

پل سلطانی و یلادرق به ترتیب ۲۹/۵۳، ۴۵/۵۸، ۳۵/۲۴ و ۳۹/۴۲ درصد کاهش داشته است. در مجموع نتایج نشان می‌دهد که رژیم هیدرولوژی رودخانه‌ها تحت تأثیر مؤلفه‌های بارش و دما دچار تغییر شده است.

کلیدواژه‌ها: تداوم جریان، شاخص‌های کمینه جریان، شاخص‌های هیدرولوژیک جریان، مؤلفه‌های جریان محیط‌زیستی، نوسانات جریان

مقدمه

رودخانه‌ها خدمات متعددی شامل شرب، صنعت، کشاورزی و توریسم برای بشر فراهم می‌کنند. هم‌چنین رژیم هیدرولوژیکی رودخانه نیروی محرکه و عامل اصلی پویایی زیست‌بوم رودخانه است [۲۴]. با توجه به این‌که مقدار آب رودخانه‌ها، در مقایسه با حجم آب‌کره زمین، بسیار ناچیز است، که در منابع به میزان ۰/۰۰۱ درصد گزارش شده است [۱]. باین‌وجود، بسیاری از تغییرات ایجادشده در سطح خشکی‌های کره زمین ناشی از عملکرد آب‌های جاری است [۱۷]. هم‌چنین امنیت آب شیرین موردنیاز بشر در آینده تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، رشد جمعیت، افزایش تقاضای آب و تغییر در روش زندگی و رفاه اجتماعی ممکن است به خطر بیفتد [۲۰]. بارش مهم‌ترین منبع آب شیرین در هر منطقه بوده و ممکن است تحت تأثیر اقلیم کاهش یابد که این امر موجب کاهش آب شیرین قابل‌دسترس (سطحی و زیرزمینی) در آینده خواهد شد [۱۵]. بنابراین به نظر می‌رسد که بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی منابع آب جهت مدیریت پایدار این منابع بسیار ضروری است [۱۶]. هم‌چنین تغییر اقلیم، باعث تشدید چرخه آب، تغییر در خصوصیات بارش، تغییر در مقدار و زمان ظهور رواناب، وقوع خشک‌سالی و سیلاب‌های بزرگ، توسعه مناطق بیابانی و تغییر در میزان تبخیر و تعرق می‌شود [۵، ۶]. از طرفی مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب نیازمند لحاظ نمودن آثار تغییرات اقلیم برای پیش‌بینی دقیق نیازهای آتی است؛ زیرا بررسی روند تغییرات جریان و آگاهی از آن در بررسی میزان آب در دسترس آتی مؤثر است [۹، ۱۰، ۲۱]. با توجه به این‌که آب یک منبع آسیب‌پذیر، محدود و حیاتی آینده است، بنابراین نیاز به مدیریت کارآمد جهت توزیع منابع آب داخلی، بسیار حائز اهمیت است [۳، ۱۳]. تغییر اقلیم سبب افزایش دما و تغییر در الگوی زمانی بارش و نیز کاهش و یا افزایش بارندگی در فصول مختلف

تأثیرپذیری متغیرهای رژیم جریان از تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما در برخی از رودخانه‌های دامنه کوهستان سبلان

فریبا اسفندیاری درآباد^۱، رؤف مصطفی‌زاده^۲، معصومه قلی‌زاده آقبلاغ^۳،

علی نصیری خیای^۴ و مهریار علی‌محمدی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲

