



## تحلیل تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک جریان تحت تأثیر احداث سد در رودخانه‌های زرينه‌رود و ساروق‌چای (استان آذربایجان غربی)

فربا اسفندیاری درآباد<sup>۱</sup>، رئوف مصطفی‌زاده<sup>۲</sup>، رضا شاهمرادی<sup>۳</sup>، علی نصیری خیاوی<sup>۴</sup>

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۱۰ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۲۲

### چکیده

افزایش تعداد احداث سدها در ایران، باعث تغییرات هیدرولوژیکی در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای شده است. هدف پژوهش حاضر، بررسی تغییر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان تحت تأثیر احداث سد در رودخانه‌های زرينه‌رود و ساروق‌چای در دوره‌ی آماری ۱۳۹۱-۱۳۳۴ می‌باشد. بنابراین ابتدا تعداد ۱۸ شاخص هیدرولوژیک جریان در چهار گروه اصلی شامل جریان پیک، جریان حداقل، تداوم جریان و تغییرپذیری جریان مورد محاسبه قرار گرفت. پس از محاسبه‌ی مقادیر شاخص‌ها، درصد اختلاف آن‌ها در دوره‌های قبل و بعد از احداث سدها در هر ایستگاه هیدرومتری برآورد شد. سپس با استفاده از نمودار سه متغیره در نرم‌افزار Surfer تغییرات زمانی شاخص‌های هیدرولوژیک جریان به ازای مقادیر مختلف دبی ارزیابی شد. براساس نتایج، در ایستگاه ساری‌قامیش، شاخص‌های Min و Q10 با مقادیر عددی ۲۸۷/۴۲ و ۴۵/۵۷- درصد به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تغییرات را داشته‌اند. در ایستگاه میان‌دوآب شاخص Q95 تغییر افزایشی و شاخص Rate of falling سیر نزولی را نشان می‌دهند. با توجه به نتایج کمی مربوط به درصد اختلاف شاخص‌های هیدرولوژیک، سدهای احمدآباد، گوگردچی، نوروزلو و شهید کاظمی در جریان طبیعی رودخانه‌های زرينه‌رود و ساروق‌چای اثرگذار بوده است و باعث تغییر شاخص‌ها در دوره‌های مورد مطالعه شده است.

کلمات کلیدی: حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه، زرينه‌رود، ساروق‌چای، سد شهید کاظمی، شاخص‌های هیدرولوژیک جریان.

۱- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده‌ی مسئول).  
E-mail: esfandyari@uma.ac.ir

۲- استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۴- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران.

## مقدمه

بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی از جمله رودخانه‌ها باعث تخریب منابع آبی سطحی شده است (خروشی و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۸۰؛ گائو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹: ۱). هم‌چنین تغییرات در دبی جریان به چالش‌های اساسی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب تبدیل شده است (صفری‌شاد و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۵). در سراسر جهان، از سازمان‌های مرتبط با امور و کاربران آب خواسته می‌شود تا جریان‌های طبیعی آب مورد نیاز برای حفظ گونه‌های گیاهی و جانوری حاشیه‌ی رودخانه‌ها را مورد توجه قرار دهند (پوستل<sup>۲</sup> و ریشر، ۲۰۰۳: ۲۰۶ و ۲۰۷؛ متیوس<sup>۳</sup> و ریشر، ۲۰۰۷: ۲). تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از سد و مشکلات زیست‌محیطی مربوط به آن از جمله تخریب اراضی کشاورزی، تخریب سازه‌ها و هم‌چنین از بین رفتن زیستگاه‌ها و مرگ آبزیان باعث نگرانی‌های زیادی را برای هیدرولوژیست‌ها، اکولوژیست‌ها و سیاست‌گذاران ایجاد کرده است (روزنبرگ و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۰: ۷۴۶ و ۷۴۷؛ ژانگ و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۵: ۱). اختلال فیزیکی جریان‌های بالا و پایین در اثر احداث سد، باعث تغییرات در ساختار و زیستگاه رودخانه می‌شود (بون و آرتینگتون<sup>۶</sup>، ۲۰۰۲: ۴۹۲ و ۴۹۳). ارزیابی تغییرات جریان در درک اثرات عمیق سدها بر روی سیستم‌های طبیعی رودخانه و برای بهینه‌سازی نقش تنظیم سدها مهم است (پوف و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۷: ۱). مطالعات صورت گرفته در سال‌های اخیر بر میزان اثرات سدسازی بر تغییرات جریان و نیز کاهش مقدار دبی رودخانه‌های تحت تأثیر سد تمرکز داشته است (فیتز‌هوگ و ووگل<sup>۸</sup>، ۲۰۱۱: ۱۱۹۲ و ۱۱۹۳؛ گریل و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۱۵: ۳). بنابراین، ارزیابی منابع آب مربوط به سدها باید

- 
- 1- Gao et al.,
  - 2- Postel
  - 3- Mathews
  - 4- Rozenberg et al.,
  - 5- Zhang et al.,
  - 6- Bunn and Arthington
  - 7- Poff et al.,
  - 8- FitzHugh and Vogel
  - 9- Grill et al.,

شامل ارزیابی رژیم کل جریان باشد تا بتواند دامنه‌ی دقیق‌تر تغییرات هیدروگراف را به‌دست آورد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷: ۶). زو و لیانگ<sup>۱</sup> (۲۰۱۵)، در استان هنان<sup>۲</sup> در چین، به بررسی اثرات سد روی رژیم جریان رودخانه‌ی شایینگ<sup>۳</sup> با استفاده از شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک (IHA)<sup>۴</sup> و رویکرد دامنه‌ی تغییرات (RVA)<sup>۵</sup> پرداختند و به این نتیجه رسیدند که احداث سدها تأثیر زیادی روی رژیم جریان رودخانه دارند به‌طوری‌که باعث کاهش میزان جریان در دوره‌ی پس از احداث سد از ۳/۵ به ۱۸۱/۱ درصد کاهش یافته است. سوچکا و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۶) ارزیابی اثرات احداث سد بر تغییرات هیدرولوژیکی جریان رودخانه‌ی پووا با استفاده از IHA و رویکرد دامنه‌ی تغییرپذیری (RVA) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سد مخزنی تأثیر متوسطی بر رژیم هیدرولوژیک رودخانه داشته است و هم‌چنین تأثیر چشم‌گیری در تغییر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ی پووا شده است. ساخت مخزن تأثیر مثبت بر تأمین جریان‌های کمینه دارد که برای حفاظت از زیست‌بوم‌های رودخانه‌ای اهمیت دارد هم‌چنین موجب کاهش کنترل سیل‌ها می‌شود. با توجه به رشد و توسعه سدسازی در جهان به‌ویژه در ایران، لزوم بررسی اثرات سد بر تغییرات جریان رودخانه‌ای از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به این که اکثریت قریب به اتفاق از سیستم‌های رودخانه‌ای جهان تحت کنترل و جریان آب قرار می‌گیرند و بیش‌تر رودخانه‌های جهان تحت تأثیر سدها قرار دارند (نیلسون و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۵: ۱) و از طرفی اثرات گزارش شده از سدها مربوط به تخریب زیستگاه، کاهش بهره‌وری، کاهش دامنه توزیع و تغییرات ثبت شده برای ترکیب جمعیت آبیان است (کاتالانو و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۷: ۵۱۹).

