

## برآورد شاخص‌های جریان محیط زیستی در پایین دست سدهای گلستان و وشمگیر

فاطمه دابی چینی<sup>۱</sup>، مهدی وفاخواه<sup>۲\*</sup>، وحید موسوی<sup>۳</sup>، مصطفی ذبیحی سیلابی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲. استاد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳. استادیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۴. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۰۱/۱۲؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۰۴/۱۵)

## چکیده

جریان رودخانه‌ای یکی از منابع آبی مهم است که برای مصارف مختلف اهمیت دارد و روند تغییرات آن در مدیریت منابع آب ضروری است و از طرفی، جریان رودخانه‌ای توسط سدها، انحراف جریان، جریان برگشتی و توسعه شهری تحت تأثیر قرار می‌گیرد و منجر به مسائل مختلفی از جمله وقوع خشکسالی، کاهش آبدهی و مسائل محیط زیستی می‌شود. هدف تحقیق حاضر، برآورد ۳۴ شاخص جریان محیط زیستی در پایین دست سدهای گلستان و وشمگیر با استفاده از نرم افزار IHA نسخه ۷/۱ است. برای انجام این کار، ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد و قزاقلی در پایین دست سد گلستان برای بررسی اثر احداث سد گلستان و ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا به منظور بررسی اثر احداث سد وشمگیر مد نظر قرار گرفتند. همچنین، به منظور بررسی وضعیت تغییر اقلیم در منطقه مطالعه شده، وجود روند در مقادیر متغیرهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر و تعرق با استفاده از آزمون من-کندال و شیب سن در سطح اطمینان ۱ و ۵ درصد ارزیابی شد. نتایج آزمون روند نشان داد تغییر در متغیرهای اقلیمی اغلب به صورت افزایش بارش و دما و روند معنادار افزایشی و کاهش تبخیر و تعرق است. همچنین، نتایج نشان داد دبی اوج پالس‌های بالای جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد، قزاقلی و آق‌قلا به ترتیب ۲۸، ۳۸ و ۳۰/۵ مترمکعب بر ثانیه با فراوانی صفر، دو و یک روزه در دوره بعد از احداث سدها است. دبی اوج شاخص سیلاب‌های کوچک در ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد، قزاقلی و آق‌قلا به ترتیب ۴۶، ۱۰۷ و ۱۴۹/۸ مترمکعب بر ثانیه با فراوانی صفر روزه، سدهای گلستان و وشمگیر به دلیل اثر خودتنظیمی سبب روند کاهشی این شاخص شده‌اند. با توجه به شاخص سیلاب‌های بزرگ می‌توان نتیجه گرفت که در ایستگاه‌های گنبد و قزاقلی دبی اوج شاخص سیلاب‌های بزرگ با مقدار صفر مترمکعب بر ثانیه روند کاهشی و در ایستگاه آق‌قلا دبی اوج با مقدار ۲۷۴ مترمکعب بر ثانیه، روند کاهشی نشان می‌دهد. در نهایت، به دلیل اثر خودتنظیمی سدهای گلستان و وشمگیر باعث کاهش تغییرات ماهانه و سیلاب‌های بزرگ و کوچک جریان شده و در بیشتر ماه‌های سال، دبی جریان در دوره‌های بعد از احداث سدها کمتر است. نتایج حاصل از این تجزیه و تحلیل می‌تواند در تصمیم‌گیری در مورد مسائل مدیریت پایدار منابع آب برای تدوین برنامه مدیریت حوضه در آینده استفاده شود.

کلیدواژگان: آب مورد نیاز محیط زیستی، رژیم جریان، روند، شاخص‌های جریان محیط زیستی، متغیرهای اقلیمی.

## مقدمه

رودخانه‌ها یکی از منابع مهم تجدیدشونده و حیاتی آب شیرین برای استفاده در امور کشاورزی، شرب و صنعت به شمار می‌روند و برای مدیریت بهتر منابع آب مصرفی، اطلاع از روند دبی و عوامل ایجادکننده آن ضروری است و تغییرپذیری زیادی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف دارند. بخش عمده این تغییرات بر اثر عوامل جوی است و تغییرپذیری، جزء ذاتی جریان رودخانه‌هاست [۱ و ۲]. اگرچه دست‌کاری بشر روی جریان‌های رودخانه منفعتهای اجتماعی در بر دارد، ولی موجب تخریب خدمات طبیعی اکوسیستم و تهدید تنوع زیستی به وسیله تغییر رژیم‌های جریان طبیعی می‌شود [۴-۷]. افزایش احداث سدها و به همراه آن، انحراف آب، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، کانال‌کشی آبراهه‌ها و انتقال آب بین حوضه‌ای در جهان، باعث تغییرات هیدرولوژیکی بزرگ‌مقیاس در محیط زیست شده است [۷-۱۰]. تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از سد و مشکلات محیط زیستی مربوط به آن باعث ایجاد تغییر در سیستم‌های رودخانه‌ای شده است [۷ و ۱۱]. احداث سدها با اهداف تأمین آب برای بخش‌های کشاورزی، شرب و صنایع در قرن اخیر رونق یافته است. اما عملکرد سدها موجب اثرات نامطلوبی روی محیط زیست پایین دست و میزان دسترسی به منابع آب می‌شود [۱۲ و ۱۳].

برای ارزیابی نیازهای جریان محیطی با استفاده از یک مدل آب سطحی و زیرزمینی همراه با وضعیت کیفیت بهداشتی جریان می‌توان به مطالعه Joseph و همکاران [۱۴] در رودخانه Son در حوضه Ganga اشاره کرد. پژوهشگران یادشده با استفاده از شاخص «نمره سلامت جریان» (FHS)، بر اساس نوعی ابزار بهداشت رژیم جریان محیطی را ارزیابی کردند. ارزیابی سلامت جریان نشان داد مخازن و انحراف‌های آبیاری بر جریان زیاد در بالادست (جریان زیاد و بالاترین شاخص ماهانه جریان کمتر از ۰/۲) و جریان کم در پایین دست (شاخص جریان کم کمتر از ۰/۲) تأثیر زیادی گذاشته است. شبیه‌سازی مدل با روش‌های مدیریتی اصلاح‌شده، FHS را در بالادست از ۰/۴ به ۰/۶ و در پایین دست ۰/۴ در ۰/۷ افزایش داد. این مطالعه نشان داد مدل SWAT-FEM همراه با ابزار سلامت جریان، می‌تواند برای ارزیابی نیازهای جریان و برای طراحی برنامه‌های مدیریت جایگزین و تأمین نیازهای جریان، به طور مؤثر

استفاده شود. Karimi و همکاران [۱۵] ارزیابی مقایسه‌ای جریان محیط زیستی<sup>۲</sup> را با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی شاخص‌های جریان کم، Smakhtin، تنانت<sup>۳</sup> و منحنی مدت جریان مطالعه کردند و نشان دادند روش‌های 7Q2، 7Q10 و Smakhtin و تنانت منجر به برآورد مقادیر ثابت ۲۷/۲، ۱۲/۷، ۵/۹ و (۸ و ۲۴) سانتی‌متر شد، به طوری که به طور متوسط ۵۲/۸، ۲۶/۹، ۱۲/۳ و ۳۶/۷ درصد از جریان ماهانه به جریان محیط زیستی اختصاص می‌یابد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که 7Q2، 7Q10 و Smakhtin و تنانت نمی‌توانند در فرم اولیه استفاده شوند. استفاده از منحنی مدت زمان جریان منجر به ارزیابی جریان محیط زیستی در محدوده ۶/۸-۳۸ سانتی‌متر در ماه‌های مختلف می‌شود که الگوی زمان آن کاملاً با الگوی جریان ماهانه مطابقت دارد. در این روش، به طور متوسط ۳۰/۸ درصد (۱۸-۴۸ درصد) از جریان ماهانه به جریان محیط زیستی اختصاص یافته، که مقادیر معقول و قابل قبولی است. نادری و همکاران [۱۶] با حفاظت اکوسیستم رودخانه قره‌سو در استان گلستان براساس تنظیم رژیم جریان محیط زیستی با کاربرد روش‌های هیدرولوژیکی مشخص کردند که روش تنانت، دبی ۰/۵۷ مترمکعب بر ثانیه را برای فروردین تا شهریور و ۰/۱۹ مترمکعب بر ثانیه را برای مهر تا اسفند برآورد می‌کند. همچنین، روش منحنی تداوم جریان در شرایط نسبتاً مناسب (Q90) و مناسب (Q75) به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۳۹۳ مترمکعب بر ثانیه، روش جریان پایه آبیان دبی ۰/۵۷ مترمکعب بر ثانیه برآورد کرده و روش انتقال منحنی تداوم جریان در شرایط نسبتاً تغییر یافته، با میانگین سالانه ۰/۹۴ مترمکعب بر ثانیه و همچنین، روش کمبود جریان اکولوژیکی ۰/۸۸ مترمکعب بر ثانیه و مدل ذخیره رومیزی در کلاس B، ۰/۶۹ مترمکعب بر ثانیه را برآورد می‌کنند. بر این اساس، با تأمین رژیم اکولوژیکی رودخانه قره‌سو با استفاده از روش انتقال منحنی تداوم جریان در کلاس مدیریتی C (معادل ۴۸/۵ درصد جریان طبیعی رودخانه)، می‌توان شرایط مناسبی را برای حفظ سلامت اکوسیستم فراهم کرد. در تحقیقی دیگر، کریمی و همکاران [۱۷] برآورد جریان محیط زیستی رودخانه را با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تسمن، انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی بررسی کردند. پژوهشگران یادشده دریافتند که روش انتقال