DOI: 10.22034/17.62.11

چکیده

مدیریت منابع آب نیازمند لحاظ تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل تأثیرپذیری متغیرهای جریان پرای و کم‌آبی از تغییرات بارش و دما در رودخانه‌های دامنه سبلان اردبیل صورت گرفت. تأثیرپذیری دبی جریان از مؤلفه‌های اقلیمی ارزیابی شد، توسط نرم‌افزار Change Point Analysis، داده‌های بارش و دما از نظر وجود وقوع روند معنادار آزمون شد. سال‌های تغییر روند بارش و دما به‌عنوان مبنا انتخاب و بر این اساس داده‌های دبی متناظر به دوره‌های قبل و بعد از تغییر متغیرهای اقلیمی تقسیم شد. برای هر دو دوره، ۴۱ شاخص پرای و کم‌آبی با نرم‌افزار RAP محاسبه شد. بر اساس نتایج در ایستگاه‌های لای، نیر و پل سلطانی آماره بیشینه دبی جریان در دوره بعد از تغییر در مؤلفه‌های اقلیمی روند کاهشی داشته است. روند میانگین مقدار نوسانات افزایشی در اکثر ایستگاه‌ها کاهشی بوده است. شاخص تعداد روزهای صفر جریان در ایستگاه‌های اهل‌ایمان و پل سلطانی در دوره بعد از اثر به ترتیب ۲۰۱ و ۹۴۷ درصد افزایش داشته است. مقادیر میانگین بیشینه متحرک ۳ روزه در ایستگاه‌های آب‌سنجی اهل‌ایمان، نیر،

- ۱- استاد، گروه آموزشی جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
 - ۲- دانشیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
 - ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
 - ۴- دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
 - ۵- استادیار، گروه علوم جوی و اقیانوسی، دانشکده تفنگداران دریایی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، نوشهر، ایران.
- * نویسنده مسئول؛ پست الکترونیک: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

شده و بر منابع آب موجود در منطقه نیز اثرگذار است [۴، ۱۸]. در ارتباط با اثرات مؤلفه‌های اقلیمی بر شاخص‌های هیدرولوژیک و همچنین شاخص‌ها پرآبی و کم‌آبی در داخل و خارج از کشور صورت پذیرفته است. در پژوهشی اسفندیاری درآباد و همکاران [۸] تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک جریان را در رودخانه‌های زرينه‌رود و ساروق‌چای استان آذربایجان غربی مورد تحلیل قرار دادند. بر اساس نتایج، در ایستگاه ساری‌قامیش، شاخص‌های حداقل و دبی 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 میزان نوسانات کاهشی^۱ 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. در پژوهش دیگر، رحیمی بندرآبادی [۱۹] چشم‌انداز اثرات تغییر اقلیم بر جریان کمینه حوضه کرخه، در افق ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ را مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش از شاخص‌های جریان کمینه، منحنی‌های تداوم و سری جریان‌های کمینه استفاده شد. بررسی شاخص‌های جریان کمینه نشان می‌دهد که جریان کمینه حدود ۷۰ درصد افزایش خواهد یافت. از این رو، با توجه به اثرات متفاوت تغییر اقلیم بر جریان کمینه تحت سناریوهای مختلف، در طرح‌های مدیریتی باید عدم قطعیت سناریوها و همچنین، وضعیت اقتصادی و اجتماعی منطقه در آینده مدنظر قرار گیرد. همچنین در ارتباط با مطالعه شاخص‌های جریان سیلاب و کم‌آبی، اسفندیاری درآباد و همکاران [۷] در جنوب دریاچه ارومیه ۱۹ شاخص هیدرولوژیک جریان را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج می‌توان گفت، در دوره بعد از احداث سد، مقادیر شاخص‌های دبی حداقل ۱ روزه، دبی متوسط روزانه، دبی ۱۰، ۵۰، ۷۵ و ۹۵ درصد بر اساس منحنی تداوم جریان، تعداد روزهای با جریان صفر، چولگی، متوسط ضریب تغییرات سالانه، شدت فروکش، تعداد فروکش و شاخص عکس‌العمل، تفاوت معناداری نسبت به دوره قبل از احداث سد داشته است. همچنین در بررسی میزان تأثیر احداث سد در بین پنج ایستگاه مورد مطالعه، ایستگاه هیدرومتری شاخه راست آلاسقل کم‌ترین و ایستگاه هیدرومتری ساری‌قامیش بیش‌ترین تأثیر را نشان می‌دهند. وانگ^۲ و همکاران [۲۳] تغییرات رژیم جریان رودخانه یانگ تسه را در اثر احداث سد با استفاده از تحلیل ۳۳ متغیر هیدرولوژیک جریان انجام دادند و نتایج حاکی از این بود که تأثیر هیدرولوژیک سد گزوبا اندک بوده است که عمدتاً تحت تأثیر جریان‌های کمینه، میزان افزایش و تعداد تغییرات هیدرولوژیک بوده است. همچنین سدهای متوالی گورجس بر توزیع فصلی جریان‌ها، مقدار حداقل جریان، ضریب‌های جریان کم و میزان

