌تر بوده است. به‌عبارتی می‌توان گفت که حتی در ماه‌های پرآب زمستان و بهار نیز مقدار دبی جریان کمینه کاهش قابل‌توجهی داشته است. با توجه به این‌که در شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه، در فصول زمستان و اوایل بهار آب کم‌تری مورد نیاز است و مصرف آن توسط بهره‌برداران اندک است، لذا بخش زیادی از کاهش دبی جریان کمینه به تغییر مولفه بارش مرتبط می‌شود. در جدول ۸ مقادیر پارامترهای جریان محیط زیستی جریان رودخانه خیاوچای در دوره‌های متوالی ارائه شده است.

جدول (۸): مقادیر پارامترهای جریان محیط زیستی در دوره‌های متوالی رودخانه خیاوچای

Table (8): Values of environmental flow parameters in consecutive periods of Khiavchai River

پارامترهای جریان محیط زیستی	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره چهارم	دوره پنجم
اوج جریان کمینه	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
مدت جریان کمینه	۹/۰۰	۹۸/۵۰	۴۶/۲۵	۹/۰۰	۵۳/۲۵
زمان‌بندی جریان کمینه	۲۹۹/۰۰	۸۴/۰۰	۹۳/۰۰	۳۵۱/۰۰	۵۹/۲۵
فراوانی جریان کمینه	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۵۰	۲/۵۰	۲/۰۰
اوج جریان بیشینه	۱/۴۰	۱/۲۵	۱/۰۵	۱/۳۹	۱/۳۴
مدت جریان بیشینه	۶/۵۰	۶/۰۰	۳/۵۰	۵/۵۰	۱۵/۷۵
زمان‌بندی جریان بیشینه	۱۹۴/۵۰	۳۲/۰۰	۳۱۹/۵۰	۲۳۵/۳۰	۲۹۱/۸۰
فراوانی جریان بیشینه	۴/۵۰	۰/۰۰	۵/۰۰	۵/۵۰	۲/۵۰
نرخ اوج‌گیری جریان بیشینه	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۰۸
نرخ فروکش جریان بیشینه	-۰/۱۴	-۰/۰۸	-۰/۳۲	-۰/۵۸	-۰/۰۴
اوج سیلاب‌های کوچک	۹/۵۷	۲/۵۴	۹/۴۱	۶۹/۲۴	۳/۲۶
مدت سیلاب‌های کوچک	۱۵/۰۰	۲۹/۰۰	۲۲/۰۰	۶/۰۰	۵/۰۰
زمان‌بندی سیلاب‌های کوچک	۲۶۱/۰۰	۵۴/۰۰	۲۸۰/۰۰	۳۲۸/۰۰	۵۶/۵۰
فراوانی سیلاب‌های کوچک	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰
نرخ اوج‌گیری سیلاب کوچک	۱/۵۸	۰/۰۷	۰/۶۱	۱/۹۸	۲/۵۰
نرخ فروکش سیلاب کوچک	-۱/۱۲	-۰/۰۶	-۱/۱۶	-۱/۵۷	-۰/۷۳
اوج سیلاب‌های بزرگ	۹۱/۷۵	۴/۰۹	۱۷/۸۰	۱۴/۰۰	۴/۴۶
مدت سیلاب‌های بزرگ	۱۱/۰۰	۸۶/۰۰	۸/۰۰	۱۱/۰۰	۶/۰۰
زمان‌بندی سیلاب‌های بزرگ	۲۸۵/۵۰	۳۲۰/۰۰	۵۸/۰۰	۳۴۱/۰۰	۱۱۷/۰۰
فراوانی سیلاب‌های بزرگ	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
نرخ اوج‌گیری سیلاب بزرگ	۹۱/۲۷	۰/۰۶	۲/۴۵	۳/۳۹	۰/۸۹
نرخ فروکش سیلاب بزرگ	-۸/۳۰	-۰/۱۰	-۸/۸۸	-۱/۷۴	-۲/۲۳

در شکل ۵ مقایسه مقادیر شاخص‌های تداوم جریان کمینه، زمان‌بندی جریان کمینه و فراوانی جریان کمینه رودخانه در دوره‌های متوالی نشان داده شده است.