2. Environmental Flow

3. Tennant

1. Flow Health Score

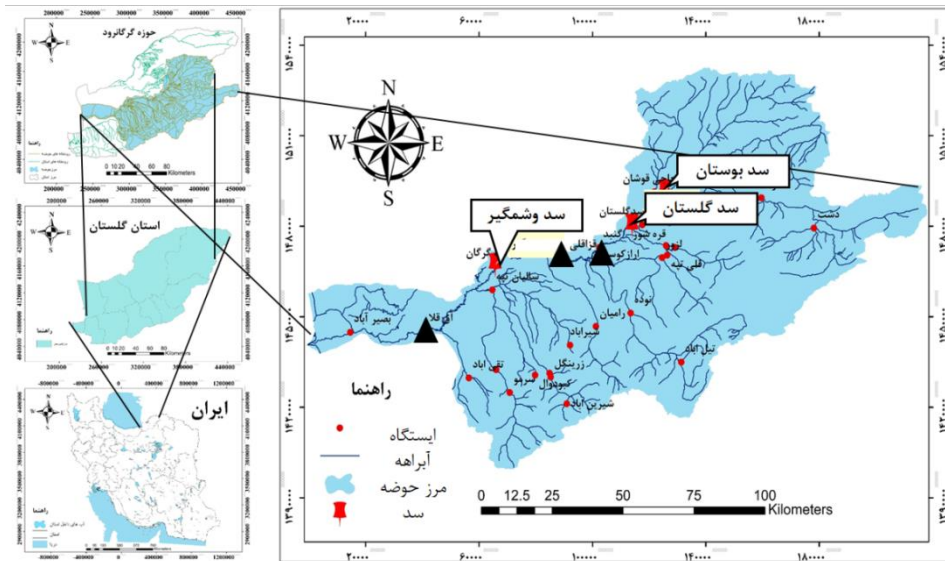
با توجه به رشد و توسعه سدسازی در جهان به‌ویژه در ایران و از آنجا که احداث سد تأثیرات گسترده‌ای بر شرایط جریان رودخانه در پایین‌دست خود دارد، لزوم بررسی اثرات سد اهمیت زیادی می‌یابد. حوضه آبخیز گرگان‌رود با داشتن زمین‌های حاصل‌خیز قابل توجه و تأمین‌کنندگی آب رودخانه گرگان‌رود برای آبیاری، دامداری و کشاورزی در طول مسیر خود و همچنین، وجود دو نوع اکوسیستم کاملاً متفاوت کوهستانی و دشتی و وجود سه سد (بوستان، گلستان و وشمگیر) در طول مسیر آن، اهمیت زیادی دارد؛ به‌ویژه آنکه محل مناسب تخم‌ریزی انواع ماهیان خاویاری مهاجر به‌خصوص تاس‌ماهیان در سالیان نه‌چندان دور بوده است. رودخانه گرگان‌رود به‌دلیل سرعت جریان و دبی زیاد همراه با طغیان آب در ماه‌های پرآب سال که منجر به گل‌آلودگی شدید آن می‌شود، همراه است. وسعت و اهمیت این رودخانه سبب شد در پژوهش حاضر شاخص‌های جریان محیط زیستی (EFC)<sup>۱</sup> تحت تأثیر احداث سدهای گلستان و وشمگیر بر دبی جریان رودخانه گرگان‌رود ارزیابی شود.

### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه مطالعه‌شده

حوضه آبخیز گرگان‌رود در قسمت جنوب شرقی دریای خزر با مساحت ۱۰۱۹۷ کیلومترمربع و در محدوده مختصات جغرافیایی بین عرض‌های جغرافیایی ۳۶° تا ۳۷°۴۷' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۴°۰۰' تا ۵۶°۲۹' شرقی در استان گلستان قرار دارد [۲۰ و ۲۱]. رودخانه گرگان‌رود دارای ۱۷ سرشاخه اصلی است و ۶۷ درصد منابع آب سطحی استان (حدود ۸۲۸ میلیون مترمکعب) در این حوضه جریان دارد. کاربری عمده حوضه به‌ویژه در جنوب و شرق جنگلی بوده و در شمال و غرب منطقه، دشت‌های آبرفتی به‌صورت زراعت و مرتع در حال بهره‌برداری هستند. میزان بارندگی متوسط سالانه از ۲۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر متغیر است [۲۲]. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعه‌شده در استان گلستان و ایران و همچنین، پراکنش ایستگاه‌های هیدرومتری و مکان سدهای موجود را نمایش می‌دهد.

منحنی تداوم جریان به دلایلی ارائه مقادیر منطقی جریان محیط زیستی در ماه‌های مختلف در مقایسه با دبی جریان متوسط ماهانه و سالانه، تطابق مناسب الگوهای تغییرات درون‌سالی جریان متوسط محیط زیستی ماهانه و جریان متوسط ماهانه رودخانه و تخصیص نیافتن همه جریان متوسط ماهانه به جریان مورد نیاز محیط زیستی طی سال قابل پذیرش‌ترین روش برآورد جریان محیط زیستی در این مطالعه است. با در نظر گرفتن نتایج روش انتقال منحنی تداوم جریان مقدار جریان محیط زیستی ماهانه بین ۵۳/۲-۶/۸ با متوسط ۲۷/۷۹ مترمکعب بر ثانیه در سال برآورد می‌شود. همچنین، مقدار جریان متوسط محیط زیستی در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی به ترتیب ۷/۷ و ۴۹/۳ مترمکعب بر ثانیه است. پیروزیان و همکاران [۱۸] در پژوهشی به بررسی روش‌های مختلف تخمین نیاز محیط زیستی در رودخانه اندچای پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد دقت روش FDC shifting با کلاس زیست‌محیطی C که در ایستگاه مطالعه‌شده برابر با ۱/۵۶ مترمکعب در ثانیه است، به‌عنوان کلاس مدیریت زیستی برای رودخانه اندچای را نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد روش‌های سریع محاسبه جریان زیست‌محیطی به‌کاررفته در ایران، بیشتر بدون در نظر گرفتن شرایط زیست‌محیطی ایران به کار برده می‌شود. این امر دقت نتایج حاصل را به شدت کاهش می‌دهد و گاهی حتی نتایج معکوسی به دست می‌دهد. شاکری‌زارع و همکاران [۱۹] نیاز جریان محیط زیستی بستر رودخانه مرزی هریرود بعد از احداث و آگیری سد سلمای افغانستان را (با روش‌های هیدرولوژیکی) ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد نیاز محیط زیستی رودخانه هریرود ایران در طبقه مدیریت زیستی C (حفظ حداقل شرایط زیستی رودخانه) به‌طور متوسط ۳۰ درصد دبی متوسط سالانه است. به‌گونه‌ای که مردادماه تا مهرماه دوره بحرانی رودخانه مرزی هریرود ایران تعیین شده و این دوره با کم‌آب شدن رودخانه یادشده بعد از احداث و آگیری سد سلمای افغانستان (سال ۱۳۹۲ شمسی) افزایش یافته است که بی‌شک اثرات سوء طبیعی و محیط زیستی برای منطقه هریرود و همچنین، چالش‌هایی بر زندگی مرزنشینان ایجاد خواهد کرد.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و سد‌های مطالعه‌شده در استان گلستان