1- Zou and Liang

2- Henan

3- Shaying

4- Indicators of Hydrologic Alteration

5- Range of Variability Approach

6- Sojka et al.,

7- Nillson et al.,

8- Catalano et al.,

و ۵۲۰؛ اسلاوسکی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸: ۱۰۲۰ و ۱۰۲۱). آذرنگ و همکاران (۱۳۹۴)، به بررسی اثرات احداث سدهای بزرگ بر شرایط جریان و پارامترهای هیدرولیکی رودخانه‌ی کرخه با استفاده از مدل HEC-RAS پرداختند و پارامترهای هیدرولیکی به ازای دبی‌های مشخص قبل و بعد از ساخت سد را محاسبه نمودند که نشان‌دهنده‌ی کاهش چشم‌گیر پارامترهای دبی حداکثر، حداقل و متوسط شده است. هم‌چنین درصد میزان کاهش پارامتر شعاع هیدرولیکی نسبت به شرایط قبل از ساخت سد به ازای دبی‌های مشخصه حداقل، متوسط و حداکثر به ترتیب ۳۳ درصد، ۲۸ درصد و ۵۹ درصد کاهش را نشان می‌دهد. عزیزی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل Vensim به ارزیابی عملکرد بهره‌برداری از سدهای حوضه‌ی آبریز ارومیه با رویکرد پویایی سیستم‌ها پرداختند. نتایج حاکی از این بود که طرح‌های سازه‌ای در سطح حوضه ۴۲ درصد از جریان ورودی به دریاچه را کاهش داده‌اند که از این میزان حدود ۲۶ درصد مربوط به بهره‌برداری از هفت سد اصلی است ۱۶ درصد در ارتباط با توسعه کشاورزی و افزایش بهره‌برداری از نیاز آبی در حوضه بوده است. در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه، تعداد ۶۷ سد توسط وزارت نیرو (۲۴ سد بزرگ و ۴۳ سد کوچک) و تعداد ۵۰ سد کوچک نیز توسط جهاد کشاورزی احداث شده است. از میان ۲۴ سد مهم حوضه، ۱۳ سد بزرگ ساخته شده و در حال بهره‌برداری است. سهم استان آذربایجان غربی از حجم مخازن سدها و آب تنظیم شده در حدود ۷۴ درصد است. این سهم برای استان‌های آذربایجان شرقی و کردستان به ترتیب ۲۱ و ۵ درصد می‌باشد. حدود ۹۰ درصد آب‌های سطحی حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه توسط ۲۴ سد مهم حوضه، کنترل می‌گردد. در حالی که، احیای دریاچه‌ی ارومیه نیازمند ورود جریان‌های قابل توجه از رودخانه‌های پیرامون آن است (یاسی، ۱۳۹۶: ۴ و ۵). از این‌رو هدف تحقیق حاضر، بررسی کمی میزان تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک جریان در چهار گروه اصلی شامل جریان‌های حداقل<sup>۲</sup>، جریان‌های حداکثر<sup>۳</sup>، تداوم جریان<sup>۴</sup> و

1- Slawski et al.,

2- Low Flows

3- Peak Flows

4- Flow Duration

تغییرپذیری جریان در رودخانه‌های زرينه‌رود (ایستگاه‌های هیدرومتری میان‌دوآب و ساری‌قامیش) و ساروق‌چای (ایستگاه‌های هیدرومتری صفاخانه، شاخه‌ی راست آلاسقل و شاخه‌ی چپ آلاسقل) می‌باشد.

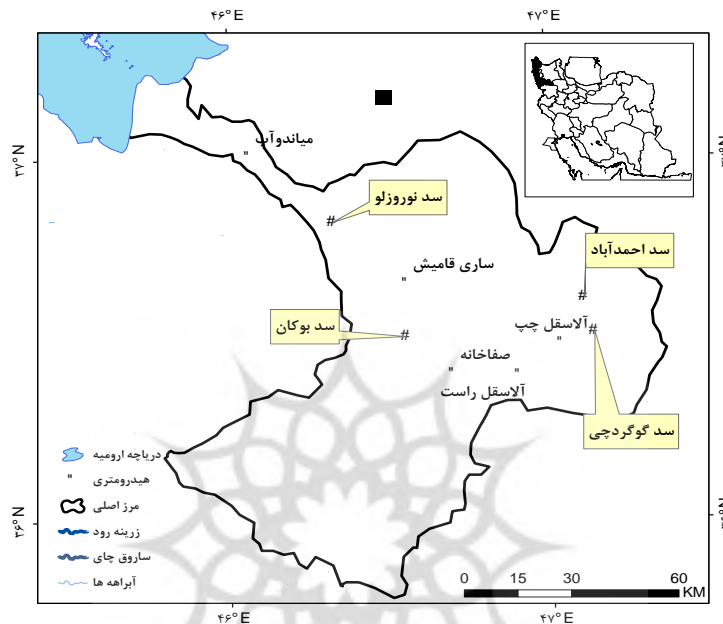
### مواد و روش‌ها

#### – معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه، در شمال غرب ایران، با مساحت حدود ۵۲۰۰۰ کیلومتر مربع، یکی از شش حوضه‌ی آبریز اصلی کشور است. در حال حاضر، بخش عظیمی از گستره آبی ۵۰۰۰ کیلومترمربع این دریاچه خشک گردیده، بیش از ۳۰ میلیارد مترمکعب آب آن نسبت به دوره‌های پرآبی دریاچه تا ۱۳۸۶ کم شده و دریاچه نسبت به کمینه‌ی تراز بوم‌شناسانه خود با کمبود بیش از ۱۲ میلیارد مترمکعب مواجه است (اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۳۹۴: ۴؛ یاسی، ۱۳۹۶: ۱). شکل (۱) موقعیت مربوط به سدها و ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه‌ی مورد مطالعه در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه را نشان می‌دهد.

