



Investigating Hydrological Changes of Tejan River Estuary (Southern Caspian Sea-Mazandaran Province)

Document Type
Research Paper

Tayyebeh Khob¹, Hossein Mostafavi ^{*2}, Hossein Zeinivand ³, Hassan Esmailzadeh⁴, Mahtab Shojaei⁵, Mehdi Blouki⁶

Received
2023/02/26

Accepted
2023/06/12

1. Master's in Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
3. Associate Professor, Rangeland and Watershed Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan, Iran
4. Assistant Professor, Environmental Planning and Design Department, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
5. Head of the Biology Department of Marine Environment and Wetlands, Environmental Protection Organization, Tehran, Iran
6. Head of Marine Environment and Wetlands Ecology Department, Environmental Protection Organization, Tehran, Iran

DOI: 10.22034/eiap.2023.179289

Abstract

Although estuaries are considered as one of the most fertile ecosystems in the world, today they are under the influence of various threats and one of them is hydrological changes. In this study, by using the IHA hydrological change indicators, the changes in the hydrological regime in two statistical periods "natural flow regime" and "altered flow regime" were investigated in Soleiman Tange and Kordkheil hydrometric stations in Tejan watershed (Mazandaran province). Based on the IHA method, a total of 67 statistical parameters have been estimated by "IHA7 software"; these parameters are divided into two groups of indicators of (IHA) hydrological changes in the target range of (RVA) and the environmental flow component of EFC. According to the results, the minimum days of flow in the period before the construction of the dam is 227.5 days, while in the period after the construction of the dam, it is 48.5 days, and the number of days when the minimum flow occurs before the construction of the dam is 351 days. It has decreased to 286 days after the construction of the dam, so the annual limit flows in the Tejan River have experienced disturbances and moderate changes. Considering that the change in the hydrological indicators of the flow is mainly influenced by the construction of the dam, therefore the hydrological management of the dam will have a great effect on the ecological condition of the Tejan river estuary.

Keywords: Estuary, Evaluation, Indicators of hydrological changes, Flow regime, Ecology

Introduction

Estuaries are known as the route between rivers and the sea. Water bodies that connect the mouth of a river to the sea ecosystem. These bodies are among the most fertile natural areas in the world that connect the salty water of the sea with the freshwater of the rivers and act as an ecotone. These unstable ecosystems are exposed to constant physical, chemical, geographical and biological changes, and at the same time, in recent decades, following the rapid growth of the population, the entry of industrial, domestic and agricultural sewage, bridge construction, sand mining, overfishing, climate change, activities of ports and anchorages, construction of dams, etc., this valuable transitional area has been destroyed. Among the mentioned threatening factors, dams in the watershed, may have a major impact on the hydrology regime of estuary. Therefore, in this study, the main goal is to investigate the hydrological changes and analyze the ecological status of Tejan River estuary as a pilot. For this purpose, the software of Indicators of Hydrologic Alteration (IHA Software 7.1) was used, which can improve the estimation of processes related to environmental flow and facilitate the assessment of the natural conditions of water flow under the impacts of human activities.

Methodology/ study area

Tejan River is one of the important and permanent rivers of Mazandaran province. This river flows under the Neka-Tejan basin in the east of Sari city and south of Neka and Behshar cities. Tejan River basin is 83.1 km length with an area of 401.588 square kilometers and a perimeter of about 415 kilometers (Jafari, 1379)(Figure 1).

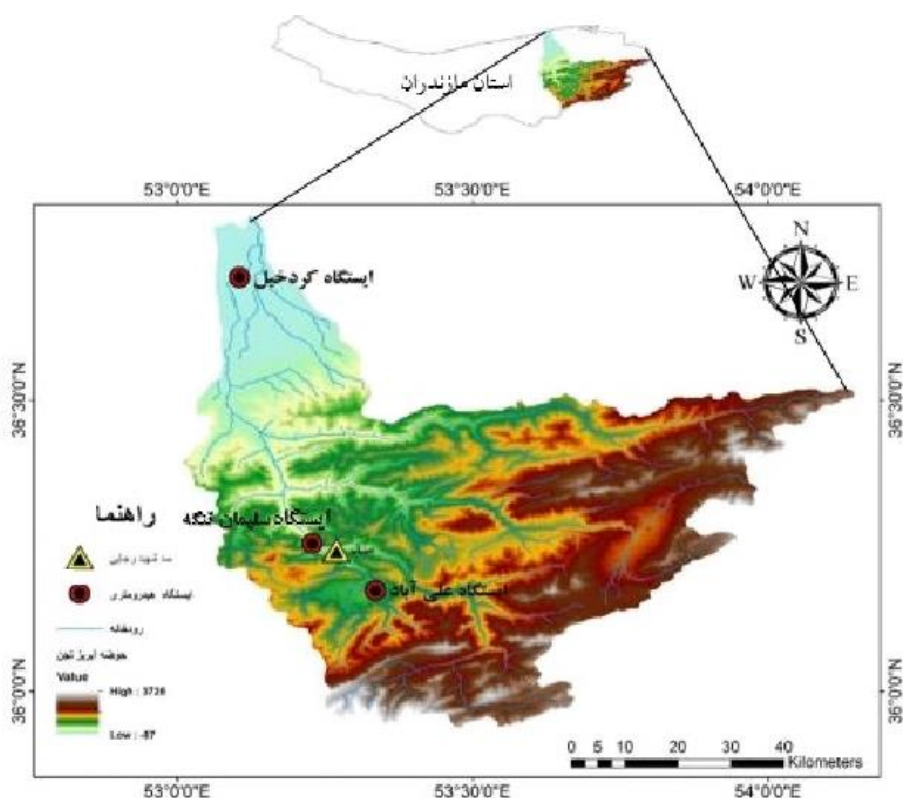


Figure (1): Location of hydrometric stations in Tejan catchment area

Methodology/ experimental design

Hydrological statistics and preparation information regarding IHA method: In the present study, daily discharge statistics were received from the Mazandaran organizations (i.e. Edareh Ab Manteghei Ostan Mazandaran). To carry out this study, first, the daily discharge data of Soleiman Tange hydrometric station (1333-1398), Kordkheil (1348-1398) were collected. To define the hydrologic shifts associated with Tejan dam, we used a model, the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA), developed by The Nature Conservancy (Richter et al., 1996). This model uses daily discharges and calculates 32 indices that describe

the hydrologic regime for that station (Table 1). The 32 indices generated by IHA comprise of five major categories: (i) magnitude; (ii) magnitude and duration of annual extreme conditions; (iii) timing of annual extreme conditions; (iv) frequency and duration of high and low pulses; and (v) rate and frequency of changes in conditions. The 32 hydrologic characteristics were developed by Richter et al. (1996) because of the close association with ecological functioning.

Table 1. Summary of Hydrologic Attributes by IHA

IHA Group	Hydrologic Parameter (units)	Abbreviation
Group 1: Magnitude of monthly flows	Median flow of April (m ³ /s)	April
	Median flow of May (m ³ /s)	May
	Median flow of June (m ³ /s)	June
	Median flow of July (m ³ /s)	July
	Median flow of August (m ³ /s)	August
	Median flow of September (m ³ /s)	September
	Median flow of October (m ³ /s)	October
	Median flow of November (m ³ /s)	November
	Median flow of December (m ³ /s)	December
	Median flow of January (m ³ /s)	January
Group 2: Magnitude and duration of annual extreme flows	Annual 1-day minimum flow (m ³ /s)	1-day minimum
	Annual 3-day minimum flow (m ³ /s)	3-day minimum
	Annual 7-day minimum flow (m ³ /s)	7-day minimum
	Annual 30-day minimum flow (m ³ /s)	30-day minimum
	Annual 90-day minimum flow (m ³ /s)	90-day minimum
	Annual 1-day maximum flow (m ³ /s)	1-day maximum
	Annual 3-day maximum flow (m ³ /s)	3-day maximum
	Annual 7-day maximum flow (m ³ /s)	7-day maximum
	Annual 30-day maximum flow (m ³ /s)	30-day maximum
	Annual 90-day maximum flow (m ³ /s)	90-day maximum
	Number of zero-flow days	
Base flow index (annual 7-day minimum flow divided by annual mean flow)	Base flow index	
Group 3: Timing of annual extreme flows	Julian date of annual 1-day minimum flow	Date of minimum
	Julian date of annual 1-day maximum flow	Date of maximum
Group 4: Frequency and duration of high and low pulses	Number of low pulses in each hydrologic year	Low pulse count
	Median duration of low pulses (days)	Low pulse duration
	Number of high pulses in each hydrologic year	High pulse count
	Median duration of high pulses (days)	High pulse duration
Group 5: Rate and frequency of flow changes	Rise rate (Median of all positive differences between consecutive daily values) (m ³ /s/day)	Rise rate
	Fall rate (Median of all negative differences between consecutive daily values) (m ³ /s/day)	Fall rate
	Number of flow reversals	Number of reversals

Results and Discussion

The results showed that the fluctuations in the hydrological indicators of the Tejan River in the periods before and after the construction of the Shahid Rajaei Dam indicate main changes in flow rate, and the construction of this dam causes disturbance. According to the results, the minimum days of flow in the period before the construction of the dam is 227.5 days, while in the period after the construction of the dam, it is 48.5 days, and the number of days when the minimum flow occurs before the construction of the dam is 351 days. It has decreased to 286 days after the construction of the dam, so the annual limit flows in the Tejan River have experienced disturbances and moderate changes.

By our modelling results and visits in the field as well as available literature, it can be stated that the construction of dams causes the disconnection of the biological and genetic connection of the species upstream and downstream of the dam, changes in the river bed and landscape and subsequent changes in the aquatic habitat. Therefore, a double effort should be made to evaluate the ecological flow variables in maintaining the connection between the flood plain and the river bed and the diversity of morphological

habitats. Considering that the change in the hydrological indicators of the flow is mainly influenced by the construction of the dam, therefore the hydrological management of the dam will have a great effect on the ecological condition of the Tejan river estuary.

References

Jafari, A. 1376-1368. Gitaology of Iran, Volume 1: Mountains and Mountains of Iran, Volume 2: Rivers and Rivers of Iran, Tehran. (In Persian).

Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., & Braun, D.P. 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology* 10 (4), 1163–1174.

ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی مصب رودخانه تجن (حوضه جنوبی دریای خزر – استان مازندران)

طیبه خب^۱، حسین مصطفوی^{۲*}، حسین زینی‌وند^۳، حسن اسماعیل زاده^۴، مهتاب شجاعی^۵، مهدی بلوکی^۶

۱. کارشناسی ارشد تنوع‌زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. استادیار، گروه تنوع‌زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، لرستان، ایران
۴. استادیار، گروه برنامه ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۵. رئیس گروه بیولوژی محیط‌زیست دریایی و تالاب‌ها، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران
۶. رئیس گروه اکولوژی محیط‌زیست دریایی و تالاب‌ها، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷

چکیده

اگرچه مصب‌ها به عنوان یکی از حاصلخیزترین اکوسیستم‌های دنیا محسوب می‌شوند، اما امروز تحت تاثیر تهدیدات گوناگونی هستند که یکی از آن‌ها تغییرات هیدرولوژیک است. در این مطالعه با استفاده از شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی IHA^(۱)، تغییرات رژیم هیدرولوژیکی در دو دوره آماری « رژیم جریان طبیعی» و « رژیم جریان تغییر یافته» در ایستگاه هیدرومتری سلیمان تنگه و کردخیل در حوضه آبریز تجن (استان مازندران) بررسی شده است. بر اساس روش IHA، در مجموع ۶۷ پارامتر آماری توسط نرم‌افزار IHA7 برآورد شده است؛ این پارامترها به دو گروه شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی IHA در محدوده هدف RVA^(۲) و مولفه جریان محیط‌زیستی EFC^(۳) تقسیم شده است. بر اساس نتایج، روزهای کمینه جریان در دوره قبل از احداث سد ۲۲۷/۵ روز می‌باشد، در حالی که در دوره بعد از احداث سد ۴۸/۵ روز است و تعداد روزهای زمان وقوع جریان حداقل قبل از احداث سد از ۳۵۱ روز به ۲۸۶ روز پس از احداث سد کاهش یافته، بنابراین جریان‌های حدی سالانه در رودخانه تجن دچار آشفتگی و تغییرات متوسطی شده‌اند. با توجه به این که تغییر در شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان عمدتاً تحت تاثیر احداث سد بوده بنابراین مدیریت هیدرولوژیکی سد تاثیر به‌سزایی در وضعیت اکولوژیکی مصب تجن خواهد داشت.

کلید واژه‌ها: مصب، ارزیابی، شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی، رژیم جریان، اکولوژی

* نویسنده مسئول:

سرآغاز

هیدرولوژیکی ناشی از سد و مشکلات محیط‌زیستی مربوط به آن سبب برانگیخته شدن نگرانی‌های زیاد برای هیدرولوژیست‌ها، اکولوژیست‌ها و سیاست‌گذاران شده است (Zhang, 2015). بنابراین در این مطالعه، هدف اصلی بررسی تغییرات هیدرولوژیکی و تحلیل آسیب‌های محیط‌زیستی و اکولوژیکی احتمالی بر مصب رودخانه تجن به عنوان پایلوت است. برای این منظور از نرم‌افزار شاخص‌های تغییرهیدرولوژیک (IHA Software 7.1) استفاده گردید که می‌تواند برآورد فرایندهای مربوط به جریان محیط‌زیستی را بهبود بخشد و سبب تسهیل در ارزیابی‌های شرایط طبیعی جریان آب تحت اثر فعالیت‌های انسانی شود. این نرم‌افزار برای هر نوع داده روزانه هیدرولوژیکی از قبیل جریان‌های رودخانه، تراز رودخانه، سطوح آب زیرزمینی یا ترازهای دریاچه قابل استفاده می‌باشد. مزیت IHA این است که می‌تواند داده‌های هیدرولوژیکی روزانه ورودی را به تعداد سری‌های قابل مدیریت از پارامترهای هیدرولوژیکی مرتبط با اکولوژی خلاصه کند. در این راستا، پژوهش‌های متعددی در داخل و خارج از کشور در راستای ارزیابی تغییرات جریان رودخانه‌ها صورت پذیرفته است. در این خصوص خسروی و همکاران، با استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی (IHA) در دو دوره آماری رژیم جریان طبیعی و رژیم جریان تغییر یافته در ایستگاه هیدرومتری نوده خاندوزه واقع در حوضه خروجی آبخیز تیل‌آباد (استان گلستان) تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه را بررسی نمودند. نتایج مطالعات نشان داد که الگوی رژیم جریان آب سالانه طی دوره آماری ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۵ از طبقه رواناب دایمی (PR) به دایمی با سیلاب‌های ناگهانی (PF) تغییر کرده است (Khosravi et al., 2019). نصیری و همکاران با بررسی تاثیر ترکیبی تغییر مولفه‌های اقلیمی و احداث سد یامچی بر دبی جریان رودخانه بالخلوچای اردبیل با استفاده از نرم‌افزار IHA 7.1 در دوره‌های قبل از احداث سد (۱۳۸۳-۱۳۵۳) و بعد از احداث سد (۱۳۹۲-۱۳۸۴) با بررسی، تغییرات ۳۳ متغیر هیدرولوژیکی و رویکرد دامنه تغییرپذیری را برآورد کردند. با توجه به نتایج آزمون روند دوره‌های بعد از احداث سد حدود ۹۲ درصد دبی‌های کمینه جریان را به خود اختصاص داده است. در حالی که، سهم این دوره از دبی‌های بیشینه فقط ۲۵ درصد است که بیانگر کاهش مقدار جریان در اثر احداث سد و همچنین مقدار متوسط دبی جریان رودخانه در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث

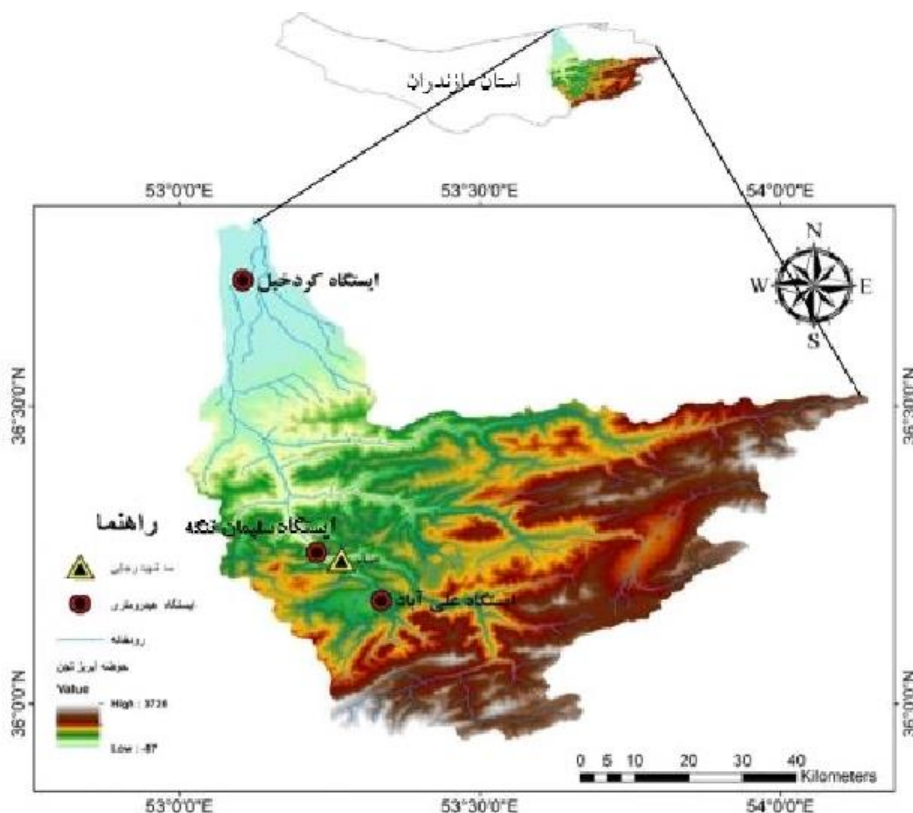
مصب‌ها به عنوان مسیرگذار بین رودخانه‌ها و دریا شناخته می‌شوند. پیکره‌های آبی که دهانه ورودی یک رودخانه را به اکوسیستم دریا اتصال می‌دهند. این پیکره‌ها از حاصلخیزترین مناطق طبیعی جهان به شمار می‌روند که آب شور دریا را با آب شیرین رودخانه‌ها پیوند و به عنوان اکوتون عمل می‌کنند. مصب‌ها به طور کلی از نظر جغرافیایی کوچک و از نظر اقتصادی بزرگ هستند و در واقع عملکردهای متفاوتی مانند: میراث (حفاظت از ارزش‌های فرهنگی، تاریخی و باستانی)، اجتماعی-اقتصادی (تامین مالی، دارایی، اکوتوریسم و ارزش‌های تفریحی)، اکولوژیک (تنوع‌زیستی، حفاظت و ارزش‌های منابع طبیعی)، و غیره دارند (Rozenberg, et al., 2000). این اکوسیستم‌های ناپایدار در معرض تغییرات دایم فیزیکی، شیمیایی، جغرافیایی و بیولوژیکی قرار دارند و در عین حال، در دهه‌های اخیر به دنبال رشد سریع جمعیت، ورود فاضلاب‌های صنعتی، خانگی و پساب‌های کشاورزی، ساخت پل، استخراج شن و ماسه، صید بی‌رویه، تغییر اقلیم، فعالیت‌های بنادر و لنگرگاه‌ها، سدسازی و غیره، این ناحیه انتقالی ارزشمند در معرض نابودی قرار گرفته است (CSIR, 2011). از بین عوامل تهدیدکننده ذکر شده، سدها در حوضه آبریز مصب‌ها تاثیر عمده‌ای بر هیدرولوژی و در نتیجه وضعیت اکولوژیکی مصب‌ها خواهند داشت. اگرچه سدها از مهمترین سازه‌های انسانی در امتداد رودخانه‌ها هستند که با هدف تولید برق، کنترل سیلاب و تهیه آب برای شرب، کشاورزی و مراکز شهری ساخته می‌شوند، اما مدیریت نامناسب آن‌ها می‌تواند اثرات محیط زیستی فراوانی بر جای گذارد. آن‌ها در زمینه هیدرولوژی، در درجه اول باعث تغییر در بزرگی، زمانبندی و فرکانس جریان‌ها می‌شوند. رژیم تغییر یافته جریان بر کیفیت آب، منابع انرژی، زیستگاه فیزیکی و برهمکنش‌های زیستی تاثیر می‌گذارد و در نتیجه به تمامیت اکولوژیکی اکوسیستم آسیب می‌رساند (Smakhtin and Anputhas., 2006). به عبارتی دیگر، تغییر رژیم رودخانه و حجم آب در فصول مختلف از اثرات مستقیم احداث سد می‌باشد. کاهش مواد رسوبی در مصب رودخانه سبب فرسایش سواحل دریا و سبب تغییر اکوسیستم سواحل و مصب رودخانه شده و کاهش سرعت آب باعث تقلیل قدرت خودپالایی رودخانه و همچنین انتقال حجم عظیمی از آلودگی‌ها به مصب می‌شود. در این ارتباط، تغییرات