### روش پژوهش

در پژوهش حاضر آمار بارندگی، دما، تبخیر و تعرق و دبی روزانه از شرکت تحقیقات منابع آب (تماب)، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان و سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. به منظور بررسی وضعیت تغییر اقلیم در منطقه مطالعه‌شده، وجود روند در متغیرهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر و تعرق در دوره زمانی مطابق با داده‌های دبی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و آزمون من-کندال<sup>۱</sup> [۲۳] و [۲۴] و شیب سن<sup>۲</sup> [۲۵ و ۲۶] در سطح اطمینان ۱ و ۵ درصد مورد آزمون قرار گرفت. همچنین، ابتدا موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری تحت تأثیر سدهای گلستان و وشمگیر در منطقه مطالعه‌شده با استفاده از نرم‌افزار Google Earth تعیین شد. سپس، ایستگاه‌های هیدرومتری دارای آمار کامل انتخاب شدند. در نهایت، مقادیر ۳۴ شاخص جریان محیط زیستی در پایین‌دست سدها با استفاده از نرم‌افزار IHA نسخه ۷/۱ استخراج شد. با استفاده از نرم‌افزار IHA پنج ویژگی اساسی رژیم جریان محیط زیستی شامل جریان‌های

حداقل ماهانه<sup>۳</sup>، جریان‌های حد پایین<sup>۴</sup>، پالس‌های بالای جریان<sup>۵</sup>، سیلاب‌های کوچک<sup>۶</sup> و سیلاب‌های بزرگ<sup>۷</sup> بررسی شده و نتایج مربوط به ۳۴ شاخص جریان زیست‌محیطی در پایین‌دست سدها به صورت جدول ارائه شد. همچنین، با توجه به اینکه در محدوده مطالعاتی، سه سد بزرگ بوستان، گلستان و وشمگیر روی رودخانه گرگان‌رود احداث شده است، تأثیرات این سدهای بزرگ روی رودخانه یادشده به صورت جداگانه بررسی شد.

براساس شکل ۱، ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد و قزاقلی تحت تأثیر سد گلستان و ایستگاه‌های هیدرومتری بصیرآباد و آق‌قلا تحت تأثیر سد وشمگیر هستند. در مورد ایستگاه بصیرآباد شایان یادآوری است که دوره آماری دبی روزانه در این ایستگاه از سال آبی ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۵ هستند. بنابراین، با توجه به سال بهره‌برداری سد وشمگیر نمی‌توان آن را به دو دوره تقسیم کرد و فقط در بحث بررسی اثرات محیط زیستی سد وشمگیر از این ایستگاه‌ها استفاده شد.

- 3. Low Monthly Flows
- 4. Extreme Low Flows
- 5. High Flow Pulses
- 6. Small Floods
- 7. Large Flood

- 1. Mann-Kendall test
- 2. Sen's slope

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مطالعه شده در حوضه آبخیز گرگان رود

ردیف	نام سد	سال بهره‌برداری از سد	نام ایستگاه هیدرومتری	دوره بعد از احداث
۱	سد گلستان	۱۳۷۹	گنبد	۱۳۹۵-۱۳۸۰
۲	سد گلستان	۱۳۷۹	قزاقلی	۱۳۹۵-۱۳۸۰
۳	سد وشمگیر	۱۳۴۹	آق‌قلا	۱۳۹۵-۱۳۵۰

شاخص‌ها مقدار دبی جریان در دوره بعد از احداث سد روند کاهشی داشته است. براساس نتایج به دست آمده از مقادیر شاخص‌های جریان حد پایین در پژوهش حاضر، می‌توان بیان کرد که شاخص‌های جریان حد پایین شامل پیک جریان، مدت زمان، زمان بندی و فراوانی می‌شود که در سدهای گلستان و وشمگیر کاهشی بوده است. این تغییرات را می‌توان ناشی از اثرات ترکیبی سدهای گلستان و وشمگیر و نیز تغییرات متغیرهای اقلیمی دانست. همچنین، شاخص پالس‌های بالای جریان شامل پیک جریان، مدت زمان، زمان بندی، فراوانی، میزان افزایش و میزان کاهش است. براساس نتایج می‌توان گفت که دبی اوج در ایستگاه گنبد، قزاقلی و آق‌قلا به ترتیب ۲۸، ۳۸ و ۳۰/۵ مترمکعب بر ثانیه است که مدت زمان در دوره بعد از احداث سد به ترتیب ۷۲، ۳۸ و ۸۹ روز است. همچنین، فراوانی پالس‌های بالای جریان نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های گنبد، قزاقلی و آق‌قلا به ترتیب صفر، دو و یک روز در دوره بعد از احداث سد است. با توجه به نتایج این گروه از شاخص‌ها، سدهای گلستان و وشمگیر تأثیر خود را در این گروه از شاخص‌ها در ایستگاه گنبد به صورت کاهشی گذاشته‌اند، به طوری که در برخی از آنها اثر احداث سد به گونه‌ای بوده که باعث افزایش آنها شده است. همچنین، سدهای گلستان و وشمگیر تأثیر خود را در این گروه از شاخص‌ها در ایستگاه‌های قزاقلی و آق‌قلا به صورت افزایشی نشان می‌دهند که این نتایج بیانگر آن است که سدهای احداث شده روی رودخانه گرگان رود تأثیرگذار بوده است. شاخص سیلاب‌های کوچک شامل پیک جریان، مدت زمان، زمان بندی، فراوانی است که دبی اوج در ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد، قزاقلی و آق‌قلا به ترتیب ۴۶، ۱۰۷ و ۱۴۹/۸ مترمکعب بر ثانیه با مدت زمان ۳۱۳، ۱۰۷ و ۱۶۳ روز و با فراوانی صفر، سدهای گلستان و وشمگیر با کاهش دبی جریان اثر خودتنظیمی خود را در این شاخص روند کاهشی نشان داده است.

همچنین، درخصوص دلایل انتخاب سدهای گلستان و وشمگیر در پژوهش حاضر می‌توان به طول دوره آماری مناسب ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد، قزاقلی و آق‌قلا و نیز تأثیر حجم مخازن سدها بر دبی پایین دست اشاره کرد. سد گلستان در سال ۱۳۷۹ و سد وشمگیر در سال ۱۳۴۹ به بهره‌برداری رسیده‌اند. بنابراین، داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد (۱۳۳۴-۱۳۹۵)، قزاقلی (۱۳۵۲-۱۳۹۵) و آق‌قلا (۱۳۲۹-۱۳۹۵) به دو دوره قبل و بعد از احداث سد تقسیم شدند (جدول ۱).

#### یافته‌ها

نتایج مربوط به روند متغیرهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر و تعرق با استفاده از آزمون من-کندال و شیب سن در متغیر اقلیمی بارش با ۲۶ ایستگاه هیدرومتری، متغیر اقلیمی دما با ۷ ایستگاه هیدرومتری و متغیر اقلیمی تبخیر و تعرق با ۶ ایستگاه هیدرومتری با بررسی تفاوت معناداری در دوره‌های مطالعه شده با سطح اطمینان ۱ و ۵ درصد مطابق جدول ۲ است. با توجه به جدول ۲، روند بارش، دما و تبخیر و تعرق در اغلب ایستگاه‌های هواشناسی در سطح ۵ درصد معنادار است. به طوری که بارش و دما در اغلب ایستگاه‌ها روند معنادار افزایشی داشته، در حالی که روند تبخیر و تعرق از پنج ایستگاه در سه ایستگاه معنادار افزایشی بوده است. پس می‌توان انتظار داشت با توجه به روند افزایشی بارش، شاخص‌های تغییرات محیط زیستی روند افزایشی داشته باشند.