شکل (۵): مقایسه مقادیر شاخص‌های الف) تداوم جریان کمینه، ب) زمان‌بندی جریان کمینه و ج) فراوانی جریان کمینه رودخانه خیاوچای

Figure (5): Comparison of the values of indicators a) continuity of minimum flow, b) timing of minimum flow and c) frequency of minimum flow of Khiavchai River

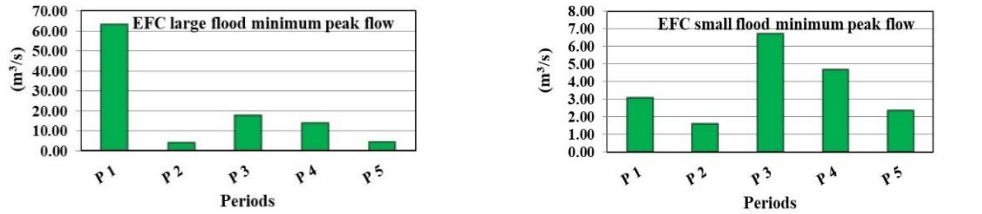
بر اساس اطلاعات ارائه شده در شکل ۵ می‌توان گفت که مقادیر شاخص‌های تداوم جریان کمینه، و فراوانی جریان کمینه در رودخانه خیاوچای افزایش پیدا کرده است. به‌عبارتی می‌توان گفت که در اثر کاهش بارندگی، می‌توان نتیجه گرفت که وقوع خشکسالی در دوره‌های اخیر افزایش پیدا کرده است که باعث افزایش کاهش جریان رودخانه در دوره‌های اخیر شده است. بدیهی است که تغییر در مقادیر دبی و نیز افزایش دوره‌های خشک بر زمان‌بندی وقوع جریان در رودخانه نیز تاثیر گذاشته و باعث افزایش این مولفه نیز شده است. در جدول ۹، مقادیر آستانه‌های کمینه و بیشینه جریان محیط زیستی رودخانه در دوره‌های متوالی نشان داده شده است.

جدول (۹): مقادیر پارامترهای جریان محیط زیستی در دوره‌های متوالی رودخانه خیاوچای

Table (9): Values of environmental flow parameters in consecutive periods of Khiavchai River

آستانه‌های کمینه جریان محیط زیستی	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره چهارم	دوره پنجم
آستانه‌های بیشینه جریان محیط زیستی	۱/۱۸	۱/۱۲	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۷۶
دبی اوج سیل‌های کوچک جریان محیط زیستی	۳/۰۷	۱/۵۹	۶/۷۱	۴/۷۰	۲/۳۵
دبی اوج سیل‌های بزرگ جریان محیط زیستی	۶۳/۵۱	۴/۰۹	۱۷/۸۰	۱۴/۰۰	۴/۴۶

در شکل ۶ مقایسه مقادیر شاخص‌های تداوم جریان کمینه، زمان‌بندی جریان کمینه و فراوانی جریان کمینه رودخانه در دوره‌های متوالی نشان داده شده است.

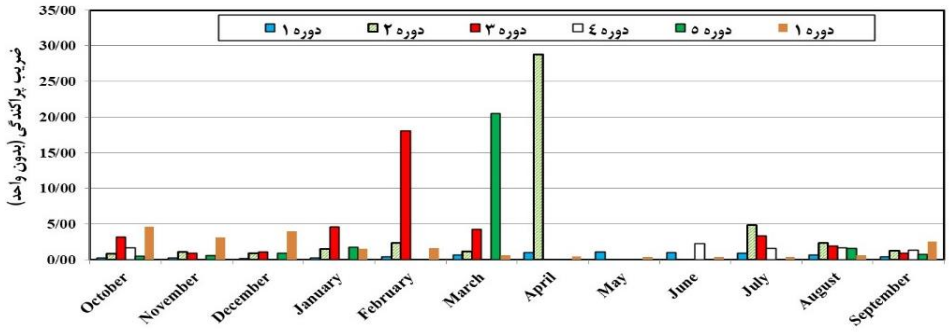


ب) الف)