1. Rate of Falling
2. Wang

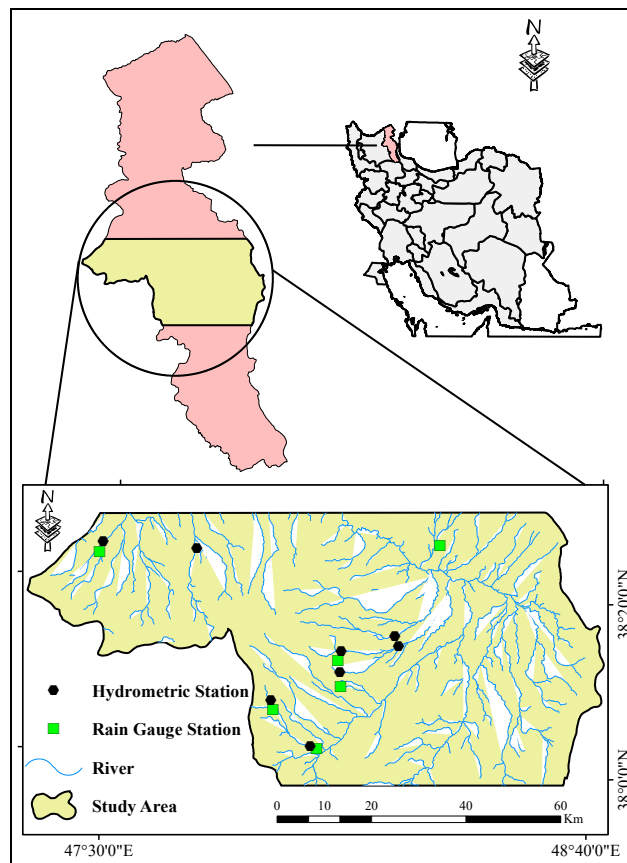
افزایش تأثیرگذار بوده است. همچنین سوچکا^۳ و همکاران [۲۲] ارزیابی اثرات احداث سد بر تغییرات هیدرولوژیک جریان رودخانه پووا با استفاده از شاخص‌های تغییرات هیدرولوژی و رویکرد دامنه تغییرپذیری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سد مخزنی تأثیر متوسطی بر رژیم هیدرولوژیک رودخانه داشته است و همچنین تأثیر چشم‌گیری در تغییر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه 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. در پژوهشی دیگر، لین و کای^۴ [۱۱] اثرات تغییر اقلیم بر اندازه و زمان‌بندی شاخص‌های حدی هیدرولوژیک در بریتانیای کبیر را مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. ایشان در این پژوهش به این نتیجه رسیدند که به دلیل تغییرپذیری بالای سالانه، شاخص‌های زمان‌بندی بیشینه و کمینه جریان معنادار نبودند. با جمع‌بندی مطالب، می‌توان گفت که بررسی تغییرات شاخص‌های پرآبی و کم‌آبی جریان رودخانه‌ای در اثر پتانسیل تغییرات اقلیمی و نیز تأثیرپذیری از این مؤلفه‌ها، بینش ارزشمندی در ارتباط با مدیریت بهینه منابع آب می‌دهد. در ارتباط با اهمیت رودخانه‌های مورد مطالعه در دامنه کوه سبلان در استان اردبیل می‌توان بیان کرد که برخی از این رودخانه‌ها منبع اصلی تأمین آب شهر اردبیل از طریق تغذیه سد خاکی یامچی هستند و همچنین رودخانه خیابوچای در شهرستان مشگین‌شهر، یکی از منابع اصلی تأمین آب شرب و اراضی باغات پایین‌دست در مشگین‌شهر می‌باشد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف کمی سازی و تحلیل متغیرهای جریان پرآبی و کم‌آبی تحت تأثیر مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما در برخی از رودخانه‌های دامنه کوه سبلان صورت گرفته است. تحقیق بر روی رودخانه‌هایی با جریان طبیعی که کم‌تر دستخوش تغییرات انسانی شده‌اند، می‌تواند اطلاعات مناسبی در خصوص میزان و ماهیت تغییرات در رژیم رودخانه‌ها در اختیار قرار دهد. از طرفی تعیین دوره‌های تغییر در رژیم دبی جریان و یا مؤلفه‌های اقلیمی یا تغییرات هم‌زمان از موارد حائز اهمیت در تحقیق حاضر است.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