جدول ۳، مقادیر تغییرات ۳۴ شاخص جریان محیط زیستی در ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد، قزاقلی و آق‌قلا را نشان می‌دهد. در این جدول با توجه شاخص‌های مقدار حداقل جریان ماهانه، مقادیر این گروه از شاخص‌ها در ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد و قزاقلی به جز ماه‌های فوریه، مارس، آوریل و مه و در ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا به غیر از ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس، بیشتر

جدول ۲. روند متغیرهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر-تعرق در منطقه مطالعه شده

ایستگاه	روند	ایستگاه	روند	ایستگاه	روند
مراوه تپه	-۰/۷۱	رامیان	۱۳/۹۷**	تیل آباد	۱/۳۴
مینودشت	۸/۰۹**	رباط قره بیل	-۱/۰۳	دو راهی دشت	۰/۷۵
نوده	۶/۹۹**	تمرگران	۴/۸۳**	آق بند	۰/۲۱
پارک گلستان	۳/۱۷**	تنگراه	۱۱/۷۵**	آق سو	-۲/۶۸**
فارسین	۵/۵۰**	قزاقلی	۰/۰۲	قلی تپه	۴/۹۹**
گالیکش	۸/۰۸**	قشلاق	-۰/۵۴	گنبد	۵/۴۵**
ارازکوسه	۲/۹۹**	چشمه خان	-۰/۰۸	حق الخواجه	۰/۲۹
چیرقیمه	-۰/۴۱	دشت شاد	۲/۹۳**	هوتن	۰/۰۰۸
خروجی سد	-۰/۷۸	لزوره	۴/۶۹**		
مراوه تپه	۶/۵۴**	گنبد	۴/۶۰**	مینودشت	۱۰/۷۰**
خروجی سد گلستان	۷/۵۶**	کلاله	۱/۹۰	رامیان	-۴/۳۳**
تمرگران	۳۸/۰۶**				
ارازکوسه	-۸/۲۱**	مراوه تپه	۴/۷۳**	رباط قره بیل	-۱۰/۸۴**
چشمه خان	-۹/۹۳**	رامیان	۱۱/۳۴**	تمرگران	۴۳/۳۴**

سطح اطمینان ۱ و ۵ درصد که به ترتیب \* و \*\*

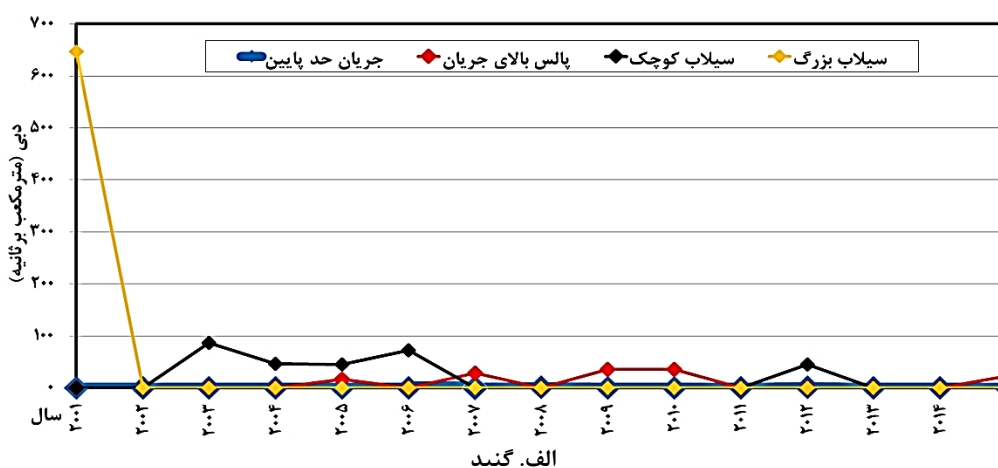
گروه از شاخص‌ها به صورت کاهش نشان می‌دهند و در خصوص ایستگاه‌های گنبد، قزاقلی و آق قلا می‌توان علت افزایش دبی اوج را به این شکل تفسیر کرد که جریان ذخیره شده سدهای گلستان و وشمگیر برای استفاده‌های معین رهاسازی می‌شود و باعث افزایش مقدار دبی اوج جریان در مناطق پایین دست سد می‌شود و همچنین، می‌توان علت دیگر آن را افزایش بارش دانست.

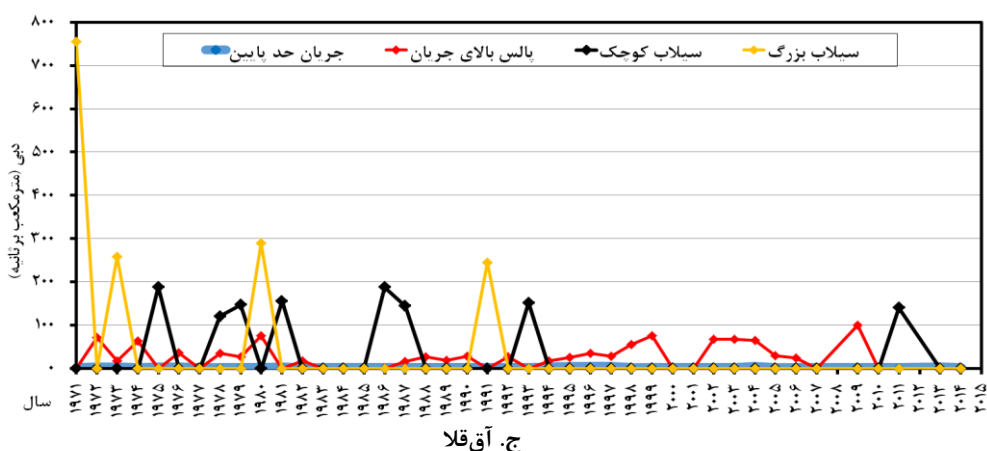
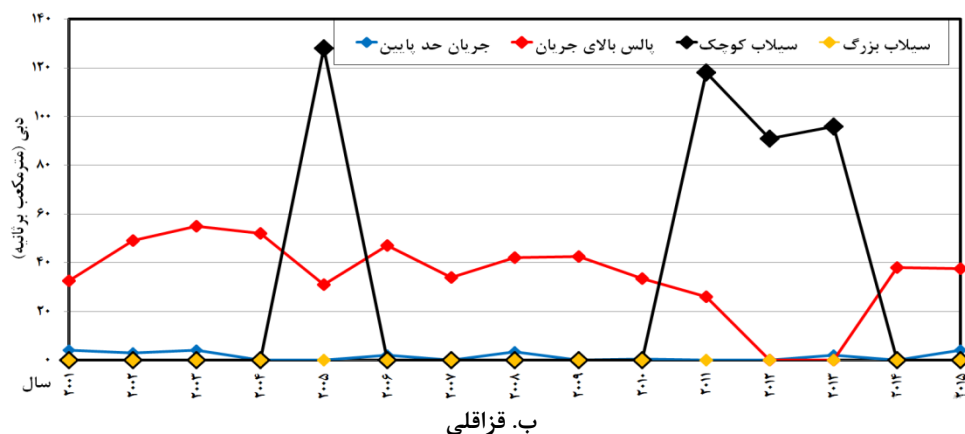
در نهایت، با توجه به شاخص سیلاب‌های بزرگ می‌توان نتیجه گرفت که در ایستگاه گنبد و قزاقلی شاخص سیلاب‌های بزرگ در دبی جریان با مقدار صفر مترمکعب بر ثانیه، روند کاهش و در ایستگاه آق قلا دبی اوج با مقدار ۲۷۴ مترمکعب بر ثانیه و مدت ۱۰۷ روز و با فراوانی صفر در دبی جریان، روند کاهش نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این گروه از شاخص‌ها سدهای گلستان و وشمگیر اثر خود را در این

جدول ۳. مقدار تغییرات میانه شاخص‌های جریان محیط زیستی پایین دست سدهای گلستان و وشمگیر

شاخص‌ها	ایستگاه هیدرومتری گنبد ۱۳۸۰-۱۳۹۵	ایستگاه هیدرومتری قزاقلی ۱۳۸۰-۱۳۹۵	ایستگاه هیدرومتری آق قلا ۱۳۵۰-۱۳۹۵
جریان‌های حداقل ماهانه			
اکتبر	۱۲/۵۷	۱۱/۶۵	۸/۸۶
نوامبر	۸/۲۱	۱۱/۵۷	۱۰/۵۶
دسامبر	۹/۳۲	۱۰/۷۵	۱۰/۵۰
ژانویه	۸/۵۰	۱۳/۳۴	۱۰/۱۶
فوریه	۱۰/۸۲	۱۴/۹۲	۱۰/۶۶
مارس	۱۴/۲۸	۱۳/۴۳	۱۰/۰۶
آوریل	۱۴/۵۲	۱۶/۸۱	۹/۶۸
مه	۱۲/۷۴	۱۴/۷۱	۹/۷۸
ژوئن	۱۱/۴۹	۱۱/۵۹	۹/۶۷
ژوئیه	۹	۱۱/۵۹	۷/۰۵
اوت	۱۰/۲۸	۱۲/۱۸	۹/۷۲
سپتامبر	۱۲/۴۵	۱۰/۹۴	۸/۵۸
جریان‌های حد پایین			
پیک جریان	۱	۳	۱