شکل (۶): مقایسه مقادیر شاخص‌های اوج کمینه سیلاب‌های کوچک و بزرگ محیط زیستی در رودخانه خیاوچای

Figure (6): Comparing the values of the peak and minimum indices of small and large environmental floods in Khiavchai River

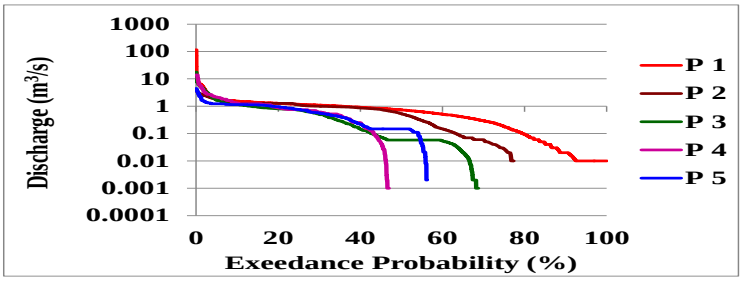
در شکل ۷ مقادیر ضریب پراکندگی جریان در ماه‌های مختلف هر دوره نشان داده شده است. ضریب پراکندگی جریان بر اساس حاصل تفریق دبی‌های صدک ۷۵ منهای صدک ۲۵ تقسیم بر دبی صدک ۵۰ به‌دست آمده است.



شکل (۷): مقایسه مقادیر ضریب پراکندگی جریان ماه‌های مختلف در دوره‌های تغییر جریان رودخانه خیاوچای

Figure (7): Comparison of flow dispersion coefficient values of different months in the flow change periods of Khiavchai River

تغییرات مقادیر شاخص پراکندگی جریان در شکل ۷ نشان می‌دهد که در دوره‌های گذشته مقدار شاخص مذکور کم بوده و حاکی از رژیم نرمال رودخانه در گذاشته داشته است. به‌عبارتی تغییرات در دبی جریان مانند وقوع سیلاب و یا جریان‌های کم‌آب در دوره‌های اخیر باعث افزایش مقدار ضریب پراکندگی رژیم جریان شده است. قابل ذکر است این تغییرات در برخی دوره‌ها در ماه‌های بهار بیش‌تر بوده است. در این خصوص می‌توان گفت که حوزه خیاوچای جزء حوزه‌های سیل‌خیز استان اردبیل است و هر ساله وقوع سیل‌های بهاره باعث ایجاد خسارت‌های قابل‌توجهی در منطقه می‌شود که با پراکندگی این مقادیر در ماه‌های مذکور مطابقت دارد. در شکل ۸ نمودار منحنی تداوم جریان سالانه در ایستگاه پل سلطانی نشان داده شده است.



شکل (۸): مقایسه مقادیر ضریب پراکندگی جریان ماه‌های مختلف در دوره‌های تغییر جریان رودخانه خیاوچای

Figure (8): Comparison of flow dispersion coefficient values of different months in the flow change periods of Khiauchai River