#### – روش تحقیق

در تحقیق حاضر، میزان تغییر در جریان رودخانه‌های زرينه‌رود (ایستگاه‌های هیدرومتری میان‌دوآب و ساری‌قامیش) و ساروق‌چای (ایستگاه‌های هیدرومتری صفاخانه، شاخه‌ی راست آلاسقل و شاخه‌ی چپ آلاسقل) در اثر احداث سدها مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه از شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی تهیه گردید که طول دوره‌ی آماری داده‌ها به تفکیک ایستگاه‌های هیدرومتری، ساری‌قامیش دوره‌ی آماری ۱۳۹۱-۱۳۳۴، صفاخانه ۱۳۹۱-۱۳۵۲، میان‌دوآب ۱۳۹۱-۱۳۴۳، آلاسقل راست ۱۳۹۱-۱۳۶۹ و آلاسقل چپ ۱۳۹۱-۱۳۶۹ سال‌های آبی ۱۳۹۱-۱۳۳۴ می‌باشد. اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری تحت تأثیر سد در رودخانه‌های ساروق‌چای و زرينه‌رود در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه‌ی مورد مطالعه

جدول (۱) اطلاعات برخی از ایستگاه‌های هیدرومتری تحت تأثیر سد در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	نام سد	سال بهره‌برداری	نام رودخانه
۱	شاخه چپ آلسق	۴۷° ۰۳'	۳۶° ۲۹'	۱۳۵۰	احمدآباد	۱۳۹۱	ساروق چای
۲	شاخه راست آلسقل	۴۷° ۰۲'	۳۶° ۲۴'	۱۷۰۰	گوگردچی	۱۳۸۸	ساروق چای
۳	صفاخانه	۴۶° ۴۲'	۳۶° ۳۵'	۱۷۰۰	گوگردچی	۱۳۸۸	ساروق چای
۴	میاندوآب زرینه رود	۴۷° ۰۲'	۳۶° ۵۴'	۱۳۸۰	نوروزلو	۱۳۴۶	زرینه رود
۵	ساری قامیش	۴۶° ۲۹'	۳۶° ۲۹'	۱۴۳۴	شهید کاظمی	۱۳۵۰	زرینه رود

روند در داده‌های دبی در دوره‌ی زمانی مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار مک‌سنس<sup>۱</sup> که براساس آزمون غیرپارامتریک من‌کندال<sup>۲</sup> و روش سن<sup>۳</sup> برای تعیین مقادیر روند استفاده می‌شود مورد آزمون قرار گرفت.

1- MAKESENS

2- Mann-Kendall

3- Sen

جدول (۲) مشخصات شاخص‌های هیدرولوژیک مورد استفاده

شماره گروه اصلی شاخص‌های هیدرولوژیک علامت اختصاری	واحد	توضیحات
۱	دبی حداکثر یک روزه $M \times 1d$	متوسط حداکثر دبی‌های روزانه در طول دوره $m^3/km^2$
۲	دبی حداقل یک روزه Min	حداقل دبی‌های روزانه در طول دوره [days]
۳	دبی حداقل هفت روزه Mn7d	متوسط حداقل دبی‌های هفت روزه در طول دوره $m^3/km^2$
۴	تعداد روزهای صفر جریان ZeroD	متوسط تعداد روزهای جریان با دبی صفر [days]
۵	دبی ۱۰ درصد براساس منحنی تداوم جریان Q10	دبی برابر یا بیش‌تر از مقداری که در ۱۰ درصد ایام سال جریان دارد $m^3/s$
۶	دبی ۵۰ درصد براساس منحنی تداوم جریان Q50	دبی برابر یا بیش‌تر از مقداری که در ۵۰ درصد ایام سال جریان دارد $m^3/s$
۷	دبی ۷۵ درصد براساس منحنی تداوم جریان Q75	دبی برابر یا بیش‌تر از مقداری که در ۷۵ درصد ایام سال جریان دارد $m^3/s$
۸	دبی ۹۵ درصد براساس منحنی تداوم جریان Q95	دبی برابر یا بیش‌تر از مقداری که در ۹۵ درصد ایام سال جریان دارد $m^3/s$
۹	متوسط ضریب تغییرات سالانه CV_Day	متوسط ضریب سالانه از تغییر در مقدار جریان روزانه انحراف استاندارد تقسیم بر میانگین [-]
۱۰	انحراف معیار STDEV	انحراف معیار دبی‌های روزانه STDEV
۱۱	چولگی Skew	معیار آماری تقارن در توزیع داده‌های جریان روزانه [-]
۱۲	کشیدگی Kurt	معیاری از تیزی منحنی در نقطه‌ی ماکزیمم است [-]
۱۳	شدت اوج‌گیری Rate of rising	میانگین تفاوت‌های مثبت بین دبی روزانه متوالی $m^3/s$
۱۴	شدت فروکش Rate of falling	میانگین تفاوت‌های منفی بین دبی روزانه متوالی $m^3/s$
۱۵	تعداد اوج‌گیری Rising Days	تعداد روزهایی با دبی صعودی Day
۱۶	تعداد فروکش Rising Days	تعداد روزهایی با دبی نزولی Day
۱۷	شاخص عکس‌المعمل Flash	شاخص عکس‌العمل که نشان‌دهنده‌ی تغییرات روزانه به‌طور متوسط در رودخانه تقسیم بر متوسط جریان رودخانه در طول [-]

## ادامه جدول (۲) مشخصات شاخص‌های هیدرولوژیک مورد استفاده

توضیحات	واحد	شماره گروه اصلی شاخص‌های هیدرولوژیک علامت اختصاری
دوره‌ی آماری		
متوسط زمان بیش‌تر		
۱۸	TQmean	[-]
بودن جریان رودخانه		
از متوسط درازمدت		
عدم تقارن توزیع فراوانی رودخانه اما با حساسیت کم‌تر از ضریب انحراف		

در مرحله‌ی بعدی در نرم‌افزار اکسل تعداد هجده شاخص هیدرولوژیک جریان در چهار گروه اصلی شامل جریان‌های حداکثر، جریان‌های حداقل، تداوم جریان و تغییرپذیری جریان مورد محاسبه قرار گرفت. جریان‌های حداقل که شامل دبی حداقل یک روزه، دبی حداقل ۷ روزه و تعداد روزهای صفر جریان می‌باشد. گروه جریان‌های حداکثر که شاخص دبی حداکثر یک روزه را شامل می‌شود. گروه سوم تداوم جریان است که شاخص‌های آن نشان‌دهنده‌ی درصد مقادیر دبی برابر یا بیش‌تر در ایام سال است. در نهایت گروه چهارم که تغییرپذیری جریان می‌باشد و شامل شاخص‌های متوسط ضریب تغییرات سالانه، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی، شدت اوج‌گیری، شدت فروکش، تعداد اوج‌گیری، تعداد فروکش، شاخص عکس‌العمل و شاخص TQmean است. بدین ترتیب ابتدا مقادیر این شاخص‌ها محاسبه شد و سپس درصد اختلاف این شاخص‌ها در براساس مقادیر قبل و بعد از احداث سدها در هر ایستگاه هیدرومتری برآورد گردید و در نهایت در هر گروه اصلی از متوسط درصد اختلاف آن‌ها استفاده شد. جدول (۲) مربوط به هجده شاخص هیدرولوژیک مهم جریان در چهار گروه اصلی است. هم‌چنین در این راستا پس از محاسبه‌ی درصد اختلاف شاخص‌های مهم هیدرولوژیک، باکس پلات و نمودار سه متغیره تغییرات زمانی درصد اختلاف شاخص‌ها در بازه‌های مختلف دبی با استفاده از نرم‌افزار سورفر ارائه شد.