برای انجام این پژوهش، ۸ ایستگاه آب‌سنجی واقع در استان اردبیل انتخاب شد. استان اردبیل با مساحت ۱۷۹۵۳ کیلومتر مربع و در محدوده مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی در شمال غرب کشور ایران قرار دارد. در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. دمای بیشینه و کمینه ثبت‌شده در ایستگاه‌های دماسنجی آبیاری مشگین‌شهر، آتسگاه، سامیان، لای و نیر به ترتیب ۲۶ و ۶/۴-، ۲۰/۵ و ۹/۱-، ۲۱ و ۱۳/۴-

3. Sojka
4. Lane and Kay



شکل ۱- موقعیت کشوری و استانی منطقه مورد مطالعه، استان اردبیل، ایران
Fig. 1. The location of the study area in Ardabil province and Iran

در ماهیت داده‌ها تشخیص داده و سطوح اطمینان برای هر تغییر را معین می‌کند. بر این اساس با استفاده از نرم‌افزار مذکور، روند داده‌های بارش و دما در هر ایستگاه باران‌سنجی متناظر با ایستگاه آب‌سنجی مورد سنجش کمی قرار گرفت. نتایج مربوط به بررسی روند داده‌های بارش و دما مورد تحلیل قرار گرفت و بر اساس نتایج این ایستگاه‌ها، ایستگاه‌های آب‌سنجی متناظر به دو دوره قبل و بعد از تغییر در مؤلفه‌های اقلیمی تقسیم شد. بر این اساس ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Change Point Analysis، داده‌های بارش و دما در ایستگاه‌های باران‌سنجی و دماسنجی از نظر وجود وقوع روند معناداری مورد آزمون قرار گرفت. هر ایستگاه باران‌سنجی و دماسنجی که دارای وقوع روند معناداری بود انتخاب شد. سپس به‌منظور بررسی اثر تغییر پارامترهای اقلیمی بارش و دما بر دبی جریان، سال‌های تغییر روند بارش و دما به‌عنوان مبنا انتخاب و بر این اساس داده‌های دبی متناظر به دوره‌های قبل و بعد از تغییر متغیرهای اقلیمی تقسیم شد. پس از تقسیم مقادیر دبی جریان در ایستگاه‌های آب‌سنجی به دو دوره قبل و بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی، متغیرهای اصلی مربوط به شاخص‌های پربابی و کم‌ابی با استفاده از نرم‌افزار River Analysis Package (RAP) محاسبه و کمی‌سازی شدند [۱۴]. بسته تحلیل رودخانه (RAP) جعبه‌ابزاری از تکنیک‌های کمی برای مدیریت جریان محیط‌زیستی است. نرم‌افزار

، ۴۴/۸ و ۱۱-، ۲۶/۱ و ۱۶/۳- درجه مرتعی است و توسط عشایر بومی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. در این تحقیق از داده دبی هشت ایستگاه آب‌سنجی، پنج ایستگاه باران‌سنجی و پنج ایستگاه دماسنجی با دوره‌های آماری منتخب (مندرج در جدول ۱) که از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل و همچنین سازمان هواشناسی کشور گردآوری شده است، استفاده گردید.