سد شهید رجایی (سلیمان تنگه) بر هیدرولوژی مصب رودخانه تجن می‌باشد که با استفاده از نرم‌افزار شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک (IHA Software 7.1) بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: رودخانه تجن از رودهای مهم و دائمی استان مازندران می‌باشد. این رودخانه در زیر حوضه نكاء-تجن در شرق شهرستان ساری و جنوب شهرستان‌های نكاء و بهشهر جریان دارد. حوضه رودخانه تجن به روش گراویوس با مساحت ۴۰۱/۵۸۸ کیلومترمربع و محیطی حدود ۴۱۵ کیلومتر، ۸۳/۱ می‌باشد. مختصات جغرافیایی ۵۲° ۵۶' و ۵۴° ۵۹' طول شرقی و ۳۵° ۵۶' و ۳۶° ۴۹' عرض شمالی در زون ۳۹ N سیستم UTM و بیضوی WGS84 در استان مازندران واقع شده است (شکل ۱). بلندترین نقطه ارتفاعی در محدوده حوضه تجن کوه شاه‌دژ با ارتفاع ۳۲۵۰ متر و پایین‌ترین نقطه بندر فرح‌آباد با ارتفاع ۲۶ - متر در ساحل دریای خزر می‌باشد. سد شهید رجایی که از آن با عنوان سد سلیمان تنگه نیز یاد می‌شود در ۴۰ کیلومتری جنوب‌غربی ساری واقع در بخش دودانگه و در نزدیکی روستای افراچال می‌باشد (Jafari, 2005).

سد با کاهش ۵۲ درصدی است (Nasiri Khiavi et al., 2018). دایمی چینی و همکاران، با بررسی تاثیر سدهای گلستان و وشمگیر بر شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه گرگان‌رود با استفاده از رویکرد دامنه تغییرپذیری دریافتند که تغییر رژیم جریان می‌تواند تهدیدهای مهمی برای گونه‌های گیاهی و جانوری ایجاد کند و به آثار محیط‌زیستی نامطلوب منجر شود (Daechini et al., 2020). گائو و همکاران، به منظور ارزیابی توانایی شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک (IHA) برای توصیف تغییرات دبی رودخانه به این نتیجه رسیدند که آمارهای جریان سازگار با محیط‌زیست می‌توانند تدابیر کلی را برای تغییرات هیدرولوژیک (HA) جریان رودخانه فراهم کنند (Gao et al., 2009). چن و همکاران، در رودخانه دونگ‌جیانگ در جنوب چین، به تغییرات هیدرولوژیکی جریان ناشی از احداث سد با استفاده از شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک (IHA) پرداختند. نتایج حاکی از این بود که ساخت و ساز سدها موجب تغییرات هیدرولوژیکی می‌شوند، که به شدت تعادل جریان رودخانه را برهم می‌زنند و همچنین در اثر ساخت و ساز سد، بی‌نظمی در شاخص‌های هیدرولوژیک جریان افزایش یافته است (Chen et al., 2010). اما هدف پژوهش حاضر، تاثیر احداث



شکل (۱): موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در حوضه آبریز تجن

کار IHA دارای چهار مرحله: الف. وارد کردن داده‌های روزانه در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد، ب. محاسبه مقادیر تغییرات، ج. محاسبه آمارهای میان سالانه و د. محاسبه مقادیر IHA بوده است. در مرحله بعد، نمودار مربوط به تغییرات ماهانه دبی جریان در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد ترسیم و همچنین، مقادیر ماهانه دبی جریان در ۱۲ ماه سال و در هر دو دوره (قبل و بعد از احداث سد) برآورد شد. سپس، نمودار میزان افزایش و کاهش دبی جریان در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد شهید رجایی رسم شد. شاخص‌های تغییر هیدرولوژیکی (IHA) یک مجموعه توسعه یافته آماری هستند که برای ارزیابی درجه تغییر هیدرولوژیکی جریان رودخانه استفاده می‌شوند. این مجموعه آماری شامل ۶۷ متغیر است که به دو زیرگروه شامل ۳۳ شاخص تغییر هیدرولوژیکی (IHA) و ۳۴ مولفه جریان محیط‌زیستی (EFC) تقسیم می‌شود.

محدوده تغییرپذیری RVA روش محدوده تغییرپذیری (RVA) به عنوان یک روش پیچیده از روش‌های هیدرولوژیکی است که توسط (Richter, 2003, 2001) توسعه یافت. RVA از مطلوب‌ترین روش‌های دسته‌بندی شاخص‌های هیدرولوژیکی می‌باشد. از این روش برای رودخانه‌های تنظیم شده استفاده می‌شود، که حفاظت از کارکرد اکوسیستم‌های طبیعی و بومی و حفظ تنوع‌زیستی طبیعی از اهداف اولیه مدیریت می‌باشد (جدول ۱).

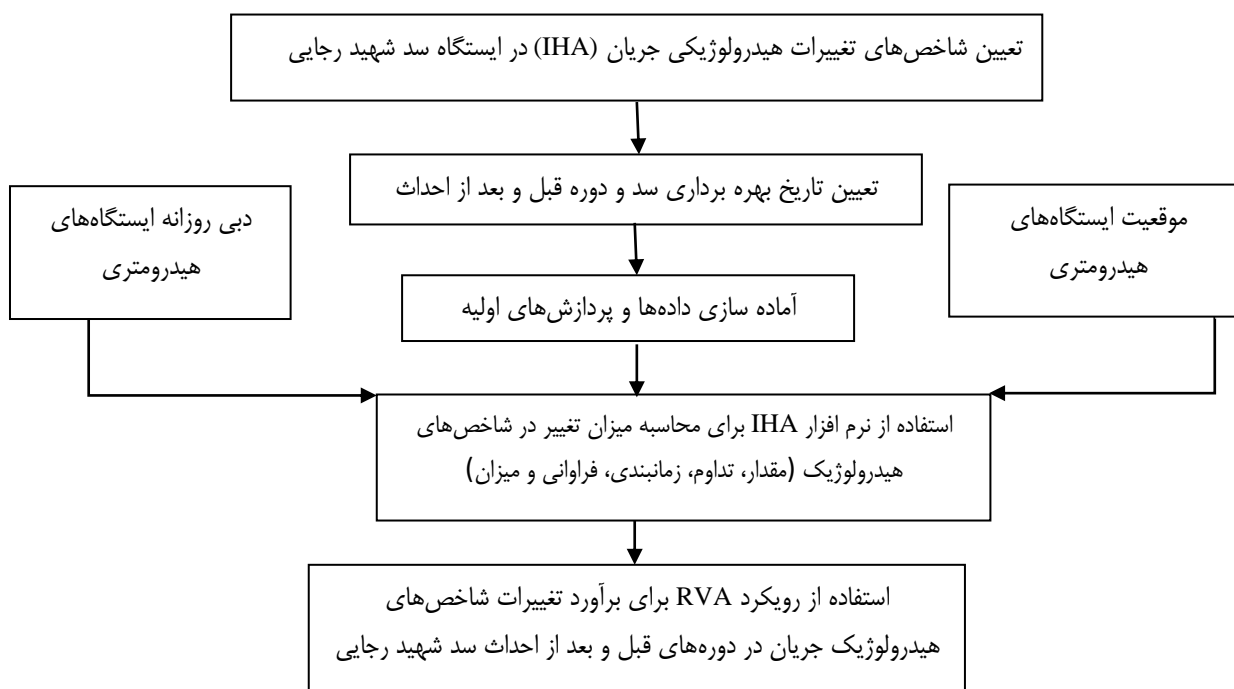
سد مخزنی شهید رجایی از نوع بتنی دو قوسی است که در محل سلیمان تنگه با طول جغرافیایی ۰۷ ۱۳ ۵۳ و عرض جغرافیایی ۹۴ ۱۴ ۳۶ بر روی رودخانه تجن احداث شده است. طول تاج سد ۴۲۷ متر و ارتفاع از پی ۱۳۸ متر و حجم کل مخزن ۱۶۰ میلیون مترمکعب و مساحت دریاچه سد در رقوم سرریز ۵۲ کیلومتر مربع می‌باشد. عملیات اجرایی سد در سال ۱۳۷۶ پایان یافته و در تاریخ ۱۳۷۷/۱/۱ به بهره‌برداری رسیده است (Nodehi, 2007). نحوه تهیه آمار و اطلاعات هیدرولوژیکی و بررسی روش IHA: در پژوهش حاضر آمار، دبی روزانه از شرکت تحقیقات منابع آب (تماب)، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مازندران دریافت شد. برای انجام این مطالعه، از آمار دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری سلیمان تنگه (۱۳۳۳-۱۳۹۸)، کردخیل (۱۳۴۸-۱۳۹۸) استفاده شده است. ابتدا پس از انتخاب آمار هیدرومتری، مقادیر ۳۳ متغیر هیدرولوژیکی و مقادیر بالا و پایین رویکرد دامنه تغییرپذیری (RVA) در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد شهید رجایی با استفاده از نرم‌افزار IHA Software برآورد شد. استفاده از این نرم‌افزار پنج ویژگی اساسی رژیم جریان شامل مقدار، تداوم، زمانبندی، فراوانی و میزان مورد بررسی قرار گرفت (Chen et al., 2000; Cardoso et al., 2019) همچنین، از تحلیل IHA و رویکرد RVA استفاده شد که با به‌کار گرفتن IHA و RVA یک مقایسه میان اثرات قبل و بعد از احداث سد بر دبی جریان رودخانه تجن صورت پذیرفت. به طور کلی، روش