## بحث و نتایج

جدول (۳) نتایج مربوط به آزمون Makesens و بررسی روند بین متغیر دبی را نشان می‌دهد. مقادیر مربوط به درصد اختلاف هر یک از شاخص‌های برآورد شده مطابق جدول (۴) می‌باشد.



جدول (۳) روند دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری در منطقه‌ی مورد مطالعه

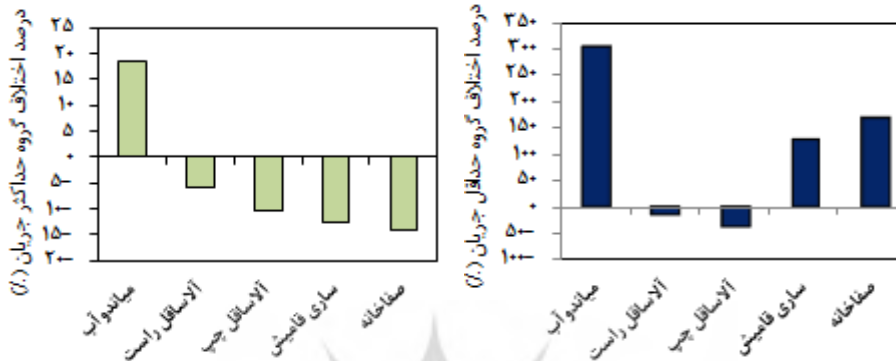
Significant (Sig.)	Test Z	هیدرومتری
ns	-۱/۱۴	ساری‌قامیش
*	-۲/۴۵	صفاخانه
ns	-۰/۸۳	میان‌دوآب
ns	-۰/۷۹	آلاسقل راست
***	-۳/۴۹	آلاسقل چپ

\* روند معنادار در سطح ۰/۰۵ \*\*\* روند معنادار در سطح ۰/۰۰۱ ns بدون روند معنادار

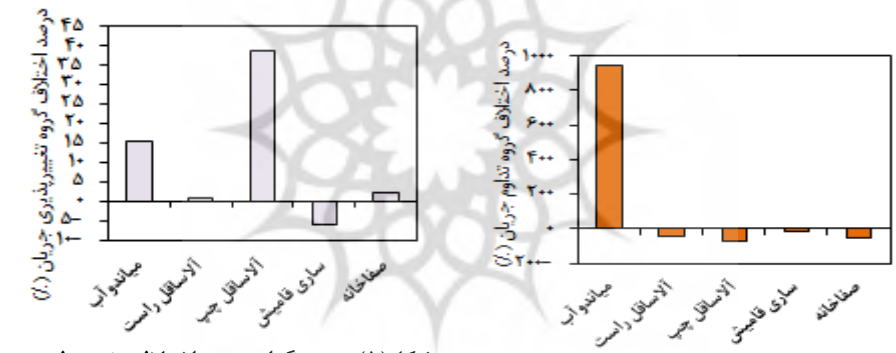
براساس نتایج جدول (۳) می‌توان گفت که دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری صفاخانه و آلاسقل چپ به ترتیب در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۰۱ معنادار می‌باشد. با توجه به مقادیر درصد اختلاف شاخص‌های هیدرولوژیک جریان جدول (۳) می‌توان گفت که، در ایستگاه ساری‌قامیش که تحت تأثیر سد شهید کاظمی بوکان می‌باشد که شاخص‌های Min و Q10 با مقادیر عددی ۲۸۷/۴۲ و ۴۵/۵۷- درصد به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تغییرات را داشته‌اند. در ایستگاه هیدرومتری میان‌دوآب شاخص Q95 سیر صعودی و شاخص نرخ کاهش<sup>۱</sup> سیر نزولی را نشان می‌دهند. در ایستگاه صفاخانه (سد گوگردچی) شاخص تعداد روزهای صفر جریان<sup>۲</sup> ۵۳۸ درصد افزایش و داشته است. هم‌چنین شاخص‌های هیدرولوژیک نرخ افزایش و Q95 در ایستگاه هیدرومتری آلاسقل راست با مقادیر عددی ۲۸/۸۱ و ۸۷/۰۶- درصد به ترتیب سیر صعودی و نزولی را نشان می‌دهند. در نهایت با توجه به مقادیر شاخص‌ها در ایستگاه هیدرومتری آلاسقل چپ می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های Kurtosis (۱۸۵/۰۴ درصد) و Q95 (۹۷/۵- درصد) به ترتیب در اثر احداث سد احمدآباد حالت صعودی و نزولی را نشان می‌دهند. هم‌چنین هیستوگرام مربوط به متوسط مقادیر درصد اختلاف شاخص‌ها به ترتیب در شکل‌های (۲) تا (۵) ارائه شده است.

1- Rate of Falling

2- Zero Days



شکل (۲) هیستوگرام درصد اختلاف جریان حداقل شکل (۳) هیستوگرام درصد اختلاف جریان حداکثر



شکل (۴) هیستوگرام درصد اختلاف تداوم جریان شکل (۵) هیستوگرام درصد اختلاف تغییرپذیری جریان

جدول (۴) مقادیر درصد اختلاف شاخص‌های مهم هیدرولوژیک جریان در رودخانه‌های مورد مطالعه

ردیف	گروه اصلی	شاخص‌های هیدرولوژیک	میان‌دوآب	صفاخانه	آلاسقل راست	آلاسقل چپ
۱	جریان‌های حداکثر	Max	۱۸/۵۷	-۱۴/۱۶	-۶/۰۵	-۱۰/۴۸
۲	جریان‌های حداقل	Min	۹۰۰	-۰/۲	-۱۰	-۲۵
۳	جریان‌های حداقل	Min7Q	۱۰/۱۳	-۳۳/۳	-۷/۴۴	-۰/۶۷
۴	تعداد روزهای صفر جریان	تعداد روزهای صفر جریان	صفر	۵۳۸	-۲۶	-۸۱/۰۵
۵	تداوم جریان	Q10	۱۳/۲۳	-۲۲/۴	-۱۸	-۸۳/۲۷
۶		Q50	۶۵/۳۱	-۱۷	-۲۷/۲	-۷۵/۵۸
۷		Q75	۱۳/۴۶	-۷۲	-۵۱/۱۵	-۴۶/۶۶
۸		Q95	۸/۷۴	-۹۴/۸	-۸۷/۰۶	-۹۷/۵

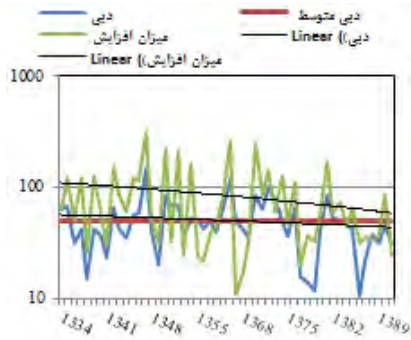
## ادامه جدول (۴)