روش تحقیق

در این پژوهش، تأثیرپذیری متغیرهای پربابی و کم‌ابی از مؤلفه‌های اقلیمی در برخی از رودخانه‌های دامنه سبلان در استان اردبیل مورد مطالعه قرار گرفت. بر این اساس ابتدا ایستگاه‌های آب‌سنجی (دبی متوسط روزانه و سالانه)، باران‌سنجی (بارش متوسط سالانه) و دماسنجی (دمای متوسط سالانه) انتخاب شدند. سپس بر اساس موقعیت مکانی، ایستگاه‌های باران‌سنجی و دماسنجی متناظر با ایستگاه‌های آب‌سنجی انتخاب شد (جدول ۱).

در ادامه به‌منظور بررسی تأثیرپذیری دبی جریان از مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما و نیز تقسیم مقادیر دبی به دو دوره، از نرم‌افزار Change Point Analyzer استفاده شد [۲]. نرم‌افزار Change Point Analyzer یک بسته نرم‌افزاری اشتراک‌افزار برای تجزیه و تحلیل داده‌ها برای تعیین تغییرات رخ داده است که تغییرات متعدد را

جدول ۱- ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی متناظر با ایستگاه‌های آب‌سنجی در منطقه مورد مطالعه، استان اردبیل

Table 1. Rainfall and evaporation gauge stations corresponding to hydrometric stations in the study area, Ardabil Province

ردیف	ایستگاه آب‌سنجی	باران‌سنجی متناظر	ردیف	ایستگاه آب‌سنجی	تبخیرسنجی متناظر
Row	Hydrometric Station	Corresponding Rain Gauge	Row	Hydrometric Station	Corresponding Evaporation Gauge
1	آتشگاه (Atashgah)	آتشگاه (Atashgah)	1	آتشگاه (Atashgah)	آتشگاه (Atashgah)
2	اهل ایمان (Ahl-e-Iman)	اهل ایمان (Ahl-e-Iman)	2	اهل ایمان (Ahl-e-Iman)	آبیاری مشگین‌شهر (Abyari Meshghinshahr)
3	پل سلطانی (Pol-e-Soltani)	-	3	پل سلطانی (Pol-e-Soltani)	آبیاری مشگین‌شهر (Abyari Meshghinshahr)
4	عموقین (Amoghin)	اردبیل (Ardabil)	4	عموقین (Amoghin)	سامیان (Samian)
5	لای (Lay)	لای (Lay)	5	لای (Lay)	لای (Lay)
6	نوران (Nooran)	اردبیل (Ardabil)	6	نوران (Nooran)	سامیان (Samian)
7	نیر (Nir)	نیر (Nir)	7	نیر (Nir)	نیر (Nir)
8	ویلادرق (Viladaraq)	سرعین (Sarein)	8	ویلادرق (Viladaraq)	آتشگاه (Atashgah)

در استان اردبیل با استفاده از نرم‌افزار Change Point Analyzer در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج مربوط به نمودارهای خروجی Change Point Analyzer در ایستگاه‌های دارای وقوع تغییر معنادار از لحاظ متغیرهای اقلیمی بارش و دما در هر ایستگاه در شکل (۲) ارائه شده است. همچنین جدول (۴) نشان‌دهنده نتایج تقسیم داده‌های دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی بر اساس نتایج روند ایستگاه‌های باران‌سنجی و دماسنجی متناظر با آن‌ها به دوره‌های قبل و بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی برای ورود داده دبی روزانه به نرم‌افزار RAP است.