منحنی تداوم جریان (FDC) یکی از متغیرهای مهم در هیدرولوژی یا دبی کلاسه در رودخانه‌ها محسوب می‌شود. این منحنی رابطه بین مقادیر دبی و درصد زمانی را که این دبی مساوی یا بیش‌تر از آن، است به نمایش می‌گذارد، به‌عبارت‌دیگر رابطه بین بزرگی و فراوانی دبی برابر با دبی رودخانه را نشان می‌دهد. از نظر ژئومورفولوژی رودخانه، جریان‌های کمینه می‌تواند منجر به تامین رسوب و ثبات رژیم‌های رسوب در رودخانه شود و موجب ثبات کانال و حاشیه رودخانه شده و نیز با تامین رطوبت در بستر رودخانه، امکان تعامل موجودات زنده و پایداری زیستگاه را فراهم خواهد نمود. از منحنی تداوم جریان می‌توان برای صدور مجوز برداشت آب، تخلیه پساب و آلاینده‌ها، حفاظت رودخانه و شاخص‌های تامین بیولوژیکی جریان استفاده می‌شود. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۸ می‌توان گفت که در دوره‌های ابتدایی با توجه به مقادیر بیش‌تر دبی، دامنه تغییرات کم‌تر شاخص‌ها و نیز تعداد کم‌تر روزهای بدون جریان، رژیم جریان رودخانه بیش‌تر به حالت طبیعی نزدیک بوده است، لذا مقدار دبی‌های حداکثر رودخانه و دبی‌های پرآبی بیش‌تر بوده است. هم‌چنین جریان رودخانه در کل ایام سال با دبی بالاتر از ۰/۰۱ مترمکعب درثانیه (معادل ۱۰ لیتر در ثانیه) تداوم داشته است. در حالی‌که در دوره‌های اخیر و خصوصاً دوره چهارم، میزان دبی رودخانه به شدت کاهش پیدا کرده است و همزمان تداوم جریان رودخانه نیز کاهش پیدا کرده است، به‌گونه‌ای که در دوره‌های اخیر در ۵۰ الی ۶۰ درصد ایام سال دبی رودخانه به کم‌تر یا برابر ۰/۰۰۱ مترمکعب در ثانیه (معادل) یک لیتر در ثانیه تقلیل پیدا کرده است.

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر تغییرات در مولفه‌های جریان محیط زیستی رودخانه خیاوچای در ۵ دوره متوالی با استفاده از نرم‌افزار IHA مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج، می‌توان گفت که مقادیر جریان‌های حداقل در دوره اول (۱۳۶۷ تا ۱۳۷۶) بیش‌تر بوده است، در حالی‌که در دوره‌های اخیر و خصوصاً دوره ۷ ساله (۱۳۹۱ تا ۱۳۹۸) مقادیر شاخص‌های جریان کمینه کاهش پیدا کرده است که به‌دلیل کاهش جریان رودخانه در ماه‌های خشک سال بوده است که تاثیر خود را در منحنی‌های تداوم جریان رودخانه نیز نشان داده است. هم‌چنین روند مشابهی در مورد کاهش مقادیر دبی شاخص‌های جریان‌های حداکثر نیز ثبت شده است، به‌عبارتی می‌توان گفت که وقوع جریان‌های حداکثر نیز در رودخانه خیاوچای کاهش پیدا کرده است. قابل ذکر است که تعداد روزهای دارای جریان صفر نیز در دوره‌های متوالی پژوهش نیز افزایش پیدا کرده است و در دوره اخیر به تعداد ۱۷۴ روز بدون دبی رسیده است. در این خصوص می‌توان گفت که برداشت آب از رودخانه برای اهداف کشاورزی و نیز آبیاری باغات اطراف رودخانه خیاوچای و نیز محدوده گردش‌گری پل معلق در خشک شدن جریان رودخانه موثر بوده است. هم‌چنین بخشی از این افزایش کم‌آبی رودخانه و تغییر رژیم را می‌توان با کاهش بارندگی و نیز افزایش برداشت از بالادست رودخانه مرتبط دانست. در این راستا، ارزیابی دقیق وقوع خشکسالی‌ها و نیز کاهش بارندگی از پیشنهادهایی است که می‌تواند برای تعیین سهم تغییرات مولفه‌های اقلیمی در کاهش آبدهی رودخانه در پژوهش‌های آتی مدنظر قرار گیرد. از طرفی بخشی از این تغییرات می‌تواند با تغییر و کاهش در پوشش گیاهی مرتبط باشد که در اثر شدت چرای بهره‌برداران از مراتع دچار تخریب شده است. در این راستا، کاظمی و بیات (۱۳۹۶)، نیز به تاثیر تغییر کاربری اراضی بر شاخص‌های جریان کمینه حوزه آبخیز طالقان اشاره نموده‌اند. هم‌چنین خسروی و همکاران (۱۳۹۸) نیز در مطالعه تغییرات رژیم جریان آب رودخانه خرمالو در استان گلستان با استفاده از شاخص‌های تغییر هیدرولوژیکی بیان نموده‌اند که جریان رودخانه مذکور از رژیم رواناب دائمی به رژیم سیلاب‌های ناگهانی تغییر پیدا نموده است. هم‌چنین ایشان تغییر مدت تداوم و زمان وقوع رخدادهای جریان‌های زیاد و خیلی کم سالانه را در اثر تغییر رژیم گزارش نموده‌اند. مقدار مولفه‌های نرخ اوج‌گیری و نیز نرخ فروکش در دوره‌های اخیر افزایش پیدا کرده است، افزایش شاخص‌های مذکور می‌تواند دلیلی بر افزایش سیل‌خیزی و وقایع سیلابی در جریان رودخانه باشد. تحلیل مقادیر دبی کمینه جریان رودخانه در دوره‌های قبل نشان می‌دهد که کاهش قابل توجهی در مقدار این مولفه صورت گرفته است و این تغییرات در ماه‌های پرباران سال بیش‌تر بوده است. به‌عبارتی می‌توان گفت که حتی در ماه‌های پرآب زمستان و بهار نیز مقدار دبی جریان کمینه کاهش قابل‌توجهی داشته است. به‌عنوان مثال می‌توان گفت که دبی جریان کمینه ۷ روزه که از شاخص‌های پرکاربرد در تعیین جریان‌های کمینه است در دوره‌های متوالی از مقدار ۰/۰۱ به مقدار ۰/۰۰ تغییر پیدا کرده است و کاهش این شاخص دلیلی بر کاهش مقادیر آبدهی جریان فصول کم‌آب بوده است. تغییرات مقادیر شاخص‌های