ردیف	گروه اصلی	شاخص‌های هیدرولوژیک	درصد اختلاف شاخص‌های هیدرولوژیک جریان				
			ساری‌قامیش	میان‌دوآب	صفاخانه	آلاسقل راست	آلاسقل چپ
۹		CV	-۳۰/۷	-۹/۲۱	۹/۷	۱۶/۸۳	۱۲۷/۳۴
۱۰		انحراف معیار	-۱۷/۹۴	۱۰/۴۴	-۱۵/۲	۹/۱۲	-۲۱/۱۹
۱۱		چولگی	۰/۴	۳۰/۶۱	۱۹/۸	-۵/۱۷	۹۶/۴۲
۱۲	تغییرپذیری جریان	کشیدگی	۴/۶	۱۱۴	۲۷/۴۷	-۳۴/۴۳	۱۸۵/۰۴
۱۳		میزان افزایش	-۳۰/۵۶	۲۱/۳۴	-۱۳/۳	۲۸/۸۱	۱۲۲/۲۲
۱۴		میزان کاهش	۱۱/۸۴	-۹/۳	-۲۴/۲	-۲/۱	-۶۱/۹۷
۱۵		Number of rising	۱۰/۲۳	-۱/۸۴	۱۱/۳	-۹/۹۸	-۵۴/۱
۱۶		Number of falling	-۱۰/۱۷	۰/۵۵	-۴/۴۳	۳/۴۶	۲۰/۴۳
۱۷		Flashinnes	-۰/۲۹	-۰/۱۹	۱	۱۱/۲۲	۲۵/۷۷
۱۸		TQMean	۲/۸	-۱/۹	۱۱/۳	-۱۰	-۵۴/۱۱

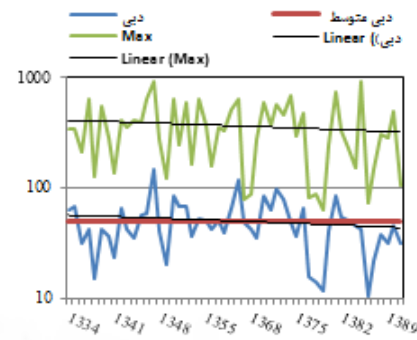
با توجه به شکل‌های (۲) تا (۵) می‌توان بیان کرد که، در هیستوگرام مربوط به گروه جریان‌های حداقل بیش‌ترین درصد اختلاف مربوط به ایستگاه هیدرومتری میان‌دوآب می‌باشد که نشان از سیر صعودی جریان حداقل در این ایستگاه است و هم‌چنین کم‌ترین مقدار درصد اختلاف در ایستگاه هیدرومتری آلاسقل چپ مشاهده می‌شود. در گروه Peak flows ایستگاه‌های میان‌دوآب و صفاخانه به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین درصد اختلاف را در اثر احداث سد از خود نشان می‌دهند. هم‌چنین در گروه هیدرولوژیک Flow duration مشاهده می‌شود که میانگین بیش‌ترین درصد اختلاف در ایستگاه میان‌دوآب و کم‌ترین درصد اختلاف در ایستگاه آلاسقل چپ است. در نهایت با توجه به گروه Flow variability بیش‌ترین مقدار تغییرپذیری جریان، در ایستگاه آلاسقل چپ در دوره‌ی بعد از احداث سد نسبت به دوره‌ی قبل از احداث سد حالت صعودی را به خود نشان می‌دهد. در خصوص افزایش و کاهش شاخص‌ها در ایستگاه‌ها می‌توان گفت که براساس شکل‌های (۶) تا (۱۳) که نشان‌دهنده‌ی تغییرات شاخص‌های Max و میزان افزایش دبی نسبت به دبی در طول دوره‌های آماری هر ایستگاه هیدرومتری، مشاهده می‌شود که تغییرات صعودی و نزولی شاخص‌ها براساس دوره‌های ترسالی و خشکسالی تغییر کرده

است به طوری که مثلاً در ایستگاه هیدرومتری ساری قامیش می توان بیان کرد که در طول زمان در دوره هایی که مقدار دبی افزایش پیدا کرده است مقدار شاخص Max نیز حالت صعودی داشته است (شکل ۶) هم چنین در ایستگاه هیدرومتری میان دو آب نیز شاخص میزان افزایش دبی در طول زمان با دبی تغییر پیدا کرده است و در دوره های ترسالی میزان این شاخص روند صعودی به خود پیدا کرده است (شکل ۱۱). هم چنین هیستوگرام مربوط به ایستگاه هیدرومتری ساری قامیش که نشان دهنده ی مقدار تغییرات شاخص های هیدرولوژیک در دوره های قبل (۱۳۵۰-۱۳۳۴) و بعد از احداث سد (۱۳۹۱-۱۳۵۰) می باشد در شکل (۱۴) ارائه شده است.

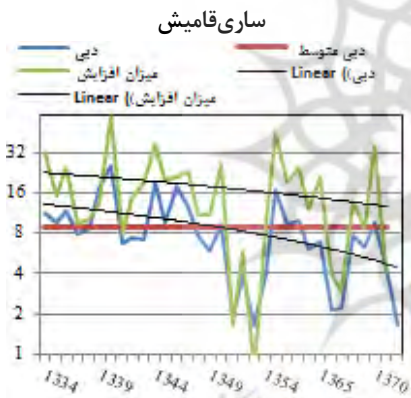
با توجه به شکل (۱۴) می توان این گونه نتایج را بیان کرد که، مقادیر شاخص های حداکثر دبی، Min7Q، Q10، ضریب تغییرات، انحراف معیار، نرخ افزایش، نرخ کاهش در دوره های بعد از احداث سد نسبت به دوره ی قبل از احداث سد کاهش یافته است. این در حالی است که مقادیر شاخص های حداقل جریان، Q50، Q75، Q95، Kurtosis، Rate of Falling، Number of Rising و TQMean در دوره های بعد از احداث سد سیر افزایشی را نشان می دهند. این نوسانات در مقادیر شاخص ها در دوره های قبل و بعد از احداث سد نشان از تغییر دبی جریان می باشد و احداث سد موجب ایجاد اختلال در شاخص های هیدرولوژیک جریان شده است. هم چنین تغییرات زمانی متوسط درصد اختلاف گروه های هیدرولوژیکی در دبی های مختلف در هر یک از ایستگاه های هیدرومتری مورد مطالعه در شکل های (۱۵) تا (۱۹) ارائه شده است.