جدول (۱): پارامترهای IHA و تاثیرات آن بر اکوسیستم

گروه	پارامترهای IHA	ویژگی‌های رژیم هیدرولوژیکی جریان	تاثیر بر اکوسیستم
۱	میزان آبدهی ماهانه	میانگین دبی جریان	فراهم نمودن زیستگاه برای موجودات آبی تاثیر بر روی رطوبت خاک مورد استفاده توسط گیاهان
۲	مقدار و مدت وقایع حدی	حداقل و حداکثر میانگین‌های یک، سه، هفت، ۳۰ و ۹۰ روزه تعداد روزهای صفر سال شاخص جریان پایه	ایجاد اکوسیستم‌های آبی به‌وسیله عوامل زیستی و غیرزیستی تاثیر بر مورفولوژی کانال رودخانه و شرایط فیزیکی زیستگاه مدت زمان جریان زیاد برای دفع زباله و احیا و هوادهی دوباره به تخم‌های جانوران موجود در بین رسوبات
۳	زمان وقوع جریان‌های حدی	شماره روز وقوع حداقل و حداکثرهای جریان یک روزه	سازگاری با چرخه حیات موجودات زنده تکامل استراتژی‌های زندگی و مکانیسم‌های رفتاری
۴	تناوب و مدت تداوم پالس‌های کم و زیاد جریان	تعداد پالس‌های کم و بالا در هر سال آبی میانگین مدت زمان تداوم	تبادل مواد غذایی و مواد آلی بین رودخانه و سیلاب فراوانی و مدت زمان میزان استرس و فشار وارد شده بر گیاهان
۵	میزان و فراوانی تغییرات وضعیت جریان	میزان افزایش جریان میزان کاهش جریان تعداد برگشتهای هیدرولوژیکی	تنش خشکی بر روی گیاهان جذب موجودات زنده در جزایر و دشت‌های سیلابی تاثیر منفی خشک شدن جریان آب بر موجودات زنده کم تحرک

آمار ناپارامتریک (میانه و صدک) محاسبه شوند. برای اکثر وضعیت‌ها، آمار ناپارامتریک گزینه بهتری دارد. زیرا، بیشتر داده‌های هیدرولوژیکی، چولگی غیرنرمال دارند، اما برای مقادیری مانند میانگین دبی ماهانه، آمار پارامتریک، ترجیح داده می‌شود (Yang et al., 2008). در تحلیل RVA، دامنه کامل مقادیر هر پارامتر در دوره رژیم طبیعی به ۳ طبقه عددی (پایین، میانه و بالا) تقسیم می‌شود پایین‌ترین طبقه شامل همه مقادیر کمتر یا مساوی صدک ۳۳ است. طبقه متوسط شامل همه مقادیری است که در بازه صدک ۳۴ تا ۶۷ هستند، و بالاترین طبقه، مقادیر بیشتر از ۶۷ را شامل نشان می‌دهد.

با استفاده از این روش ۳۳ پارامتر هیدرولوژیکی بر حسب مقدار، زمان، تداوم و نرخ تغییرات قابل بررسی خواهد بود. از این پارامترها، ۱۷ پارامتر به مقدار، تداوم، تناوب، زمان و مورفولوژی رودخانه مربوط می‌شود. و بقیه شاخص‌های مرکزی شدت تغییرات را در بر می‌گیرد. هدف روش محدوده تغییرپذیری، تهیه یک سری از ویژگی‌های آماری، جنبه‌های اکولوژیکی رژیم جریان با برجسته کردن نقش مهم تغییرات هیدرولوژیکی در حفاظت از اکوسیستم‌های آبی است (Zou & Liang., 2015). شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی در روش محدوده تغییرپذیری می‌توانند با استفاده از آمار پارامتریک (میانگین انحراف معیار) یا



شکل (۲): نمودار جریان مراحل تعیین شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک جریان با استفاده از RVA در رودخانه تجن

ناحیه مصب و ایستگاه‌های هیدرومتری داشته و با توجه به متغیرهای گروه ۳ می‌توان بیان نمود که روزهای کمینه جریان در دوره قبل از احداث سد ۲۲۷/۵ روز بوده است که در پس از احداث سد به ۴۸/۵ روز کاهش یافته است. تعداد ضربان‌های بالا در دوره قبل از احداث سد بیشتر از دوره بعد از احداث سد می‌باشد. از طرفی، تعداد ضربان‌های کم در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد کاهش یافته است. در نهایت، با توجه به متغیرهای گروه ۵ می‌توان نتیجه گرفت که میزان نوسانات افزایشی در دبی جریان در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد کمتر شده است. همچنین،

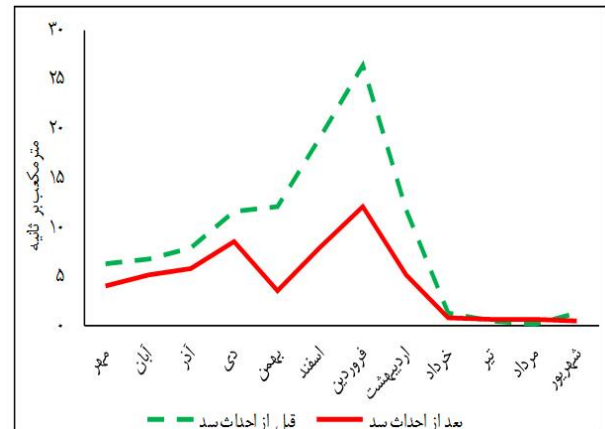
بحث و نتایج

در تحقیق حاضر، تاثیر احداث سد شهید رجایی بر دبی جریان رودخانه تجن مازندران در دوره قبل (۱۳۷۵-۱۳۳۳) و بعد از احداث سد (۱۳۷۶-۱۳۹۸) بررسی شده است. جدول (۲) نشان دهنده مقادیر تغییرات ۳۳ متغیر هیدرولوژیکی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. با توجه به جدول مقدار تغییرات میانه، شاخص جریان پایه در دو ایستگاه هیدرومتری (سلیمان تنگه و کردخیل)، بعد از احداث سد روند افزایشی داشته است و نتایج دوره‌های پیشینه/ کمینه جریان روزانه، هفتگی، ماهانه و سه ماهه نشان می‌دهد که احداث سد مذکور اثر منفی بر جریان دبی رودخانه در

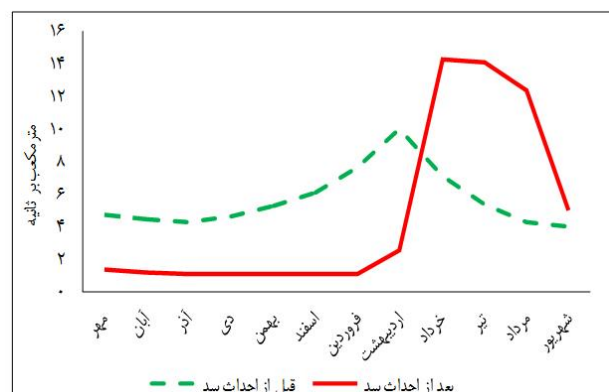
با توجه به جدول (۳) متغیرهای گروه ۱، نشان‌دهنده مقدار ماهانه دبی جریان می‌باشد. و با توجه به طبقه‌بندی ۳ کلاسه، در ایستگاه هیدرومتری کردخیل متوسط جریان ماهانه و همچنین حداکثر و حداقل‌های جریان، در همه ماه‌های سال به مقدار قابل توجه و یا در حد کمی، کاهش یافته است. از نتایج مربوط به دامنه تغییرپذیری (RVA) مشاهده می‌شود که دامنه مناسب مقادیر دبی ماهانه در ایستگاه هیدرومتری کردخیل برای شش ماه اول سال آبی (مهر، آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند)، اهداف تامین حیات رودخانه متناسب با دبی ۳/۵۲ تا ۲۲/۷۶ مترمکعب بر ثانیه و برای شش ماه دوم سال (فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور) این محدوده بین دبی ۰ تا ۳۶/۰۵ مترمکعب بر ثانیه است. همچنین وقایع حدی گروه ۲ شامل جریان‌های حداقل و حداکثر، روزهای جریان صفر، جریان‌های حداقل و حداکثر روزانه، هفتگی، ماهانه و سه ماهه (۱ روزه، ۳ روزه، ۷ روزه، ۳۰ روزه و ۹۰ روزه) و پالس‌های پایین و بالا می‌باشد. در ایستگاه کردخیل در دوره پس از احداث سد جریان‌های حداقل یک تا ۳۰ روزه در کلاس تغییرات هیدرولوژیکی کم و جریان حداقل ۳۰ روزه در کلاس تغییرات هیدرولوژیکی زیاد قرار دارند. در متغیرهای گروه ۳ تعداد روزهای زمان وقوع جریان حداقل قبل از احداث سد از ۳۵۱ روز به ۲۸۶ روز پس از احداث سد کاهش یافته، بنابراین جریان‌های حدی سالانه در رودخانه تجن در ایستگاه هیدرومتری کردخیل دچار آشفتگی و تغییرات متوسطی شده‌اند. در متغیرهای گروه ۴ تعداد ضربان کم قبل از تغییرات ۵ و پس از تغییرات مقدار آن ۱۱ شده که روند افزایشی داشته و تعداد ضربان بالا از عدد ۱۳ به ۱۰ رسیده است که روندی نزولی را در پی داشته است. همچنین با توجه به مقادیر گروه ۵، می‌توان نتیجه گرفت که میان نوسانات افزایشی در دبی جریان در دوره بعد از احداث سد (رژیم تغییر یافته)، نسبت به دوره قبل از احداث سد (رژیم جریان طبیعی)، کمتر شده است و از سوی دیگر، متغیرهای نوسانات افت در دبی جریان و تعداد برگشت جریان هیدرولوژیکی در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد، افزایش یافته است در حالی که متغیر میان افزایش دبی در دوره احداث سد، حالت کاهشی داشته است.

متغیر تعداد برگشت جریان در دوره بعد از احداث در ایستگاه هیدرومتری کردخیل که در نزدیکی مصب می‌باشد افزایش داشته است.

با توجه به شکل‌های (۳ و ۴) مقدار دبی جریان در دوره‌های بعد از احداث سد نسبت به دوره‌های قبل از احداث سد در هر دو ایستگاه مورد نظر روند نزولی داشته است. اما در ایستگاه هیدرومتری سلیمان تنگه دبی جریان در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد روند افزایشی را داشته است که با توجه به باز شدن دریچه‌های سد برای کشاورزی منطقه قابل استناد می‌باشد.