تداوم جریان کمینه، و فراوانی جریان کمینه در رودخانه خیاوچای حاکی از افزایش این مولفه است که ناشی از کاهش بارش و تغییر در مولفه‌های اقلیمی در دوره‌های اخیر است. تغییرات مقادیر شاخص پراکندگی جریان نشان داد که وقوع جریان‌های شدید و یا بسیار کم در رودخانه افزایش پیدا کرده است، به‌عبارتی وقوع جریان‌های شدید باعث افزایش مقدار ضریب پراکندگی رژیم جریان در دوره‌های اخیر شده است. بر اساس منحنی‌های تداوم جریان می‌توان گفت که در دوره‌های ابتدایی مقدار دبی جریان رودخانه در درصدهای مختلف منحنی دبی کلاسه بیش‌تر بوده است و جریان رودخانه در کل ایام سال با دبی بالاتر از ۰/۰۱ مترمکعب درثانیه (معادل ۱۰ لیتر در ثاینه) تداوم داشته است، در حالی که، در دوره‌های اخیر به کم‌تر یا برابر ۰/۰۰۱ مترمکعب در ثانیه کاهش پیدا کرده است. تغییرات تداوم جریان رودخانه نشان داد که در دوره‌های اخیر تداوم رودخانه به ۵۰ الی ۶۰ درصد ایام سال با دبی بسیار کم تغییر پیدا نموده است. دلیل این امر را می‌توان با اثر توام برداشت و انحراف جریان و نیز مولفه‌های اقلیمی توجیه نمود. در مجموع می‌توان گفت که تغییر در رژیم رودخانه، مقادیر مولفه‌های مختلف جریان به سمت کاهش دبی، افزایش تعداد روزهای دبی صفر، کاهش شاخص‌های جریان کمینه، کاهش شاخص جریان‌های پرآبی و نیز ویژگی‌های محیط زیستی جریان رودخانه خیاوچای اتفاق افتاده است. ارزیابی دقیق سهم فعالیت‌های انسانی و نیز تغییرات اقلیمی نیازمند دسترسی به داده‌های دقیق میزان برداشت آب توسط بهره‌برداران و نیز تحلیل روند بارش‌های جوی ایستگاه‌های بالادست منطقه مورد مطالعه است. با توجه به اهمیت جریان محیط زیستی و نیز تداوم حیات رودخانه، رعایت حقابه محیط زیستی ضروری است. باید اشاره شود که برداشت‌های بی‌رویه باعث تشدید تغییرات رژیم جریان شده و از طرفی وقوع خشکسالی‌های متوالی نیز بر شدت تغییر مولفه‌های جریان و انحراف شرایط رودخانه از حالت طبیعی افزوده است.