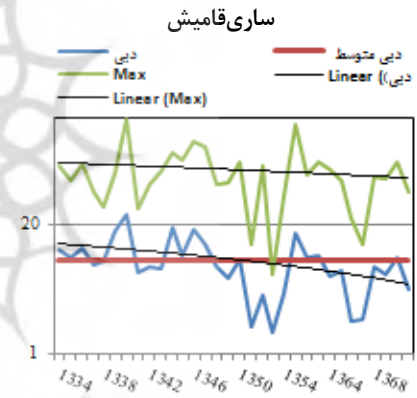
شکل (۷) تغییرات شاخص میزان افزایش نسبت به دبی در



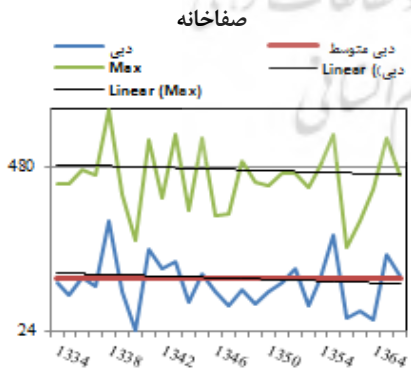
شکل (۶) تغییرات شاخص Max نسبت به دبی در



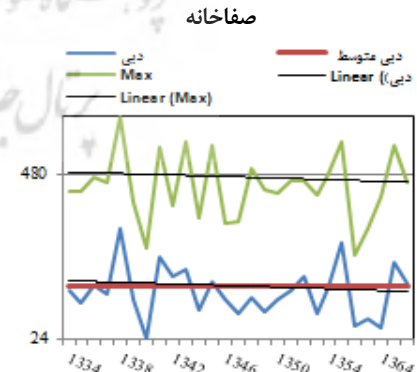
شکل (۹) تغییرات شاخص میزان افزایش نسبت به دبی در



شکل (۸) تغییرات شاخص Max نسبت به دبی در



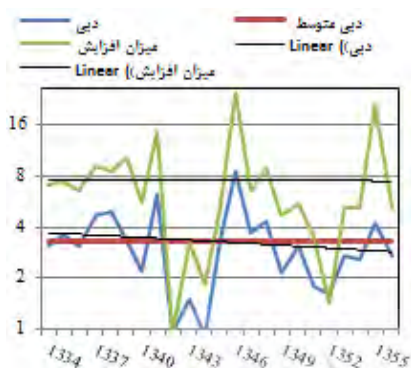
شکل (۱۱) تغییرات شاخص میزان افزایش نسبت به دبی در



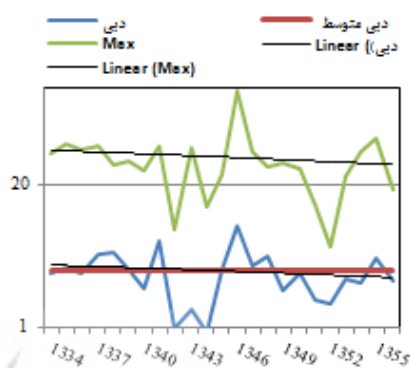
شکل (۱۰) تغییرات شاخص Max نسبت به دبی در

میان‌دوآب

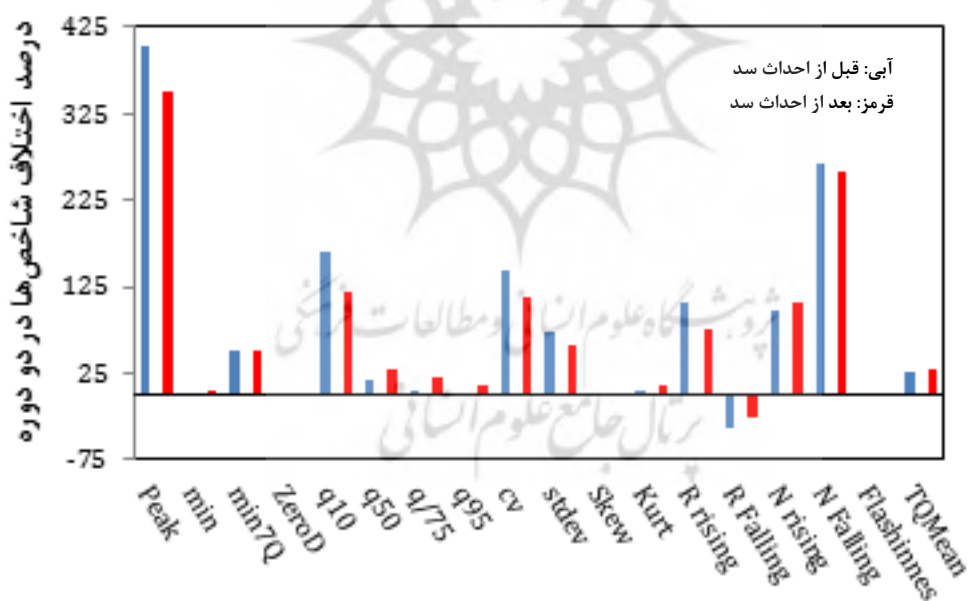
میان‌دوآب



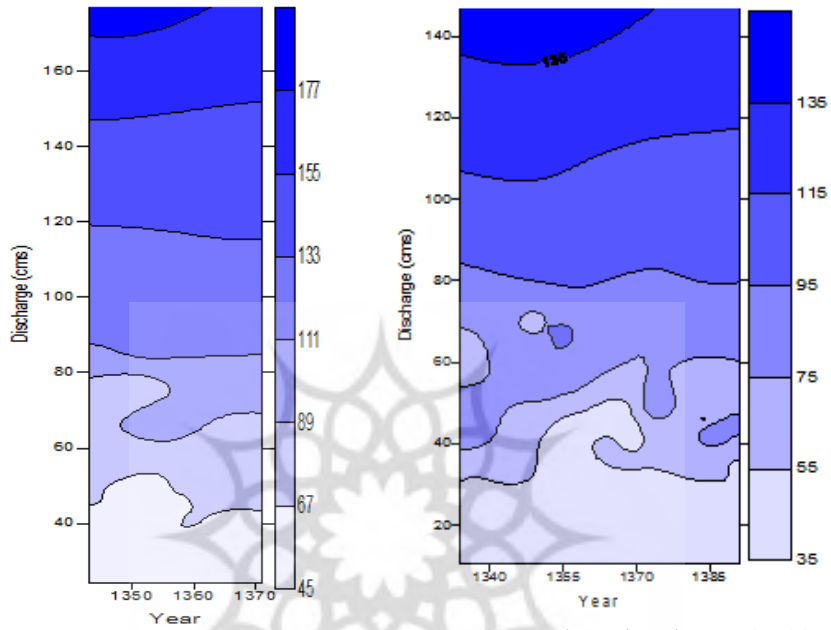
شکل (۱۳) تغییرات شاخص میزان افزایش نسبت به دبی در آلاسقل راست