شکل (۳): تغییرات ماهانه دبی جریان رودخانه تجن ایستگاه کردخیل در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد شهید رجایی



شکل (۴): تغییرات ماهانه دبی جریان رودخانه تجن ایستگاه سلیمان تنگه در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد شهید رجایی

جدول (۲): مقدار تغییرات میانه شاخص های هیدرولوژیکی قبل و بعد از احداث سد شهید رجایی

پارامترهای هیدرولوژیکی	ایستگاه هیدرومتری سلیمان تنگه		ایستگاه هیدرومتری کردخیل	
	۱۳۷۵-۱۳۳۳	۱۳۹۸-۱۳۷۶	۱۳۷۵-۱۳۴۸	۱۳۹۸-۱۳۷۶
مهر	۴/۷۶۳	۱/۳۴	۶/۲۳	۴/۰۲۳
آبان	۴/۴۷	۱/۱۹	۶/۷۲	۵/۰۳
آذر	۴/۳۰۳	۱/۰۹۵	۷/۸۶	۵/۷۴
دی	۴/۶۸	۱/۰۸۵	۱۱/۵	۸/۴۲
بهمن	۵/۲۸	۱/۰۷۵	۱۲	۳/۴۵
اسفند	۶/۱	۱/۰۷۵	۱۸/۹۱	۷/۸
فروردین	۷/۶۵	۱/۰۵۵	۲۶/۴	۱۲/۰۵
اردیبهشت	۱۰/۰۵	۲/۵۶	۱۱/۷	۵/۰۶۵
خرداد	۷/۱۴۵	۱۴/۳	۱/۲	۰/۷۲۶
تیر	۵/۳۸۸	۱۴/۱	۰/۴۹	۰/۵۴۷۸
مرداد	۴/۲۵۵	۱۲/۳۵	۰/۰۴	۰/۵۵۸۵
شهریور	۴	۵/۰۱	۱/۲۳	۰/۵
دبی حداقل ۱ روزه	۲/۰۳۵	۰/۵۴۸	۰	۰/۱۶۰۵
دبی حداقل ۳ روزه	۲/۳۴۳	۰/۵۷۵۸	۰	۰/۲۳۰۸
دبی حداقل ۷ روزه	۲/۵۳۱	۰/۵۸۶۷	۰	۰/۲۳۸۹
دبی حداقل ۳۰ روزه	۳/۲۱۲	۰/۸۲۳۵	۰/۰۳۳۳۳	۰/۴۳۵۱
دبی حداقل ۹۰ روزه	۴/۰۲	۱/۰۱۷	۰/۷۵۳۷	۰/۷۳۱۳
دبی حداکثر ۱ روزه	۳۱/۵۹	۱۹/۶	۱۴۶	۱۸۹/۵
دبی حداکثر ۳ روزه	۲۴/۱۲	۱۹/۰۸	۹۵/۱۷	۱۰۱/۸
دبی حداکثر ۷ روزه	۱۸/۶۹	۱۷/۶۱	۶۶/۱۱	۶۱/۲۲
دبی حداکثر ۳۰ روزه	۱۳/۴۱	۱۶/۰۲	۴۳/۸۸	۳۷/۲
دبی حداکثر ۹۰ روزه	۱۰/۳۵	۱۴/۲۸	۳۰/۵۴	۱۹/۳۱
تعداد روزهای صفر	۰	۰	۱۳	۰
شاخص جریان پایه	۰/۳۹۸۲	۰/۱۱۴۱	۰	۰/۰۲۸۳
زمان وقوع جریان حداقل	۲۲۷/۵	۴۸/۵	۱۸۶	۲۱۴/۵
زمان وقوع جریان حداکثر	۱۳۴/۵	۱۸۲	۱۲۹	۳۱۸
تعداد ضربان کم	۱۱	۴	۵	۲/۵
مدت زمان ضربان کم	۳/۵	۹/۵	۹	۵/۵
تعداد ضربان بالا	۱۳	۳	۱۳	۱۰
مدت زمان ضربان بالا	۳	۵/۵	۲	۲
میزان نوسانات افزایشی دبی	۰/۵	۰/۳۵	۱/۷	۰/۴۷۵
میزان نوسانات کاهشی دبی	-۰/۴۱۵	-۰/۲۹	-۱/۸۵	-۰/۵۶
تعداد برگشت جریان	۱۲۰	۶۸/۵	۹۲	۱۴۳/۵

گروه ۱ - میزان آبدهی ماهانه

گروه ۲ - مقدار و مدت وقایع حدی (حداقل و حداکثر سالانه)

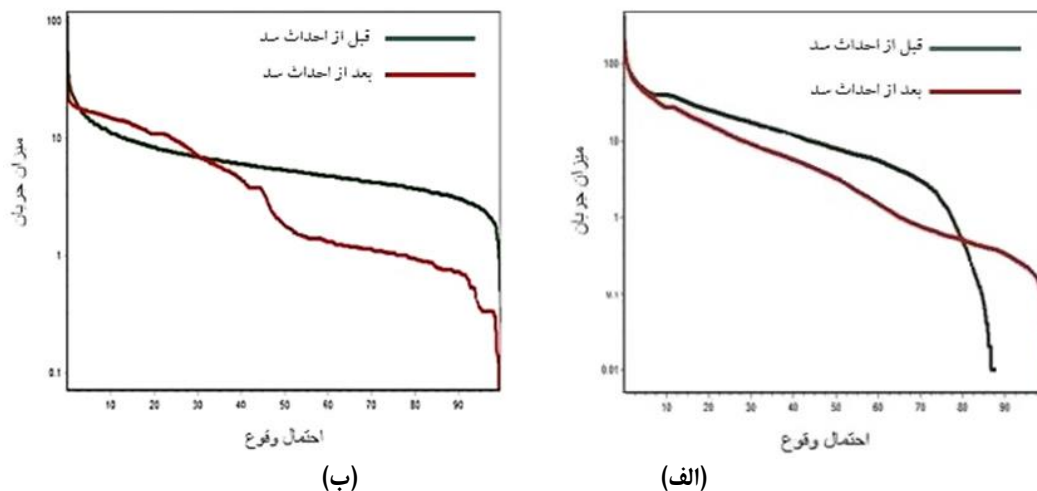
گروه ۳ - زمان وقوع

گروه ۴ - تناوب و مدت تداوم

گروه ۵ - میزان و فراوانی

جدول (۳): پارامترهای تغییرات هیدرولوژیکی IHA به کار رفته در روش RVA ایستگاه هیدرومتری کردخیل

اهداف RVA		رژیم جریان تغییر یافته			رژیم جریان طبیعی			پارامترهای هیدرولوژیکی
حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	
گروه ۱ - میزان آبدهی ماهانه								
۸/۹۴۵	۳/۵۲	۲۲/۴	۰/۱۷۳۵	۴/۰۲۳	۳۹/۱۲	۰	۶/۲۳	مهر
۸/۲۳	۵/۲۹۴	۱۵/۴	۰/۳۹۳	۵/۰۳	۳۹/۱۶	۰	۶/۷۲	آبان
۱۰/۲۸	۵/۶۵۷	۲۵/۴	۱/۲۴	۵/۷۴	۳۹/۲۲	۲/۳۷۵	۷/۸۶	آذر
۱۷/۳۳	۷/۴۵	۳۲/۵	۰/۶۰۴	۸/۴۲	۳۹/۲۹	۲/۹	۱۱/۵	دی
۱۷/۸۸	۸/۹۱۴	۶۰/۶	۰/۲۹۴	۳/۴۵	۳۹/۳۶	۵/۰۴	۱۲	بهمن
۲۲/۷۶	۱۵/۴۸	۴۶/۵۵	۰/۳۹۹۵	۷/۸	۳۹/۴۲	۷/۷۲	۱۸/۹۱	اسفند
۳۶/۰۵	۲۳/۰۴	۵۱/۳	۰/۷۳۸	۱۲/۰۵	۴۹/۶	۱۱/۱۸	۲۶/۴	فروردین
۲۴/۰۸	۶/۵۱۷	۴۰/۷۵	۰/۲۳۶۵	۵/۰۶۵	۶۵/۴۵	۰	۱۱/۷	اردیبهشت
۳/۸۳۸	۰/۴۷۳۴	۲۶/۶	۰/۱۵	۰/۷۳۶	۶۱	۰	۱/۲	خرداد
۱/۴۷۱	۰/۰۷۶۸	۲۶/۶	۰/۱۵۷۵	۰/۵۴۷۸	۳۸/۸۹	۰	۰/۴۹	تیر
۱/۲۵	۰	۲۶/۶	۰/۰۴۹	۰/۵۵۸۵	۳۸/۹۶	۰	۰/۰۴	مرداد
۴/۱۰۸	۰	۲۶/۶	۰/۰۵۲	۰/۵	۳۹/۰۲	۰	۱/۲۳	شهریور
گروه ۲ - مقدار و مدت وقایع حدی (حداقل و حداکثر سالانه)								
۰	۰	۲/۴۸	۰	۰/۱۶۰۵	۲	۰	۰	دبی حداقل ۱ روزه
۰/۰۰۷۶	۰	۲/۷۰۳	۰/۰۰۵۶۶۷	۰/۲۳۰۸	۲/۲	۰	۰	دبی حداقل ۳ روزه
۰/۰۵۲۵۷	۰	۳/۱۶۶	۰/۰۰۸۵۷۱	۰/۲۳۸۹	۲/۲۲۹	۰	۰	دبی حداقل ۷ روزه
۰/۴۰۲۲	۰/۰۰۲۱۶	۴/۲۸۸	۰/۱۰۳۶	۰/۴۳۵۱	۳/۶۰۲	۰	۰/۰۳۳۳۳	دبی حداقل ۳۰ روزه
۳/۰۵۲	۰/۶۴۰۷	۱۳/۶۹	۰/۱۵۱۳	۰/۷۳۱۳	۷/۵۲۵	۰	۰/۷۵۳۷	دبی حداقل ۹۰ روزه
۱۷۲	۱۱۶/۶	۳۹۱	۳۳/۴	۱۸۹/۵	۴۱۸	۴۵/۵	۱۴۶	دبی حداکثر ۱ روزه
۱۱۱/۴	۸۴/۲۵	۲۹۴	۲۴/۷	۱۰/۱/۸	۲۲۶	۳۰/۲۸	۹۵/۱۷	دبی حداکثر ۳ روزه
۷۶/۷۱	۶۰/۲۸	۱۵۲/۹	۱۵/۴۲	۶۱/۲۲	۱۶۴/۸	۲۳/۲۹	۶۶/۱۱	دبی حداکثر ۷ روزه
۴۸/۰۳	۳۸/۹۲	۹۱/۴۸	۱۱/۹۴	۳۷/۲	۸۷/۸۹	۱۶/۳۱	۴۳/۸۸	دبی حداکثر ۳۰ روزه
۳۵/۲۳	۲۸/۳۶	۶۸/۱۴	۸/۲۴۳	۱۹/۳۱	۵۷/۸۸	۱۳/۴	۳۰/۵۴	دبی حداکثر ۹۰ روزه
۷۲/۶۴	۲/۲۴	۱	۰	۰	۱۴۱	۰	۱۳	تعداد روزهای صفر
۰/۰۰۲۹۳	۰	۰/۱۳۸۵	۰/۰۰۰۶۹۲۶	۰/۰۲۸۳	۰/۰۸۴۸۱	۰	۰	شاخص جریان پایه
گروه ۳ - زمان وقوع جریان حدی								
۲۱۰	۱۴۷/۳	۲۸۶	۱۸	۲۱۴/۵	۳۵۱	۸۰	۱۸۶	زمان وقوع جریان حداقل
۲۳۹/۵	۹۷/۶۸	۳۶۲	۱۹	۳۱۸	۳۵۲	۴۸	۱۲۹	زمان وقوع جریان حداکثر
گروه ۴ - تناوب و مدت تداوم پالس‌های کم و زیاد جریان								
۶/۷۶	۴	۲۲	۰	۱۱	۱۱	۰	۵	تعداد ضربان کم
۱۲/۸۲	۷	۴۷/۵	۲	۵/۵	۹۹	۱	۹	مدت زمان ضربان کم
۱۳	۱۱	۱۹	۴	۱۰	۲۳	۱	۱۳	تعداد ضربان بالا
۲	۲	۱۰	۱	۲	۵	۱	۲	مدت زمان ضربان بالا
گروه ۵ - میزان و فراوانی تغییرات وضعیت جریان								
۲/۶۹۲	۱/۴۲۵	۲/۲۵	۰/۰۶۵	۰/۴۷۵	۵/۳۸۵	۰/۰۰۲۱۸۲	۱/۷	میزان افزایش
۰/۹۸۴۸-	-۱/۲	۰/۰۹۴۵-	-۱/۴۴	-۰/۵۶	-۰/۵۲	-۲	-۱/۰۸۵۳	میزان افت
۱۰۴/۳	۸۶/۴۸	۱۷۵	۶۴	۱۴۳/۵	۱۳۰	۳۵	۹۲	برگشت‌های هیدرولوژیکی