منابع

Amini, H., Esmali-Ouri, A., Mostafazadeh, R., Sharari, M., & Zabihi, M. 2019a. Hydrological drought response of regulated river flow under the influence of dam reservoir in Ardabil Province. Earth and Space Physics, 45(2): 473-486. (In Persian).

Amini, H., Esmali-Ouri, A., Mostafazadeh, R., Sharari, M., & Zabihi, M. 2019b. Hydrological drought assessment and analysis of its characteristic using the Stream flow Drought Index (SDI) at hydrometry stations in the province of Ardabil. Watershed Management Research, 32(3): 21-36. (In Persian).

Asiabi Hir, R., Mostafazadeh, R., Raoof, M., & Esmali Ouri, A. 2018. Multi- Criteria evaluation of water poverty index spatial variations in some watershed of Ardabil Province: Ecohydrology, 4(4): 997- 1009. (In Persian).

- Baguis, P., Roulin, E., Willems, P. and V. Ntegeka. 2010. Climate change and hydrological extremes in Belgian catchments. Hydrology and Earth System Sciences, 7: 5033–5078.

Buffagni, A., Armanini, D.G., Erba, S., 2009. Does lentic-lotic character of rivers affect invertebrate metrics used in the assessment of ecological quality? J. Limnol., 68: 95–109.

Bunn, S.E., Arthington, A.H., 2002. Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. Environmental Management, 30, 4: 492–507.

De Girolamo, A.M., Porto, A.L., Pappagallo, G., Gallart, F. 2015. Assessing flow regime alterations in a temporary river – the River Celone case study, Journal of Hydrology and Hydromechanics., 63, 3, 263–272.

Eivazi, M., Alaie, N., Mostafazadeh, R. 2022. Temporal changes in runoff and sediment of rivers in Sabalan Mountain, Journal of Watershed Management Research, 13(26): 43-57. (In Persian).

European Parliament. 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of The Council of 23 October 2000 establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy (Water Framework Directive).

Hering, D., Buffagni, A., Moog, O., Sandin, L., Sommerhäuser, M., Stubauer. I., Feld, C., Johnson, R., Pinto, P., Skoulikidis, N., Verdonschot, P., Zahrádková, S., 2003. The development of a system to assess the ecological quality of streams based on macroinvertebrates – design of the sampling programme within the AQEM project. Hydrobiologia, 88: pp345–361.

Kazemi, R., Bayat, R. 2017. Investigation of the Effects of Land use Change on Low flow Indices (Case study: Taleghan catchment).Journal of Water and Soil Conservation, 24(1): 287-294. doi: 10.22069/jwfst.2017.11473.2590 (In Persian).

Kazemi, S.Gh., Raoof, M., Hosseini, Y., Mostafazadeh, R., Mirzaei, S., 2017. Probabilistic analysis of flood events of Khiavchi river (Pole-Soltan station). 16th Iranian Hydraulic Conference, 6-7 September, Ardabil. (In Persian).

Khosravi, G., Sadoddin, A., Ownegh, M., Bahremand, A., Mostafavi, H. 2019. Classification and identification of changes in river flow regime using the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) Case study: (The Khormarud River- Tilabad Watershed- Golestan Province). Iranian journal of Ecohydrology, 6(3): 651-671. doi: 10.22059/ije.2019.269287.982 (In Persian).

Kiani T, Pourbashir Hir M. 2018. Analyzing the hydro-morphological indicators of the Balharoud river with the aim of determining the trend and causes of riverbed change. Journal of Applied Researches in Geographical Sciences 18 (49):111-125 (In Persian).