شکل (۱۲) تغییرات شاخص Max نسبت به دبی در آلاسقل راست

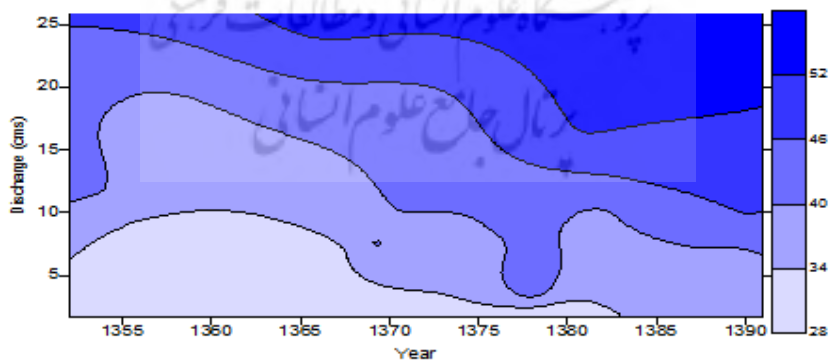


شکل (۱۴) هیستوگرام مقادیر شاخص‌های هیدرولوژیک در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد در ایستگاه هیدرومتری ساری‌قامیش

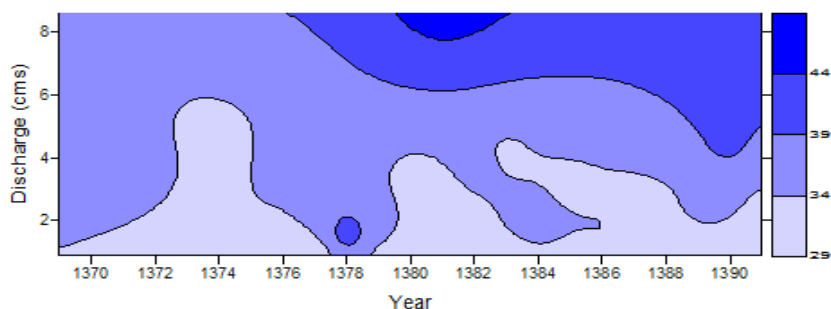


شکل (۱۶) تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک در دبی‌های مختلف در ایستگاه هیدرومتری میان‌دوآب

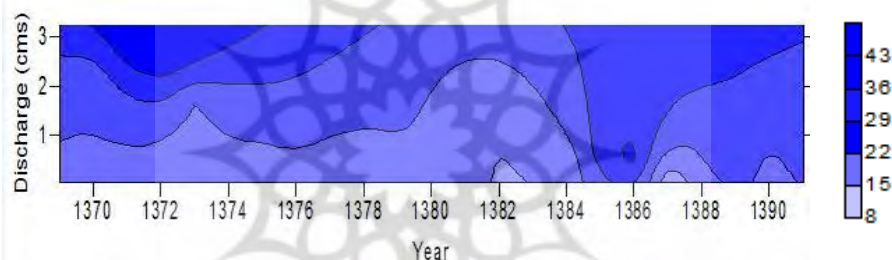
شکل (۱۵) تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک در دبی‌های مختلف در ایستگاه هیدرومتری ساری قامیش



شکل (۱۷) تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک در دبی‌های مختلف در ایستگاه صفاخانه



شکل (۱۸) تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک در دبی‌های مختلف در ایستگاه آلاسقل راست



شکل (۱۹) تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک در دبی‌های مختلف در ایستگاه آلاسقل چپ

براساس شکل (۱۵) می‌توان گفت که در طول دوره‌ی آماری مورد مطالعه در ایستگاه هیدرومتری ساری‌قامیش تغییرات چهار گروه هیدرولوژیکی اصلی (جریان‌های حداقل، جریان‌های حداکثر، تداوم جریان و تغییرپذیری جریان) در تحقیق حاضر، در دبی‌های ۰-۲۰ متر مکعب بر ثانیه میزان تغییرات نسبت به دبی‌های بالاتر (۱۴۰-۱۲۰ متر مکعب بر ثانیه) بسیار کم‌تر می‌باشد. هم‌چنین شکل (۱۶) تغییرات چهار گروه اصلی را در ایستگاه هیدرومتری میاندوآب نشان می‌دهد که تأییدکننده‌ی یافته‌های شکل (۱۵) می‌باشد که در دبی‌های ۰-۴۰ متر مکعب بر ثانیه در طول دوره‌ی آماری میزان تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ی زربنه‌رود کم‌تر می‌باشد ولی در دبی‌های بیش‌تر از ۱۴۰ متر مکعب بر ثانیه تغییرات جریان رودخانه‌ی افزایش یافته است. در ایستگاه هیدرومتری صفاخانه نیز می‌توان گفت که در بین سال‌های ۱۳۸۴-



۱۳۵۲ میزان تغییرات جریان در دبی‌های ۵-۰ متر مکعب بر ثانیه اندک می‌باشد ولی در دبی‌های بالاتر یعنی در مقادیر بیش‌تر از ۲۰ متر مکعب بر ثانیه این تغییرات گروه‌های هیدرولوژیک افزایش پیدا کرده است (شکل ۱۷). با توجه به شکل (۱۸) که نشان‌دهنده تغییرات چهار گروه هیدرولوژیک اصلی در بازه‌های مختلف دبی در ایستگاه هیدرومتری آلاسقل راست می‌باشد نیز می‌توان این‌گونه بیان کرد که الگوی تغییرات گروه‌های هیدرولوژیک در طول دوره آماری از نظم خاصی پیروی نمی‌کند.

### نتیجه‌گیری

براساس نتایج، شاخص‌های هیدرولوژیک مورد بررسی در تحقیق حاضر در اثر احداث سد نوسان داشته‌اند به طوری که در برخی از آن‌ها اثر احداث سد به گونه‌ای بوده است که باعث افزایش آن‌ها در دوره‌های بعد از احداث سد شده است و در برخی از آن‌ها حالت نزولی به خود گرفته است. در ایستگاه صفاخانه شاخص تعداد روزهای صفر جریان افزایش یافته است که می‌تواند ناشی از سیستم متعادل‌سازی جریان توسط سدهای احداث شده باشد و به صورت بالقوه سبب افزایش مرگ و میر آبزیان شود. روند دبی جریان در رودخانه‌های صفاخانه و آلاسقل چپ، منفی بوده که تبعاً در طی دوره کاهش دبی یا جریان را به همراه داشته است. در ایستگاه هیدرومتری میان‌دوآب، مقدار شاخص حداکثر جریان نسبت به سایر ایستگاه‌ها بیش‌تر بوده که می‌تواند ناشی از بالا بودن متوسط دبی در طول دوره آماری در این ایستگاه باشد. نتایج مربوط به متوسط درصد اختلاف شاخص‌ها نشان می‌دهد که در ایستگاه هیدرومتری میان‌دوآب گروه‌های اصلی جریان‌های حداقل، جریان‌های حداکثر و تداوم جریان در دوره‌ی بعد از احداث سد افزایش داشته است و احداث سد باعث برهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی و بروز تغییر و بی‌نظمی در شاخص‌های جریان رودخانه‌ای شده است. از طرفی مقایسه‌ی دوره‌های ترسالی و خشکسالی در ایستگاه‌های هیدرومتری و شاخص‌های حداکثر و میزان افزایش دبی حاکی از این بود که در دوره‌های ترسالی مقدار این شاخص‌ها حالت صعودی داشته است این در حالی است که در دوره‌های خشکسالی کاهش مقدار این

شاخص‌ها و در نتیجه کاهش دبی جریان مشاهده شد. به‌طور کلی احداث سدها در رودخانه‌های زرينه‌رود و ساروق‌چای موجب تغييرات قابل توجه در شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان شده‌اند و هم‌چنین در اثر احداث سد، میزان بی‌نظمی در شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان افزایش یافته است. هم‌چنین مطالعاتی که در خصوص بررسی الگوی تغییرات جریان رودخانه می‌باشد امکان اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مدیریتی را فراهم می‌سازد که می‌توان از این مطالعات در بهینه‌سازی بهره‌برداری از رودخانه‌های طبیعی استفاده نمود.