شکل (۵): منحنی تداوم جریان در ایستگاه هیدرومتری کردخیل قبل و بعد از احداث سد سمت راست، منحنی تداوم جریان در ایستگاه هیدرومتری سلیمان تنگه قبل و بعد از احداث سد سمت چپ

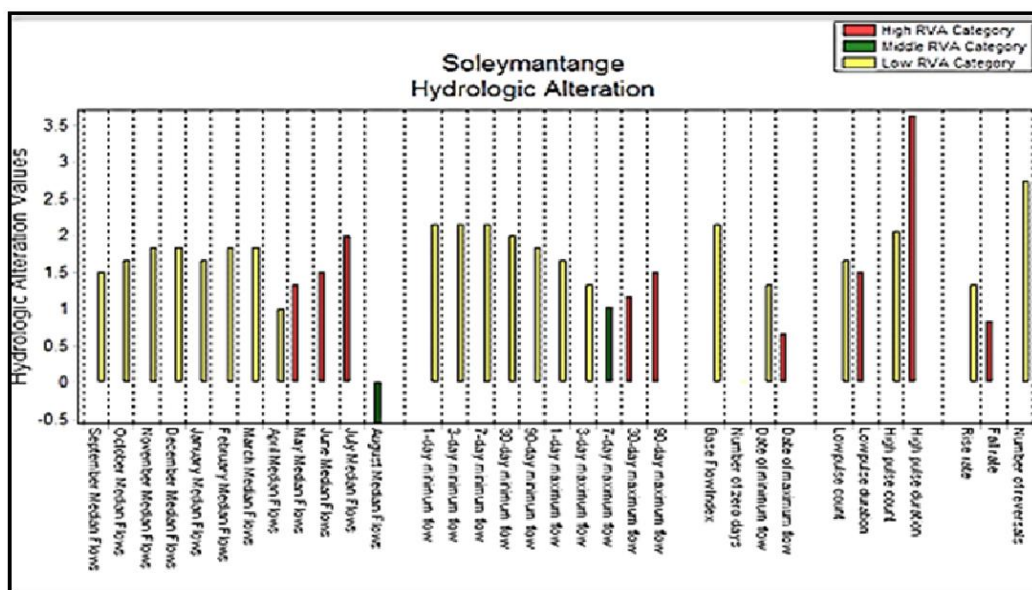
جریان کمتر از ۱ شود احتمال وقوع بیشتر از ۷۷ درصد خواهد شد. با توجه به نتایج حاصل از نمودارهای تداوم جریان در هر دو ایستگاه هیدرومتری (سلیمان تنگه و کردخیل) میزان دبی جریان کاهش یافته در نمودار قابل مشاهده است.

با توجه به شکل (۶)، میزان دبی ماهانه در ایستگاه هیدرومتری سلیمان تنگه کمترین میزان محدوده تغییرپذیری RVA در ماه فروردین است که با رنگ زرد قابل مشاهده می باشد و بیشترین میزان تغییرات مربوط به ماه تیر است که با رنگ قرمز مشخص شده و میانگین تغییرات مربوط به ماه مرداد است که با رنگ سبز مشخص شده است. در گروه ۲ که مقدار و مدت

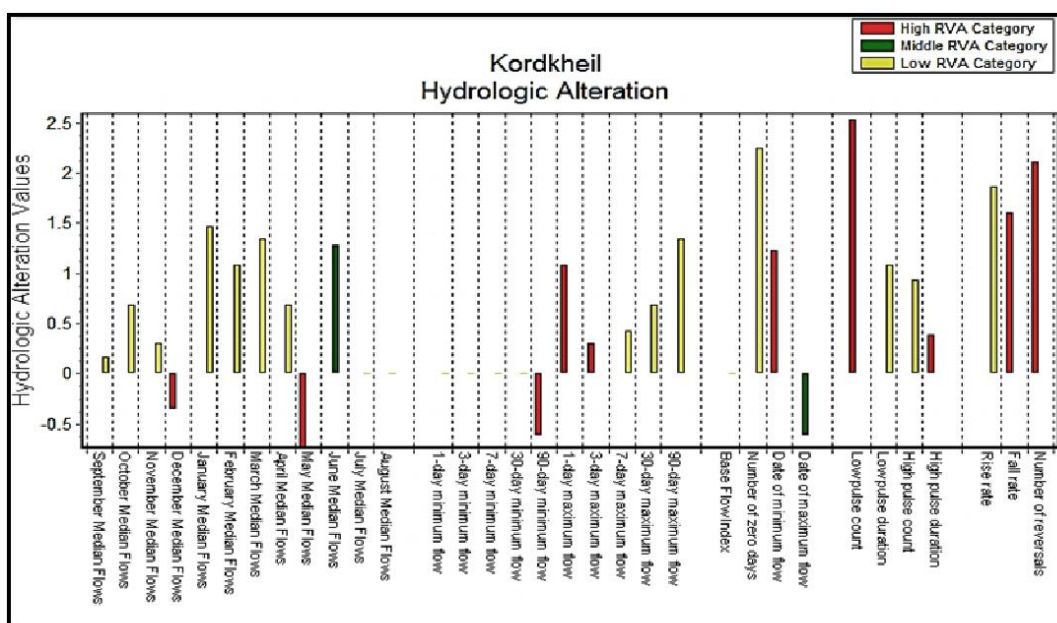
وقایع حدی را نشان می دهد، حداکثر جریان ۳ روزه کمترین مقدار تغییرپذیری و دبی حداکثر ۹۰ روزه بیشترین محدوده تغییرپذیری را دارا بوده و میانگین این تغییرات نیز در دبی حداکثر جریان ۷ روزه اتفاق افتاده است. در گروه آخر که میزان و فراوانی قابل مشاهده است، کمترین میزان تغییرپذیری در تعداد برگشت جریان قابل مشاهده است. نمودار ایستگاه هیدرومتری کردخیل در شکل (۷) نشان داده شده است. که در شاخص های گروه اول میزان دبی ماهانه، شهریور کمترین تغییرپذیری و اردیبهشت بیشترین تغییر را به صورت منفی داشته است و ماه خرداد نیز میزان میانگین تغییر پذیری را دارد. در شاخص های گروه دوم بیشترین تغییر مربوط به حداکثر جریان ۱ روزه بوده و کمترین تغییرپذیری مربوط به حداکثر جریان ۷ روزه است. با توجه به نمودار گروه سوم زمان وقوع جریان حداقل بیشترین تغییرپذیری را داراست. در گروه ۵، میزان نوسانات افزایشی دبی کمترین

منحنی تداوم جریان نشان دهنده رابطه بین فراوانی و مقدار دبی روزانه، هفتگی و ماهانه است. این منحنی ها رابطه بین مقادیر دبی و درصد زمانی که این دبی مساوی یا بیشتر از آن است را نشان می دهد. در شکل (۵-الف) منحنی تداوم جریان در ایستگاه هیدرومتری کردخیل قبل و بعد از احداث سد قابل مشاهده است که در نمودار قبل از احداث سد با توجه به اینکه میزان جریان بالاتر از ۱۰۰ بوده است احتمال وقوع آن کمتر از ۰/۰۷ می شود و در جایی از نمودار که میزان جریان ۱۰ شود احتمال وقوع آن افزایش یافته و به عدد ۴۴ درصد می رسد و اگر میزان جریان کمتر از ۰/۱ شود احتمال وقوع آن بیشتر از ۸۵ درصد می شود. و بعد از احداث سد در ایستگاه هیدرومتری کردخیل با افزایش میزان جریان از عدد ۱۰۰ احتمال وقوع آن کمتر از ۰/۷ می باشد. و زمانی که میزان جریان بیشتر از ۱ شود احتمال وقوع آن کمتر از ۶۵ درصد و در حالتی که میزان جریان کمتر از ۰/۰۱ شود احتمال وقوع ۹۹ درصد خواهد بود. در شکل (۵-ب) ایستگاه هیدرومتری سلیمان تنگه قبل از احداث سد وقتی میزان جریان بیشتر از ۱۰۰ باشد احتمال وقوع آن کمتر از ۰/۰۰۷ درصد می شود و با کاهش میزان جریان به عدد ۱۰ احتمال وقوع آن افزایش یافته و به عدد ۱۴ درصد می رسد و درست زمانی که میزان جریان به عدد ۱ نزدیک می شود و کاهش می یابد، احتمال وقوع آن ۹۹ درصد می شود. بعد از احداث سد نیز در ایستگاه هیدرومتری سلیمان تنگه میزان جریان ۳۵ و احتمال وقوع آن کمتر از ۰/۰۳ خواهد بود و موقعیتی که میزان جریان ۱۰ باشد احتمال وقوع آن کمتر از ۲۵ درصد می شود و در حالتی که میزان

تغییر را داشته و تعداد برگشت جریان بیشترین تغییر را شاهد بوده است.