شاخص‌ها	ایستگاه هیدرومتری گنبد ۱۳۹۵-۱۳۸۰	ایستگاه هیدرومتری قزاقلی ۱۳۹۵-۱۳۸۰	ایستگاه هیدرومتری آق قلا ۱۳۹۵-۱۳۵۰
مدت زمان	۲۵۴	۲۱/۵	۵۹/۵
زمان بندی	۳۴۲	۱۸۱	۱۸۳
فراوانی	۰	۱	۰
پالس‌های بالای جریان			
پیک جریان	۲۸	۳۸	۳۰/۵
مدت زمان	۷۲	۳۸	۸۹
زمان بندی	۱۳۲/۵	۹۴	۵۹/۵
فراوانی	۰	۲	۱
میزان افزایش	۰/۳۳	۱/۲۷	۰/۸۵
میزان کاهش	-۰/۳۳	-۱/۱۳	-۰/۵۶
سیلاب‌های کوچک			
پیک جریان	۴۶	۱۰۷	۱۴۹/۸
مدت زمان	۳۱۳	۱۰۷	۱۶۳
زمان بندی	۱۳۸	۹۰/۵	۹۵
فراوانی	۰	۰	۰
میزان افزایش	۱/۰۵	۳/۵۸	۱/۸۱
میزان کاهش	-۰/۲۵	-۲/۱۶	-۱/۴۸
سیلاب‌های بزرگ			
پیک جریان	۰	۰	۲۷۴
مدت زمان	۰	۰	۱۰۷
زمان بندی	۰	۰	۱۱۵
فراوانی	۰	۰	۰
میزان افزایش	۰	۰	۹/۶۷
میزان کاهش	۰	۰	-۶/۷۱





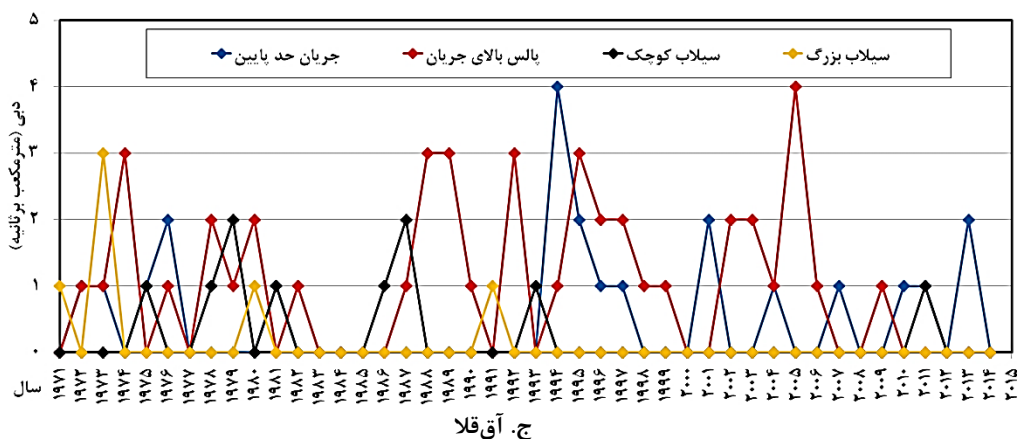
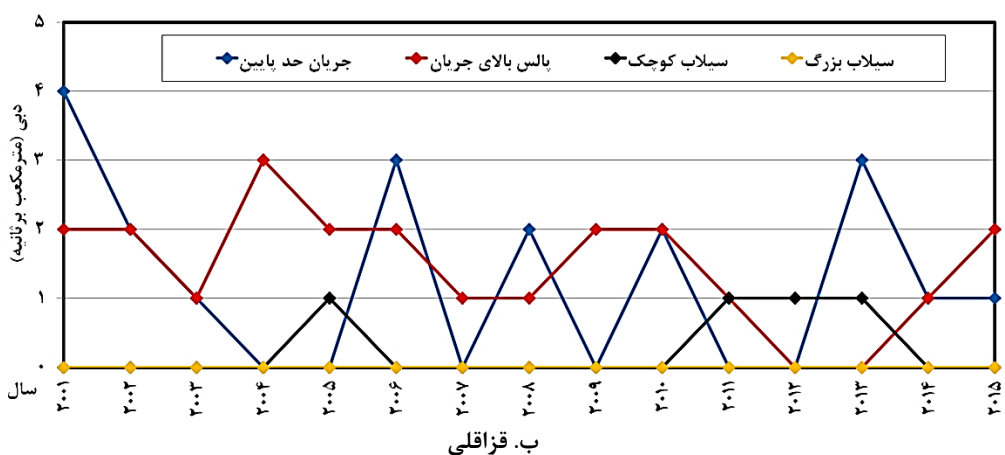
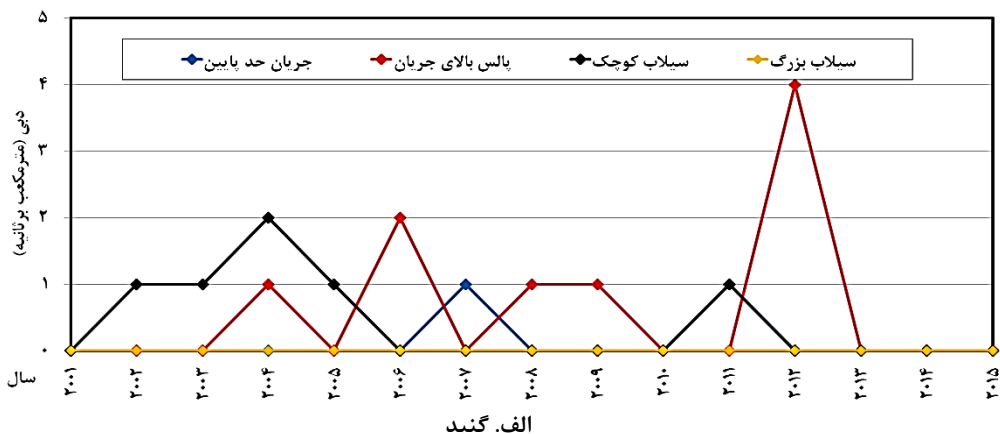
شکل ۳. نمودارهای جریان‌های پیک در ایستگاه‌های تحت تأثیر سدهای گلستان و وشمگیر

ایستگاه گنبد به غیر از سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ (با مقدار عددی صفر متر مکعب بر ثانیه) روند کاهشی داشته و در ایستگاه قزاقلی به غیر از سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ (با مقدار عددی صفر متر مکعب بر ثانیه) و در ایستگاه آق قلا افزایش یافته است. جریان‌های پیک جریان‌های حد پایین در ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد، قزاقلی و آق قلا روند کاهشی دارد. البته کاهش جریان‌های پیک جریان‌های حد پایین علاوه بر سدها و اثر خودتنظیمی آنها به عوامل دیگر چون تغییرات اقلیمی در دوره مورد مطالعاتی وابسته است. نتایج مربوط به مقایسه فراوانی در شاخص‌های جریان محیط زیستی رودخانه گران رود در ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد، قزاقلی و آق قلا در شکل ۴ ارائه شده است.

همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است جریان‌های پیک سیلاب‌های بزرگ در ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد، قزاقلی و آق قلا روند کاهشی دارد که نشان‌دهنده تأثیر سدها روی این شاخص‌ها در رودخانه گران رود است. جریان‌های پیک سیلاب‌های کوچک در ایستگاه هیدرومتری گنبد به غیر از سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۲، در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی به غیر از سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ در ایستگاه هیدرومتری آق قلا به غیر از سال‌های ۱۹۷۵، ۱۹۷۸، ۱۹۷۹، ۱۹۸۱، ۱۹۸۶، ۱۹۸۷، ۱۹۹۳ و ۲۰۱۱ به صورت کاهشی است. بیشترین مقدار جریان پیک در ایستگاه گنبد، قزاقلی و آق قلا به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۱۹۷۵ با مقدار آن ۸۷، ۱۲۸ و ۱۸۹ مترمکعب بر ثانیه اتفاق افتاده است.