Kiani T, Pourbashir Hir M. 2018. Analyzing the hydro-morphological indicators of the Balharoud river with the aim of determining the trend and causes of riverbed change. Journal of Applied researches in Geographical Sciences, 18 (49) :111-125 (In Persian).

Martín, E.J., Ryo, M., Doering, M., Robinson, C.T. (2018). Evaluation of restoration and flow interactions on river structure and function: Channel widening of the thur river, switzerland. Water, 10(4), 439.

Mathews R, Richter B.D. 2007. Application of the indicators of hydrologic alteration software in environmental flow setting. J. Am. Water Res. Assoc. 2007; 43: 1400–1413.

Mehri, S., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A., & Ghorbani, A. 2017. Temporal and spatial changes of basal flow in rivers of Ardabil province: Earth and Space Physics. 43 (3): 623-634. (In Persian).

Nasiri khiavi, A., Faraji, A., & Mostafazadeh, R. (2019). Streamflow response to rainfall changes using the climate elasticity index in hydrometric stations of Ardabil province, Hydrogeomorphology, 21(6):1-22. (In Persian).

Nasiri khiavi, A., Mostafazadeh, R (2019) Spatio-temporal assessment of river flow discharge variability indices in some watersheds of Ardabil province. Hydrogeomorphology, 17:23-44. (In Persian).

Pirouzi, E., Madadi, A., Asghari saraskanroud, S. 2020. Investigation of Hydrological and Morphological Changes in Givi chay Due to the Construction of Givi Dam. Geography and Development, 18(61): 29-58. doi: 10.22111/gdij.2021.5833.

Poff N.L. 1996. A hydrogeography of unregulated streams in United States and an examination of scale-dependance in some hydrological discriptors.Freshwater Biology, 36 pp:71-91.

Poff, N.L., Richter, B., Arthington, A.H., Bunn, S.E., Naiman, R.J., Kendy, E., Acreman, M., Apse, C., Bledsoe, B.P., Freeman, M., Henriksen, J., Jacobson, R.B., Kennen, J., Merritt, D.M., O'Keeffe, J., Olden, J.D., Rogers, K., Tharme, R.E., Warner, A., 2010. The Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. Freshwater Biology, 55, 147–170.

Rezaei Moghaddam, M.H., Sarvati, M.R., Asghari Sareskanrood, S. (2012). Investigation of geometric alterations of Gezel Ozan River considering Geomorphologic and Geologic parameters. Geography and Environmental Planning, 2012; 23(2): 1-14. (In Persian).

Richter B.D, Baumgartner J.V, Wigington R, and Braun D. P. 1997. How much water does a river need? Freshwater Biology; 37: 231-249.

Richter B.D, Davis M.M, Apse C, Konrad C. 2011. A presumptive standard for environmental flow protection. River Research; 28: 1312–1321.

Richter BD, Baumgartner JV, Powell J, Braun DP. 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. Conservation Biology; 10(4):1163–1174.

Sheikh, Z., Yazdani, M. R., Moghaddam nia, A. 2019. Spatio-temporal changes evaluation of Flow Duration Curve Seasonal Indexes (FDCSI) during four decades in Namak Lake Basin. Iran-Water Resources Research, 15(2): 39-56. (In Persian).

Smakhtin V, Anputhas M. 2006. An assessment of environmental flow requirements of Indian river basins. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 2006; 42 p.

Smakhtin V.U, Revenga C, Do ll, P. 2004. Taking into account environmental water requirements in global scale water resources assessments. Research Report 2 of the CGIAR Comprehensive Assessment Program of Water Use in Agriculture. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 24 pp.

Tharme R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers", Published online in Wiley Inter Science.

The Nature Conservancy. Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 User's Manual.. 2009; 81pp.Available online at: https://www.conservationgateway.org

Zoppini, A., Amalfitano, S., Fazi, S. Puddu, A., 2010. Dynamics of a benthic microbial community in a riverine environment subject to hydrological fluctuations (Mulargia River, Italy). Hydrobiologia, 657, 1, 37–51.