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۳) می‌توان گفت که از بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه‌های آب‌سنجی ویلادرق، اهل‌ایمان، لای و نیر با توجه به روندهای معنادار موجود در ایستگاه‌های باران‌سنجی یا دماسنجی متناظر به ترتیب سرعین، آبیاری مشگین‌شهر، لای و نیر تحت تأثیر وقوع تغییر معناداری می‌باشند. این در حالی است که ایستگاه‌های آب‌سنجی آتشگاه، عموقین و نوران که بر اساس جدول (۳) تحت تأثیر ایستگاه‌های متناظر و متفاوت باران‌سنجی و دماسنجی هستند فاقد وقوع تغییر معنادار می‌باشند و در مورد این سه ایستگاه آب‌سنجی می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما در این سه منطقه فاقد وقوع تغییر معنادار می‌باشند و بنابراین داده‌های این سه ایستگاه آب‌سنجی وارد نرم‌افزار RAP نشد. در ادامه بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول (۴)، پنج ایستگاه آب‌سنجی که ایستگاه‌های متناظر آن‌ها در مؤلفه‌های اقلیمی دارای وقوع تغییر معنادار بودند بر اساس نتایج نرم‌افزار Change Point Analyzer و طبق سال تغییر ارائه شده در این نرم‌افزار به دوره قبل و بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی

RAP دارای چندین بخش برای کمک به مدیران رودخانه برای طیف وسیعی از پروژه‌های مدیریت رودخانه است. این نرم‌افزار اساساً در تخصیص جریان‌های محیط‌زیستی هدف قرار می‌گیرد [۱۳]. بنابراین با استفاده از این نرم‌افزار و با استفاده از داده‌های دبی تقسیم شده در دوره‌های قبل و بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی، ۴۱ متغیر اصلی جریان رودخانه‌ای کمی سازی شد. این متغیرها در شش دسته آماره‌های کلی، سطوح بالای جریان، سطوح پایین جریان، نوسانات افزایشی، نوسانات کاهش و میانگین متحرک گروه‌بندی شدند. هر گروه از این متغیرهای اصلی دارای شاخص‌های منفردی هستند که در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین در ادامه درصد اختلاف برخی از متغیرهای اصلی جریان رودخانه‌ای در هر ایستگاه آب‌سنجی در دوره بعد از اثر نسبت به دوره قبل از اثر مؤلفه‌های اقلیمی محاسبه شد و هیستوگرام‌های مربوط به برخی شاخص‌های منتخب ارائه شد. همچنین باید اشاره شود که رودخانه‌های انتخابی در دامنه سبلان و در بخش‌های بالادست واقع شده است. با توجه به موقعیت ایستگاه‌های انتخابی می‌توان گفت که دخالت‌های انسانی به صورت برداشت از منابع آب زیرزمینی با توجه به عدم وجود چاه در اطراف محدوده‌های بالادست رودخانه وجود ندارد. در خصوص برداشت سطحی از رودخانه هم، اکثر ایستگاه‌ها در سرشاخه‌های دامنه سبلان هستند و برداشت قابل توجهی از آن‌ها صورت نمی‌گیرد و به صورت محدود فقط در ایستگاه پل سلطانی صورت می‌گیرد که آماری از میزان برداشت در دست نبوده است.

نتایج

نتایج مربوط به بررسی روند متغیرهای اقلیمی بارش و دما در ایستگاه‌های باران‌سنجی و دماسنجی متناظر با ایستگاه‌های آب‌سنجی

Table 2. characteristics of the main variables in the studied river flows in Ardabil Province