همچنین، جریان‌های پیک پالس‌های بالای جریان در





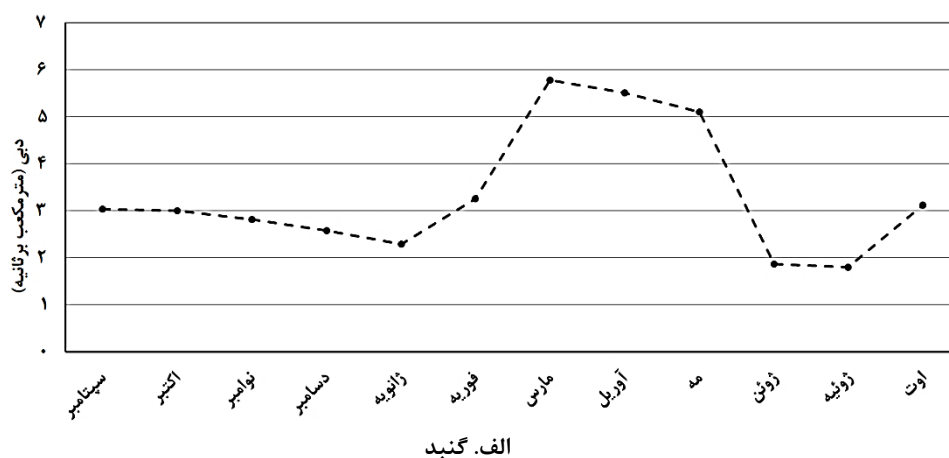
شکل ۴. نمودارهای فراوانی ایستگاه‌های تحت تأثیر سدهای گلستان و وشمگیر

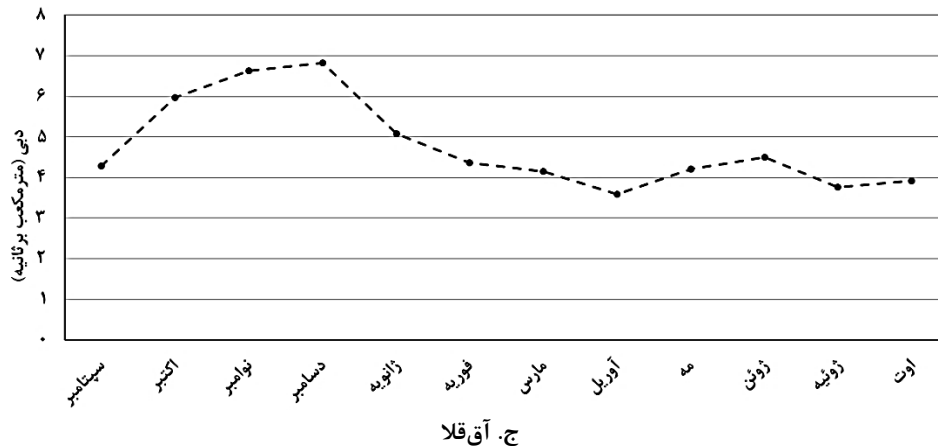
سال ۱۹۷۳ است و با مقدار عددی سه مترمکعب بر ثانیه است که نشان از تأثیر سدها روی این شاخص‌ها در رودخانه گرگان‌رود است. فراوانی سیلاب‌های کوچک در دوره‌های بعد از احداث سد در ایستگاه هیدرومتری گنبد به‌غیر از سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱، در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی به‌غیر از سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳ و در ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا به‌غیر از سال‌های

با توجه به شکل ۴ می‌توان بیان کرد که فراوانی سیلاب‌های بزرگ در دوره بعد از احداث سد در ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد و قزاقلی (در تمامی طول دوره آماری بعد از احداث سد) و در ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا به‌غیر از سال‌های ۱۹۷۱، ۱۹۷۳، ۱۹۸۰ و ۱۹۹۱ (با مقدار عددی صفر متر مکعب بر ثانیه) روند کاهشی یافته است. بیشترین مقدار فراوانی سیلاب‌های بزرگ در ایستگاه آق‌قلا مربوط به

۲۰۱۳ (با مقدار عددی صفر متر مکعب برثانیه) و در ایستگاه آق قلا افزایش یافته است. که علت آن، ورود سرشاخه‌های فرعی و افزایش بارش است، ولی در کل سدهای گلستان و وشمگیر باعث کاهش تغییرات ماهانه جریان شده است. بیشترین مقدار فراوانی پالس‌های بالای جریان در ایستگاه‌های گنبد، قزاقلی و آق قلا به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۱۲، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ با مقدار عددی چهار، سه و چهار متر مکعب بر ثانیه است. در نهایت، فراوانی جریان‌های حد پایین در ایستگاه گنبد به غیر از سال‌های ۲۰۰۷ (با مقدار عددی صفر متر مکعب برثانیه) روند کاهشی و در ایستگاه قزاقلی به غیر از سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۵، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ (با مقدار عددی صفر متر مکعب برثانیه) و در ایستگاه آق قلا افزایش یافته است. همچنین، نمودار تغییرات ماهانه جریان محیط زیستی رودخانه گرگان‌رود در دوره بعد از احداث سدهای گلستان و وشمگیر در شکل ۵ ارائه شده است.

۱۹۷۵، ۱۹۷۸، ۱۹۷۹، ۱۹۸۱، ۱۹۸۶، ۱۹۸۷، ۱۹۹۳ و ۲۰۱۱ (با مقدار عددی صفر متر مکعب برثانیه) کاهش یافته است. بیشترین مقدار فراوانی سیلاب‌های کوچک در ایستگاه‌های گنبد، قزاقلی و آق قلا به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۰۴، (۲۰۰۵، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳) و (۱۹۷۹ و ۱۹۸۷) و مقدار عددی به ترتیب دو، یک و دو متر مکعب بر ثانیه است. با توجه به نتایج به دست آمده در سه متغیر بارش، دما و تبخیر و تعرق اغلب روند معنادار افزایشی مشاهده شد که این امر می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر دبی جریان رودخانه گرگان‌رود داشته باشد. بنابراین، فراوانی سیلاب‌های کوچک نشان‌دهنده این است که مقدار کاهش محیط زیستی جریان در دوره بعد از احداث سدها بیشتر از دوره قبل از احداث سدها بوده است. همچنین، پالس‌های بالای جریان در ایستگاه گنبد به غیر از سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۶، ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ (با مقدار عددی صفر متر مکعب برثانیه) روند کاهشی و در ایستگاه قزاقلی به غیر از سال‌های ۲۰۱۲ و





شکل ۵. نمودارهای میانگین حداقل ماهانه ایستگاه‌های تحت تأثیر سدهای گلستان و وشمگیر

جمله مهم‌ترین ساختارهای دست‌ساز انسانی در طول رودخانه هستند که می‌توانند تغییرات عمده‌ای را در رژیم رودخانه و در نهایت، در کل حوضه زهکشی و در تنظیم جریان‌های سطحی پدید آورند. هدف از پژوهش حاضر، تعیین تأثیر ترکیبی تغییر در متغیرهای اقلیمی و احداث سدهای گلستان و وشمگیر بر شاخص‌های محیط زیستی جریان رودخانه گرگان‌رود در استان گلستان است. براساس نتایج به‌دست‌آمده، تغییر در متغیرهای اقلیمی اغلب به‌صورت افزایش بارش و دما و روند معنادار افزایشی و کاهش تبخیر و تعرق بوده است که این امر می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر دبی جریان رودخانه گرگان‌رود داشته باشد. مطالعه ریزش‌های جوی استان گلستان نشان می‌دهد در این استان، پاییز و زمستان پربارش‌ترین فصول سال هستند و پس از آن، فصل بهار پرباران‌ترین فصل سال شناخته می‌شود و تابستان کم‌بارش‌ترین فصل سال است [۲۰]، به‌طوری که رژیم بارش در فصل زمستان در حوضه آبخیز مورد مطالعه که بیشتر به‌صورت برفی است و به‌عنوان منبع ذخیره‌ای مناسبی برای آب‌های زیرزمینی منطقه است، به‌دلیل افزایش دما تغییر می‌کند و به باران تبدیل می‌شود. ولی آنچه مسلم است تغذیه منابع آب‌های زیرزمینی بیشتر از طریق ذوب تدریجی برف انجام می‌شود تا باران [۲۹]. مرادی و میکاییلی تبریزی [۳۰] در بررسی رواناب در کل حوضه آبخیز گرگان‌رود نشان دادند که میزان رواناب در کل حوضه، به‌خصوص در قسمت شرق و شمال شرق حوضه که بیشترین تغییرات کاربری هم در این مناطق رخ داده، افزایش یافته است. این افزایش در میزان رواناب بر اثر تغییر کاربری اکوسیستم جنگلی به کاربری کشاورزی در این مناطق صورت گرفته است. بنابراین، می‌توان