شکل (۶): نمودار درجه تغییرات ۳۳ پارامتر IHA در ۳ طبقه هدف RVA در ایستگاه هیدرومتری سلیمان تنگه



شکل (۷): نمودار درجه تغییرات ۳۳ پارامتر IHA در ۳ طبقه هدف RVA در ایستگاه هیدرومتری کردخیل

افزایش و کاهش نیز بعد از احداث سد روندی نزولی داشته است. در مدت زمان سیلاب‌های کوچک قبل از احداث سد ۱۰/۵ بوده است که بعد از احداث سد به ۱۳۲ افزایش پیدا کرده است. در ایستگاه هیدرومتری کردخیل میزان جریان‌های حد پایین بعد از احداث سد روند کاهشی داشته است. همچنین در ضربان‌های بالای جریان، پیک جریان، نرخ افزایش و کاهش روند صعودی

با توجه به جدول (۴) که شاخص جریان‌های محیط‌زیستی را در دو ایستگاه کردخیل و سلیمان تنگه را نشان می‌دهد. در ایستگاه هیدرومتری سلیمان تنگه جریان‌های حد پایین بعد از احداث سد کاهش یافته اما مدت زمان جریان قبل از احداث سد ۳ بوده که بعد از تغییر به ۱۰/۵ رسیده است. در شاخص ضربان‌های بالای جریان فراوانی از عدد ۱۲ به ۳ کاهش یافته و همچنین نرخ

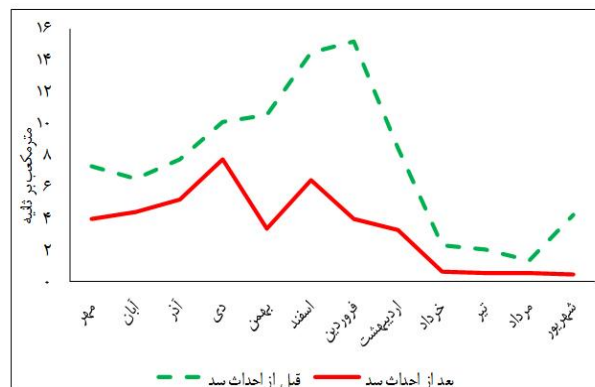
داشته‌اند. در سیلاب‌های کوچک زمانبندی از ۲۸۲/۵ به ۵۷/۵ و ۴/۵ به ۷۲/۵ افزایش پیدا کرده است. کاهش یافته است. و در سیلاب‌های بزرگ تداوم وقوع سیلاب از

جدول (۴): جریان‌های محیط‌زیستی در دو ایستگاه هیدرومتری سلیمان تنگه و کردخیل قبل و بعد از احداث سد

ایستگاه هیدرومتری کردخیل	ایستگاه هیدرومتری سلیمان تنگه		پارامترهای هیدرولوژیکی جریان زیست محیطی		جریان‌های حد پایین
	جریان طبیعی	جریان تغییر یافته	جریان طبیعی	پیک جریان	
جریان تغییر یافته	۰	۱/۱۵	۲/۶۲	پیک جریان	جریان‌های حد پایین
۰	۲	۳/۵	۵	فراوانی	
۱	۶/۵	۱۰/۵	۳	مدت زمان	
۷۰	۱۸۶	۱۹۶	۲۲۸	زمان بندی	
۳۸/۱۸	۳۶/۷۶	۱۲/۶	۱۰/۰۶	پیک جریان	ضربان‌های بالای جریان
۹	۱۲	۳	۱۲	فراوانی	
۲	۲	۵/۵	۲	مدت زمان	
۲۰/۵	۴۸	۲۱۰	۱۵۵/۵	زمان بندی	
۲۱,۹۵	۱۶,۷۲	۱/۷۱۸	۲/۷۲۵	نرخ افزایش	سیلاب‌های کوچک
-۱۵/۲	-۹/۳۵	-۱/۶۵۹	-۱/۷۷۴	نرخ کاهش	
۱۹۲	۱۷۶/۶	۳۴/۳	۴۵/۸۸	پیک جریان	
۱	۰	۰	۰	فراوانی	
۵/۵	۱۴	۱۳۲	۱۰/۵	مدت زمان	سیلاب‌های بزرگ
۵۷/۵	۲۸۲/۵	۱۰۷	۱۷۷/۵	زمان بندی	
۱۰۴/۵	۷۳/۰۱	۱/۸۴۸	۱۵/۱۴	نرخ افزایش	
-۵۲/۹	-۲۳/۲۷	-۰/۲۳۴۴	-۶/۴۳	نرخ کاهش	
۳۷۱	۴۱۴/۴	-	۶۸/۷۵	پیک جریان	سیلاب‌های بزرگ
۰	۰	۰	۰	فراوانی	
۷۲/۵	۴/۵	-	۳۱/۷۵	مدت زمان	
۳۷	۳۵۶/۵	-	۱۰۸/۸	زمان بندی	
۱۸۶/۴	۴۰۶	-	۱۳/۳۳	نرخ افزایش	سیلاب‌های بزرگ
-۵/۸۴۵	-۲۲۴/۵	-	-۷/۷۳۲	نرخ کاهش	

در نمودار شکل (۸) میانگین جریان محیط‌زیستی در ایستگاه هیدرومتری کردخیل در نزدیکی مصب نشان داده شده است. بالاترین مقدار جریان قبل از احداث سد مربوط به ماه فروردین و پایین ترین مقدار مربوط به ماه مرداد می‌باشد. همچنین پس از احداث سد بالاترین مقدار جریان مربوط به ماه دی و پایین ترین مقدار به ماه تیر تعلق دارد. و با توجه به شکل کلی نمودار میزان میانگین جریان‌های محیط‌زیستی پس از احداث سد کاهش یافته است.

نتایج مطالعه حاضر نشان‌دهنده این مطلب است که نوسانات در مقادیر شاخص‌های هیدرولوژیکی رودخانه تجن در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد شهید رجایی، نشان از تغییر دبی جریان



شکل (۸): نمودار میانگین جریان محیط‌زیستی ماهانه در ایستگاه هیدرومتری کردخیل

ترسالی و خشکسالی افزایش داشته است (Esfandyari Darabad et al., 2019) با توجه به نتایج مطالعه می‌توان بیان نمود که ساخت سدها سبب قطع ارتباط زیستی و ژنتیکی گونه‌های بالادست و پایین‌دست سد (در صورت عدم وجود سازه‌های راه ماهی)، تغییرات بستر رودخانه و در پی آن تغییر در زیستگاه آبزیان، کاهش یکپارچگی و افزایش از همگسیختگی در منطقه می‌شود. بنابراین باید تلاش مضاعفی برای ارزیابی متغیرهای جریان اکولوژیکی در حفظ اتصال بین سیلاب دشت و بستر رودخانه و تنوع زیستگاه‌های مورفولوژیکی صورت گیرد. مدیران و تصمیم‌گیرندگان می‌توانند جهت حفاظت و احیاء با تعیین و تنظیم حبابه سد سلیمان‌تنگه و رودخانه تجن، آمایش حوضه آبریز جهت برنامه‌ریزی بهتر از پتانسیل حوضه، تعیین بهتر الگوی کشت و متناسب با آب و تغییرات اقلیمی، مدیریت گردشگری منطقه به دلیل تولید زباله، جلوگیری از صید و صیادی بی‌رویه و تصمیمات جدی جهت جلوگیری از ورود آلاینده‌ها به مصب را اتخاذ نمایند.

نتیجه‌گیری

رژیم هیدرولوژیکی مهمترین عامل حرکت، پویایی زیست‌بوم آبی می‌باشد و عملیات سدسازی تاثیر قابل توجهی بر دبی جریان رودخانه می‌گذارد. هدف از تحقیق حاضر آمار دبی روزانه از سال (۱۳۳۳-۱۳۹۸) ایستگاه هیدرومتری سلیمان‌تنگه و کردخیل در رودخانه تجن در حوضه آبریز مصب تجن (استان مازندران) برای بررسی تغییرات رژیم هیدرولوژیکی با استفاده از تغییرات هیدرولوژیکی IHA در محدوده تغییرات RVA و مولفه‌های جریان محیط‌زیستی EFC از طریق نرم‌افزار IHA7 است. رژیم طبیعی جریان عامل مهمی است که بر سلامت اکوسیستم رودخانه‌ای تاثیر می‌گذارد. و دخالت‌های انسانی و احداث سد، منجر به تغییر در رژیم جریان و ایجاد تخریب‌های اکولوژیکی در رودخانه‌ها شده است. با توجه به نتایج به دست آمده میزان آبدهی ماهانه بعد از احداث سد کاهش یافته است که این موضوع سبب از بین رفتن زیستگاه برای سایر گونه‌ها اعم از آبزی و خشک‌زی خواهد شد، همچنین زمان وقوع جریان حداقل پس از احداث سد روندی نزولی داشته است که در موجودات زنده عامل ایجاد استرس و تنش خواهد بود. متغیر تعداد برگشت جریان در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد در ایستگاه هیدرومتری کردخیل که در

می‌باشد و احداث این سد موجب ایجاد اختلال و بی‌نظمی در شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان شده است. در پژوهش شطی و آخوندعلی این نتیجه به دست آمد که میانگین دبی رودخانه کارون در بازه سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۹۵ نسبت به سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۰ در ایستگاه‌های هیدرومتری بامدژ، ملاثانی و اهواز به ترتیب با ۵۶، ۵۷ و ۵۷ درصد کاهش مواجه بوده‌اند و به پیروی از آن، تغییرات و کاهش کیفیت آب رودخانه کارون، در بازه ملاثانی تا اهواز، نیز امری انکارناپذیر و ارتباط مستقیم با میزان دبی رودخانه دارد (Shatti & Akhondali., 2018). یکی از نقش‌هایی که جریان‌های حداکثر سیلابی دارند، حفظ شکل آبراهه رودخانه و محافظت از پوشش گیاهی آبی و کنار رودخانه‌ای است (Zhang et al., 2015; Kuriqi et al., 2019). در پژوهش‌های صورت گرفته، گزارش کرده‌اند که دبی شستشو، دبی شکل دهی به کانال و دبی مورد نیاز برای برقراری ارتباط میان آبراهه اصلی و دشت‌های سیلابی، جریان‌هایی هستند که برای حفاظت اکوسیستم رودخانه، ضروری است (Naderi et al., 2019). وانگ و همکاران، تاثیر سد مخزن Hanjiangkou بر شرایط اکوهیدرولوژیکی رودخانه Danjiangkou در چین ارزیابی کردند و نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد مخزن سد Danjiangkou به طور قابل توجهی رژیم جریان اکوهیدرولوژی را تغییر داده است و سبب کاهش تنوع‌زیستی آبزیان و جوامع ماهیان شده است (Wang et al., 2015). زو و همکاران، با بررسی رژیم جریان رودخانه Shaying در چین به این نتیجه رسیدند که احداث سدها اثر بسیاری بر رژیم جریان رودخانه دارند، به طوری که باعث کاهش میزان جریان در دوره‌ی بعد از احداث سد از ۳/۵ تا ۱۸۱/۵ درصد شده‌اند (Zhou & Liang., 2015).