## منابع

- اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۳۹۳)، تحلیل تأثیرات برداشت شن و ماسه بر مورفولوژی رودخانه‌ی قرقو (محدوده بعد از سد سهند تا روستای خراسانک)، هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱، صص ۳۹-۲۱.
- اصغری سراسکانرود، صیاد و مهدی پوراحمد (۱۳۹۴)، شناسایی و استخراج تغییرات رودخانه زربینه‌رود در فاصله سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۵، صص ۱۶-۱.
- آذرنگ، فرهنگ؛ تلوری، عبدالرسول؛ صدقی، حسین و محمود شفاعی بجستان (۱۳۹۴)، اثرات احداث سدهای بزرگ بر شرایط جریان و پارامترهای هیدرولیکی رودخانه (مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی کرخه پایین‌دست سد مخزنی)، آب و خاک، جلد ۳۱، شماره‌ی ۱، صص ۲۷-۱۱.
- پیری، زهرا؛ رضایی‌مقدم، محمدحسین و محمد عاشوری (۱۳۹۱)، بررسی تأثیر احداث سد در جابه‌جایی مسیر و تغییر الگوی رودخانه با استفاده از GIS و سنجش از دور (مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی اهر چای)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۵، پیاپی ۵۶، شماره‌ی ۴، صص ۱۲-۱.
- خروشی، سعید؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ اسمعلی عوری، اباذر و مجید رئوف (۱۳۹۵)، ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص سلامت هیدرولوژیک رودخانه در حوضه‌های آبخیز استان اردبیل، اکوهیدرولوژی، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۲، صص ۳۹۳-۳۷۹.
- صفری‌شاد، مهتاب؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ سلیمانی، کریم؛ ایلدرمی، علی‌رضا و حسین زینی‌وند (۱۳۹۶)، پتانسیل تأثیر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه در حوضه‌ی آبخیز همدان - بهار، هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۰، صص ۹۸-۸۱.
- مقدسی، نفیسه؛ بردی شیخ، واحد؛ نجفی‌نژاد، علی و ایمان کریمی‌راد (۱۳۹۳)، تأثیر اقدامات مکانیکی بر دبی اوج آبخیز سد بوستان با استفاده از سامانه مدل‌سازی آبخیز، مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۸، شماره‌ی ۳، صص ۳۳۸-۳۳۲.

- یاسی، مهدی (۱۳۹۶)، مدیریت رودخانه‌ها و سدها در تأمین و هدایت آب به دریاچه‌ی ارومیه، مجله‌ی پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۲، شماره‌ی ۱، صص ۷۶-۵۹.

- Bunn, S.E., and A.H. Arthington (2002), **Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity**, Environmental Management, Vol. 30, No. 4, PP. 492–507.
- FitzHugh, T.W., and R.M. Vogel (2011), **The impact of dams on flood flows in the United States**, River Research Applications, Vol. 27, No. 10, PP. 1192-1215.
- Gao, Y., R.M. Vogel., C.C. Kroll., N.L. Poff., and Olden, J.D. (2009), **Development of Representative**, PP. 1-12.
- Grill, G., B. Lehne., A.E. Lumsdon., G.K. MacDonald., C. Zarfl., and C.R. Liermann (2015), **An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales**, Environmental Research Letters, Vol.10, No.1, PP. 015001.
- ICOLD, (2007), **Dams and the World's Water**. International Commission on Large Dams, PP. 64.
- Kennard, M.J., S.J. Mackay., B.J. Pusey., J.D. Olden. and N. Marsh., (2010a), **Quantifying uncertainty in estimation of hydrologic metrics for ecohydrological studies**, River Research and Applications, Vol. 26, No. 2, PP. 137–156.
- Mathews, R., and B.D. Richter, (2007), **Application of The Indicators of Hydrologic Alteration Software in Environment Flow Setting**, Journal of the American Water Resources Association, Vol. 43, No. 6, PP. 1400-1413.
- Poff, N.L., J.D. Olden., D. Merritt., and D. Pepin, (2007), **Homogenization of regional river dynamics by dams and global biodiversity implications**. Proceedings of the Natural Academic Science, No. 104, PP. 5732–5737.
- Postel, S. and B. Richter, (2003), **Rivers for Life: Managing Water for People and Nature**, Island Press, Vol 20, PP. 751-752.

- Richter, B.D., J.V. Baumgartner., D.P. Braun., and J. Powell, (1998), **A Spatial Assessment of Hydrologic Alteration within a River Network**, Regulated River: Research and Management, PP. 329-340.
- Rozenberg, D.M., P. MacCully., and C.M. Pringle, (2000), **Global-Scale Environmental Effects of Hydrological Alterations**, International River, PP. 1-16.
- Salmi, T., A. Maatta., P. Anttila., T. Ruoho-Airola., and T. Amnell, T (2002). **Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates the excel template application MAKESENS**, Finnish Meteorological Institute, PP. 1-35.
- Slawski, T.M., F.M. Veraldi., S.M. Pescitelli., and M.J. Pauers, (2008), **Effects of tributary spatial position, urbanization, and multiple low-head dams on warm water fish community structure in a Midwestern stream**, North American Journal of Fisheries Management, No. 28, PP. 1020–1035.
- Sojka, M., J. Jaskula., J. Wischer-Dysarz., and T. Dysarz (2016). **Assessment of dam construction impact on hydrological regime changes in lowland river – A case of study: the Stare Miasto reservoir located on the Powa River**. Journal of Water and Land Development, Vol. 30, No. 1, 119-125.
- Zhang, Q., X. Gu., V.P. Singh., and X. Chen, (2015), **Evaluation of Ecological Instream Flow Using Multiple Ecological Indicators with Consideration of Hydrological Alterations**, Journal of Hydrology, Vol. 529, PP. 711-722.
- Zou, Q., S.H. Liang, (2015), **Effects of Dams on River Flow Regime Based on IHA/RVA. Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources**, PP. 1-6.