با توجه به شکل ۵ می‌توان گفت که در ایستگاه هیدرومتری گنبد به غیر از مارس، آوریل و مه فقط در چند واقعه افزایش یافته، مقادیر ماهانه دبی جریان کاهش یافته است. منشأ اصلی رواناب، مقدار بارش است و طبیعی است که با کاهش بارش، میزان رواناب نیز کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، از این نتایج می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بارش بیشتر در فصل‌های بهار و زمستان در این ایستگاه‌های گنبد و قزاقلی متمرکز می‌شود و از بارش‌های پاییز و تابستان کاسته می‌شود. بنابراین، به‌دلیل افزایش دما در این ایستگاه، میزان تبخیر نیز افزایش می‌یابد که این افزایش به طبع با کاهش رواناب می‌تواند همراه باشد. وجود کاربری اراضی کشاورزی و جنگل‌های نیمه‌انبوه [۲۷] در این ایستگاه که در بخش بالادست این ایستگاه از پوشش نسبتاً خوبی برخوردارند، اما در پایین‌دست حوضه تغییر کاربری بیشتر مشهود است [۲۸]. بنابراین، کاربری اراضی در ایستگاه هیدرومتری گنبد و قزاقلی اثر مثبت خود را نشان داده است. همچنین، در ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا در فصل پاییز بارش بیشتر متمرکز می‌شود که علت آن به دلیل ورود سرشاخه‌های فرعی و افزایش بارش است. افزایش دما در ماه‌های تابستان که هم‌زمان با کاهش بارش است در رشد و توسعه پوشش گیاهی و بقایای گیاهی نقش قابل توجهی دارد و چرخش هیدرولوژی حوضه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی، تغییرات دمایی زمستان نیز می‌تواند زمان آغاز ذوب برف حوضه را تحت تأثیر قرار دهد که این عوامل روی دبی اوج سیلاب در پایین‌دست تأثیر بسزایی دارد.

### بحث و نتیجه‌گیری

احداث سدها به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریت منابع آب، از

در قالب احداث سد در تغییرات جریان بسیار بیشتر از تغییر اقلیم است، که در مناطق مختلف ممکن است متفاوت باشد. ولی در کل سدهای گلستان و وشمگیر باعث کاهش تغییرات ماهانه و سیلاب‌های بزرگ و کوچک جریان شده است که به دلیل وجود شاخه‌های فرعی به رودخانه، افزایش بارش و دما در این ایستگاه، تأثیر پوشش کاربری اراضی و اثر خودتنظیمی سدها در بیشتر ماه‌های سال دبی جریان در دوره‌های بعد از احداث سدها کمتر است. همچنین، در دوره بعد از احداث سد، کاهش شاخص‌های جریان را می‌توان در احداث سد و تغییر در مؤلفه‌های اقلیمی و نیز افزایش میزان برداشت و دست‌کاری در رودخانه‌ها جست‌وجو کرد که به این منظور، خسروی و همکاران [۳۳] در رودخانه خرمارود- استان گلستان، تغییر جریان را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که بر اثر فعالیت‌های انسانی، دبی جریان تغییر یافته است و همچنین، نتایج تحقیق عسگری و همکاران [۳۴] که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. نتایج تحقیقات Gain و Giupponi [۳۵]، Zuo و Liang [۱]، Sojka و همکاران [۳۱] و نصیری‌خیابوی و رجبی [۳۶] نیز بیانگر آن بود که احداث سد روی شاخص‌های هیدرولوژیکی و محیط زیستی تأثیرگذار بوده است، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در نهایت، دستاورد پژوهش حاضر، ایجاد شرایط مطلوب و مناسب برای تأمین سلامت اکوسیستم رودخانه گرگان‌رود از نظر فراهم کردن زیستگاه مطلوب موجودات زنده، با اعمال میزان جریان اکولوژیک که بیشترین تشابه را با الگوی طبیعی جریان رودخانه دارد، است. این محاسبات، اطلاعات ارزشمندی را برای برنامه‌ریزی منابع آب و پروژه‌های حفاظت از زیستگاه رودخانه، ارائه می‌دهد. همچنین، به‌منظور تعمیم نتایج این تحقیق به حوضه‌های نیمه‌خشک، باید تحقیق مشابهی در حوضه‌های پرآب و کم‌آب مناطق خشک و نیمه‌خشک دیگر کشور صورت بگیرد و نتایج آن با تحقیق حاضر مقایسه شود.

#### منابع

- [1]. Amirrezaeieh AR, Porhemmat, Ahmadi F. Investigation of precipitation and temperature trend across the North West of Iran in recent half of the century. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 2017; 10(6): 797-809. (In Persian)
- [2]. Asgari A, Mostafa Zadeh R, Haji K. Analysis of change points in the Dubai time series of some hydrometric stations in Golestan province.

اظهار داشت که در پژوهش حاضر، اثر ترکیبی احداث سدها و نیز تغییر در متغیرهای اقلیمی به‌صورت افزایش بارش و دما و همچنین، اثر کاربری اراضی بر مقادیر شاخص‌ها تأثیرگذار بوده است.

شاخص‌های جریان محیط زیستی نشان می‌دهد با احداث سدهای گلستان و وشمگیر روی رودخانه گرگان‌رود، شرایط هیدرولوژیکی حاکم بر اثر احداث سدها نوسان داشته‌اند، به‌طوری که در برخی از آنها اثر احداث سدها به گونه‌ای بوده است که باعث افزایش آنها در دوره‌های بعد از احداث سدها شده و در برخی از آنها حالت کاهشی به خود گرفته است. براساس نتایج، شاخص‌های جریان محیط زیستی حداقل جریان ماهانه نشان می‌دهد ایستگاه‌های گنبد، قزاقلی و آق‌قلا مقدار دبی جریان رودخانه در دوره‌های بعد از احداث سد کاهش داشته که نشان‌دهنده تأثیر سدهای گلستان و وشمگیر بر این شاخص‌ها است. احداث سدهای گلستان و وشمگیر با افزایش بارش باعث کاهش شاخص‌های حد پایین جریان شده است. از طرفی، در ایستگاه گنبد تعداد پالس‌های بالای دبی جریان رودخانه مطالعه‌شده از دوره بعد از احداث سد کاهش می‌یابد که مربوط به تأثیر سد مخزنی در کنترل سیلاب است. تعداد پالس‌های بالای دبی جریان در ایستگاه‌های قزاقلی و آق‌قلا در دوره بعد از احداث سد افزایش یافته که می‌توان به دلیل اثر تنظیمی سد، افزایش بارش و وجود شاخه‌های فرعی به رودخانه دانست. از طرفی، با افزایش جریان رودخانه و امکان ایجاد سیل، آسیب‌پذیری زیست‌بوم رودخانه را افزایش می‌یابد. اثر تعدیلی سدها (ایجاد تعادل در جریان‌های سیلابی) و افزایش بارش در منطقه مطالعه‌شده بر شاخص سیلاب‌های بزرگ و کوچک در ایستگاه‌های گنبد، قزاقلی و آق‌قلا باعث تأثیر مثبت و موجب کاهش این شاخص طی زمان شده که نشان‌دهنده تأثیر سدها روی این شاخص در رودخانه گرگان‌رود است. به‌طور کلی، احداث سدهای گلستان و وشمگیر روی رودخانه گرگان‌رود موجب تغییرات درخور توجهی در شاخص‌های محیط زیستی جریان شده‌اند و همچنین، بر اثر احداث سدها، میزان بی‌نظمی در شاخص‌های محیط زیستی جریان در سدهای گلستان و وشمگیر کاهش یافته است که با نتایج پژوهش‌های Liang و Zuo [۱] و Sojka و همکاران [۳۱] که به تأثیر مثبت عملیات احداث سدها بر تنظیم جریان اشاره کرده‌اند، همخوانی دارد. براساس نتایج پژوهش Zeng و همکاران [۳۲]، بیان شده است که سهم دخالت‌های انسانی