لگلیتر در مطالعه‌ای، به اثرات سد مخزنی که در پایین‌دست رودخانه ساوری آمریکا احداث شده است، پرداخته و دریافت که احداث سد، موجب کاهش بزرگی جریان‌های اوج بهاری و افزایش جریان پایه می‌شود (Legliter, 2015). اسفندیاری درآباد و همکاران با بررسی احداث سدها در رودخانه‌های زربینه‌رود و ساروق‌چای در استان آذربایجان غربی، دریافتند که سدها سبب بهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی و تغییرات قابل توجه در شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان (جریان حداقل، جریان حداکثر و تداوم جریان) شده است و همچنین میزان بی‌نظمی در شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان در دوره‌های

در این پژوهش بدین معنی است که عملیات احداث سد سلیمان تنگه در منطقه مورد مطالعه باید در تعادل با دامنه دبی گزارش شده در اهداف RVA باشد و رعایت این اصل می‌تواند، به جریان پایه و محیط‌زیستی رودخانه تجن، اثر منفی وارد سازد. همچنین روش تحلیل دامنه تغییرپذیری RVA، به مدیران منابع آب اجازه تعیین اهداف مدیریتی به صورت مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های اجرایی یا برنامه احیاء و بازسازی اکوسیستم‌های رودخانه‌ای را نشان می‌دهد تا بتوانند تصمیمات درستی برای بحران‌های حال حاضر اتخاذ نمایند.

یادداشت‌ها

1. Indicators of Hydrological Alteration
2. Rang of Variability Approach
3. Enviromental Flow Components

نزدیکی مصب می‌باشد افزایش داشته است که باعث جذب موجودات زنده در جزایر و دشت‌های سیلابی می‌شود. با توجه به پارامترهای جریان محیط‌زیستی EFC در دو ایستگاه فوق (سلیمان تنگه و کردخیل) می‌توان بیان نمود که جریان‌های حد پایین در هر دو ایستگاه روند نزولی داشته که سبب مساعد شدن شرایط برای گونه‌های غیربومی شده و همچنین محیط را برای گونه‌های سیلاب دشتی نامناسب خواهد کرد. همچنین در ضربان‌های بالای جریان پیک جریان، نرخ افزایش و کاهش روند صعودی داشته‌اند که شرایط مناسب را برای گونه‌های شورپسند ایجاد می‌کند و سبب از بین رفتن تخم ماهیان و تغییر شکل دادن مورفولوژی کانال رودخانه می‌شود. و با توجه به افزایش تداوم سیلاب‌های کوچک و بزرگ تخم‌ریزی ماهیان و پرندگان دچار مشکل شده و تنوع در جنگل‌های اطراف سیلاب دشت‌ها کاهش می‌یابد. در نهایت این نتیجه‌گیری به عمل می‌آید که دامنه اهداف تعیین شده رویکرد محدوده تغییرپذیری

فهرست منابع

- Abdi, R., Yasi, M., Sokooti Oskoui, R. & Mohamadi, E. 2014. Environmental requirement assessment in Zarrinehrood River by hydrological methods. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 6(3). (in Persian)
- Ahmadipour, Z. & Yasi, M. 2014. Evaluation of Eco-hydrology-hydraulics Methods for Environmental Flows in Rivers (Case Study: Nazloo River, Urmia Lake Basin). *Journal of Hydraulics*. 9(2). (in Persian)
- Ali Oghli, S. 2018. Evaluation of the environmental regime and flow of the Hirmand River under the influence of Kamal Khan dam exploitation using the capacity of international conventions, master's thesis of Water Resources Engineering, Tarbiat Modarres University. (In Persian)
- Chen, Y.D., Yang, T., Xu, C.Y., Zhang, Q., Chen, X. & Hao, Z.C. 2010. Hydrologic alteration along the middle and upper east river (Dongjiang) Basin, South China. A visually enhanced mining on the results of RVA method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 24(1):9-18.
- CSIR. 2011. Development of the Goukou Estuary Management Plan: Estuary Management Plan Version I. Report prepared for the C.A.P.E. Estuaries Programme.
- Daechini, F., Vafakhah, M. & Moosavi, V. 2020. Impacts of the Golestan and Voshmgir Dams on Indicators of Hydrologic Alterations in the Gorganroud River Using Range of Variability Approach. *Iranian Journal of Eco Hydrology*.7(3). (in Persian)
- Esfandyari Darabad, F., Mostafazadeh, R., Shahmoradi, R. & Nasiri Khiavi, A. 2019. The Analysis of the Changes of the Hydrological Flow Indices Affected by Dam Construction in Zarrinehrood and Saruqchai Rivers of West Azerbaijan Province. *Hydrogeomorphology*. 5(18): 57-77. (in Persian)
- Gao, Y., R.M. Vogel, C.C., Kroll, N.L. Poff & Olden, J.D. 2009. Development of Representative indicators of hydrologic alteration. *Journal of Hydrology*, 136-147.
- Hemmati, M., Alizadeh, S., Yasi, M. & Ilkhanipour, R. 2020. Evaluation of Environmental Flows in the Ajichay River Using Eco-Hydrological Methods. *Irrigation & Water Engineering*. 10 (40).

- Jafari, A. 2005. *Gitshenasi –e- Iran, Volume 1: Rud-ha va Rud-name Iran*, Tehran. (In Persian)
- Kuriqi, A., Pinheiro, A.N., Sordo-Ward, A. & Garrote, L. 2019. Flow regime aspects in determining environmental flows and maximising energy production at run-of-river hydropower plants. *Applied Energy* 256: 113980.
- Khosravi, GH. R, Sadodin, A., Ownegh, M., Bahremand, M. & 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 Eco-Hydrology*. 6(3). (in Persian).
- Khosrobeigi Bozcheloei, S. & Vafakhah, M. 2016. Regional Analysis of Flow Duration Curve in Namak Lake Basin, Iran. *Journal of Watershed Management Research*. 7(14). (in Persian)
- Legleiter, C.J. 2015. Downstream effects of recent reservoir development on the morphodynamics of a meandering channel: Savery Creek, Wyoming, USA. *River Research and Applications* 31(10):1328-1343.
- Lin, Q., Wua, Z., Singh, V.P., Sadeghi, S.H.R., He, H. & Lu, G. 2017. Correlation between hydrological drought, climatic factors, reservoir operation and vegetation cover in the Xijiang Basin, South China. *Journal of Hydrology*, 549: 512-524.
- Mostafavi, S. & Yasi, M. 2015. Evaluation of Environmental Flows in Rivers Using Hydrological Methods (Case study: The Barandozchi River- Urmia Lake Basin). *Journal of Water and Soil*. 29 (5). 1219-123. (in Persian)
- Naderi, M.H., Alioghli, S., Poor gholam amiji, M., Fazlola, R. & Ghajaghi, A. 2019. Analysis of the changes in the hydrological indicators of the Karoon River in the periods before and after Construction of Gotvand dam using the variability range approach. *Iranian Irrigation and Drainage Journal*. 14(3). (In Persian)
- Nasiri Khiavi, A., Mostafazadeh, R., Esmali Ouri, A., Ghafarzadeh, O. & Golshan, M. 2019. Alteration of hydrologic flow indicators in Ardabil Balikhouchai River under combined effects of change in climatic variables and Yamchi Dam construction using Range of Variability Approach. 11(4). (In Persian)
- Nodehi, S. 2007. Studying the environmental effects of Shahid Rajae Sari Dam. (In Persian)
- Nasiri Khiavi, A. & Rajabi, M.R. 2018. The effect of Bukan Dam on the environmental flow of Zarineh Rood River using hydrological methods and EFC, Iran National Watershed Science and Engineering Conference, Urmia University, 7-1. (In Persian)
- Poff, NL. & Ward, JV. 1989. Implications of streamflow variability and predictability for lotic community structure: a regional analysis of Streamflow Patterns, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.*; 46: 1805–1818.
- Rojanamon, P., Chaisomphob, T. & Rattanapitikon, W. 2007. Regional Flow Duration Model for the Salawin River Basin of Thailand. *Journal of Hydrology*, 33: 411-419.
- Rozenberg, D.M., MacCully, P. & Pringle, C.M. 2000. Global-Scale Environmental Effects of Hydrological Alterations. *International River*, 1-16.
- Razzaghi Rezaeieh, A.; Ahmadi, H.; Haghdoost, N.A. & Hessari, B. 2019. The evaluation of river environmental flow by using the ecohydrological methods (Case study: Mahabad-Chai River). *Journal of Water and Soil Conservation*. 25(6). (in Persian).
- Richter, B.D., Mathews, R., Harrison, D.L. & Wigington, R. 2003. Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity. *Ecological Applications*, 13: 206- 224.
- Richter B.D., Davis M.M., Apse, C. & Konrad, C. A. 2011. Presumptive standard for environmental flow protection. *River Res.* 28: 1312–1321.

- Shatti, S. & Akhondali, A. 2018. Analysis of the Recent Hydrological Drought Effects on the Salinity in Karun River. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 12(6). (in Persian).
- Sojka, M., Jaskula, J., Wischer-Dysarz J. & Dysarz, T. 2016. Assessment of dam construction impact on hydrological regime changes in low land river, a case of study: the Stare Miasto reservoir located on the Powa River. *Journal of Water and Land Development*, 30(1): 119-125.
- The Nature Conservancy. 2009. Indicators of hydrologic alteration, Version 7.1, User's Manual, 76 pages.
- Wang, Y., Rhoads, B.L. & Wang, D. 2016. Assessment of the flow regime alterations in the middle reach of the Yangtze River associated with dam construction: potential ecological implications. *Hydrological Processes*, 30(21): 3949-3966.
- Zhang, Q., X. Gu, V.P. Singh & Chen, X. 2015. Evaluation of ecological instream flow using multiple ecological indicators with consideration of hydrological alterations. *Journal of Hydrology*, 529: 711-722.
- Zhang, Q., C.Y. Xu, V.P. Singh & Yang, T. 2009. Multiscale variability of sediment load and stream flow of the Lower Yangtze river basin: possible causes and implications. *Journal of Hydrology*, 368: 96-104.
- Zou, Q. & Liang, S.H. 2015. Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA. *Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources (IAHS Publ. 368)*, 1-6.