- [13]. Karimi S, Salarijazi M, Ghorbani Kh, Heydari M. Comparative assessment of environmental flow using hydrological methods of low flow indexes, Smakhtin, Tennant and flow duration curve. *Acta Geophysica*. 2021; 69: 285-293. (In Persian)
- [14]. Karimi S, Salarijazi M, Ghorbani Kh. Estimation of river ecological flow using hydrological methods of tenant, tesman, flow continuity transfer curve and desktop storage model. *Ecohydrology*. 2017; 4(1): 177-189. (In Persian)
- [15]. Khaleghi MR, Gholami V, Khodabakhshi A. Hydrological Effects of Chashm Dam on the Downstream of Talar River Watershed. *Journal of Water and Soil*. 2015; 30(4): 1090-1101. (In Persian)
- [16]. Khorrooshi S, Mostafazadeh R, Esmali-Ouri A, Raoof M. Assessment of temporal and spatial variations of the hydrologic index of river in the watersheds of Ardebil Province. *Ecohydrology*. 2017; 4(2): 379-393. (In Persian)
- [17]. Khosravi G, Sa'ad al-Din A, Onaq M, Beneficiary A, Mustafavi H. Classification and determination of changes in river water flow regime using IHA hydrological indicators (Case study: Khorramarud River- Golestan Province). *Echo Hydrology*. 2019; 6 (3): 651-671. (In Persian)
- [18]. Moradi Z, Mikaeili-T AR. Comparison of Procedure of Artificial Neural Networks, Logistic Regression and Similarity Weighted Instance-Based Learning in Modeling and Predicting the Destruction of the Forest (Case Study: Gorgan-Rood Watershed- Golestan Province). *Environmental Science and Technology*. 2020; 21(11): 219- 227. (In Persian)
- [19]. Mostafazadeh R, Esfandiary Darabad F, Mohammadirad L, Haji Kh. Quantitative changes and statistical comparison of river flow hydrological indicators after the construction of Yamchi Dam, Ardabil, Iran. *Environment and Water Engineering*. 2020; 6(2): 107-121. (In Persian)
- [20]. Naderi MH, Zakerinia M, Salarijazi M. Ecosystems Protecting of Gharasoo River based on Regulation of Environmental Flow Regime using Hydrological Methods. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*. 2019; 11(41): 118-136. (In Persian)
- [21]. Nasiri Khiavi A, Esmali-Ouri A, Mostafazadeh R. Changes in the values of the river base index in four consecutive hydrometric stations located on the Qarasu River in Ardabil Province. *The First National Conference on Water Resource Management Strategies and Environmental Science and Technology*. 2019; 21(5): 1-13. (In Persian)
- [3]. Asgari E, Mostafazadeh R, Haji Kh. Change point analysis of discharge time series in some hydrometric stations in Golestan Province. *Environmental Science and Technology*. 2019; 21(5): 83-93. (In Persian)
- [4]. Chen YD, Yang T, Xu CY, Zhang Q, Chen X, Hao ZC. Hydrologic alteration along the middle and upper east river (Dongjiang) Basin, South China. A visually enhanced mining on the results of RVA method. *Stochastic Environ. Res. Risk Assess*. 2010; 24(1): 9-18.
- [5]. Daechini F, Vafakhah M, Moosavi V. Impacts of the Golestan and Voshmgir Dams on Indicators of Hydrologic Alterations in the Gorganroud River Using Range of Variability Approach. *Journal of Ecohydrology*. 2020; 7(3): 595-607. (In Persian)
- [6]. Donyaee A, Saraf AP. Evaluation of water-meteorological conditions of Gorganroud catchment due to climate change using the model MIROC-ESM. *Hydrogeomorphology*. 2021; 25(7): 181-204. (In Persian)
- [7]. Gain A, Giupponi C. Impact of the Farakka Dam on thresholds of the hydrologic flow regime in the Lower Ganges River Basin (Bangladesh). *Water*. 2014; 6(8): 2501-2518.
- [8]. Gao Y, Vogel RM, Kroll CC, Poff NL, Olden JD. Development of representative indicators of hydrologic alteration. *Journal of Hydrologic*. 2009; 374: 136-147.
- [9]. Ghareh Mahmudlu M, Jandaghi N, Sayadi M. Hydrochemical evolution and water quality reduction of Gorganroud river. *Iranian Geological Quarterly*. 2020; 14(55): 129-145.
- [10]. Ghasabfeiz M, Eslami H. Variations trend evaluation of rainfall using mann-kendall and linear regression in Khuzestan Province. *Journal on Water Engineering*. 2018; 5(2): 113-121. (In Persian)
- [11]. Gheisoori M, Soltani-Gerdefamarzi S, Ghasemi M. Investigation and prediction of the changing trend of climate parameters on discharge (Case Study: Godarkhosh Subbasin). *Journal of Natural Environmental Hazards*. 2018; 7(17): 137-154. (In Persian)
- [12]. Joseph N, Preetha P, Narasimhan B. Assessment of environmental flow requirements using a coupled surface water-groundwater model and a flow health tool: A case study of Son river in the Ganga basin. *Ecological Indicators*. 2021; 121: 1-13.

- [29]. Shakeri Zare H, Karam A, Safari A, Kiyani S. Assessing the environmental flow needs of the Harirod border riverbed after the construction and dewatering of Selma Dam Afghanistan (by hydrological methods). *Geography and Environmental Hazards*. 2020; 34: 207-224. (In Persian)
- [30]. Sojka M, Jaskuła J, Wicher-Dysarz J, Dysarz T. 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*. 2016; 30(1): 119-125.
- [31]. Zeng S, Zhan C, Sun F, Du H, Wang F. Effects of climate change and human activities on surface runoff in the Luan River Basin. *Advances in Meteorology*. 2015; 1-12.
- [32]. Zhang Q, Gu X, Singh VP, Chen X. Evaluation of ecological instream flow using multiple ecological indicators with consideration of hydrological alterations. *Journal of Hydrology*. 2015; 529: 711-722.
- [33]. Zhang Q, Xu C-Y, Singh VP, Yang T. Multiscale variability of sediment load and streamflow of the Lower Yangtze River Basin: Possible Causes and Implications. *Journal of Hydrology*. 2009; 368: 96–104.
- [34]. Zhang Q, Zhou Y, Singh VP, Chen X. The influence of dam and lakes on the Yangtze River streamflow: Long-range correlation and complexity analyses. *Hydrology Processes*. 2012; 26 (3): 436–444.
- [35]. Zhang Y, Shao Q, Zhao T. Comprehensive assessment of dam impacts on flow regimes with consideration of interannual variations. *Journal of Hydrology*. 2017; 1-47.
- [36]. Zou Q, and Liang SH. Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA. *Proc. Int. Assoc. Hydrol. Sci*. 2015; 368: 275-280.
- Challenges. 10 to 11 May 2018. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 1-9 pp. (In Persian)
- [22]. Nasiri Khiavi A, Rajabi MR. The effect of Bukan Dam on environmental flow in Zarrinehrood River using hydrologic methods and EFC. The 14th National Conference on Watershed Management Science and Engineering, Iran. 25-26 July 2019. University of Urmia. 1-7 pp. (In Persian)
- [23]. Nathan R, Lowe L. The hydrologic impacts of farm dams. *Australian Journal of Water Resources*. 2012; 16(1): 75-83.
- [24]. Performance of watershed management measures in reducing flood damage in Golestan in March 1997 and April 1998. *Forests, Rangelands and Watershed Management Organization - General Department of Natural Resources and Watershed Management of Golestan Province*.
- [25]. Pirouzian E, Sarai Tabrizi M, Sedghi H. Investigating Different Methods for Estimating the Need for Environmental Water (Case Study: Alandchay River). *Journal Science and Technology Engineering*. 2018; 22(7): 27-41. (In Persian)
- [26]. Rostam Zadeh H, Rezaei Banafsheh M, Hosseinnejad A. Identification of non-spatial patterns hourly variations of temperature on a monthly, seasonal and annual basis (Case Study: Synoptic Station of Tabriz). *Climate Change & Climate Disasters*. 2019; 1(2): 56-76. (In Persian)
- [27]. Saghafian B, Farazjoo H, Sepehry A, Najafinejad A. Effects of Land Use Change on Floods in Golestan Dam Drainage Basin. *Iran-Water Resources Research*. 2006; 2(1): 18-28. (In Persian)
- [28]. Shahkahi E, Sarli R, Darvishi U, Amanpour Gharaee S. Zoning of vulnerable areas against natural hazards with emphasis on landslides Case study: Gorgan river basin of Gorgan city. *Quantitative Geomorphological Research*. 2019; 8(2): 52-70. (In Persian)