واحد Unit	علامت اختصاری Symbol	شاخص‌ها Indicators	متغیرهای اصلی Main variables
cubic meter per second	Minimum	کمینه	آماره‌های کلی (General statistics)
cubic meter per second	Maximum	بیشینه	
cubic meter per second	Percentile 10	P10	
cubic meter per second	Percentile 90	P90	
cubic meter per second	Mean	میانگین	
cubic meter per second	Median	میانه	
-	CV	ضریب تغییرات	
-	Standard Deviation	انحراف معیار	
-	Skewness	کشیدگی	
-	Variability	تغییرپذیری	
Number of days	Zeros	تعداد روزهای صفر جریان	سطوح بالا (High Spell)
cubic meter per second	High Spell Threshold	سطح آستانه بالا	
cubic meter per second	Number of High Spell	تعداد سطح آستانه بالا	
cubic meter per second	Longest High Spell	طولانی‌ترین آستانه بالا	
cubic meter per second	Mean of High Spell Peaks	میانگین اوج سطح آستانه بالا	
-	Mean Duration of High Spell	میانگین تداوم سطح آستانه بالا	سطوح پایین (Low Spell)
cubic meter per second	Low Spell Threshold	سطح آستانه پایین	
Number	Number of Low Spell	تعداد سطح آستانه پایین	
cubic meter per second	Longest Low Spell	طولانی‌ترین آستانه پایین	
cubic meter per second	Mean of Low Spell troughs	میانگین اوج سطح آستانه پایین	
-	Mean Duration of Low Spell	میانگین تداوم سطح آستانه پایین	نوسانات افزایشی (Rise Rate)
Number	Number of Rises	تعداد نوسانات افزایشی	
cubic meter per second	Mean magnitude of Rises	میانگین مقدار نوسانات افزایشی	
-	Mean duration of Rises	میانگین تداوم نوسانات افزایشی	
-	Total duration of Rises	تداوم کل نوسانات افزایشی	
cubic meter per second	Mean rate of Rise	میانگین میزان نوسانات افزایشی	نوسانات کاهش (Fall Rate)
cubic meter per second	Greatest rate of Rise	بیش‌ترین میزان نوسانات افزایشی	
Number	Number of Falls	تعداد نوسانات کاهش	
cubic meter per second	Mean magnitude of Falls	میانگین مقدار نوسانات کاهش	
-	Mean duration of Falls	میانگین تداوم نوسانات کاهش	
-	Total duration of Falls	تداوم کل نوسانات کاهش	میانگین متحرک (Moving Average)
cubic meter per second	Mean rate of Fall	میانگین میزان نوسانات کاهش	
cubic meter per second	Greatest rate of Fall	بیش‌ترین میزان نوسانات کاهش	
cubic meter per second	Moving Average 3 days MaxMean	میانگین متحرک ۳ روزه (بیشینه)	
cubic meter per second	Moving Average 7 days MaxMean	میانگین متحرک ۷ روزه (بیشینه)	
cubic meter per second	Moving Average 30 days MaxMean	میانگین متحرک ۳۰ روزه (بیشینه)	
cubic meter per second	Moving Average 90 days MaxMean	میانگین متحرک ۹۰ روزه (بیشینه)	
cubic meter per second	Moving Average 3 days MinMean	میانگین متحرک ۳ روزه (کمینه)	
cubic meter per second	Moving Average 7 days MinMean	میانگین متحرک ۷ روزه (کمینه)	
cubic meter per second	Moving Average 30 days MinMean	میانگین متحرک ۳۰ روزه (کمینه)	
cubic meter per second	Moving Average 90 days MinMean	میانگین متحرک ۹۰ روزه (کمینه)	

تقسیم شده و دبی‌های روزانه جریان به‌منظور محاسبه ۴۱ متغیر اصلی جریان وارد نرم‌افزار RAP شد. بر همین اساس نتایج مربوط به مقادیر کمی سازی شده ۴۱ متغیر اصلی جریان که در پژوهش حاضر در ایستگاه‌های آب‌سنجی اهل‌ایمان، لای، نیر، پل‌سلطانی و ویلادرق مورد مطالعه قرار گرفته است در جدول (۵) ارائه شده است.

در جدول (۵) نتایج کمی ۴۱ شاخص مربوط به آماره‌های کلی و نیز شاخص‌های جریان پرآبی و کم‌آبی ارائه شده است. بر اساس نتایج ارائه‌شده در ایستگاه‌های لای، نیر و پل‌سلطانی آماره بیشینه دبی جریان در دوره بعد از اثر متغیرهای اقلیمی روند کاهشی را نسبت به دوره قبل از اثر داشته است. هم‌چنین در تمامی ایستگاه‌ها،

جدول ۳- نتایج بررسی روند متغیرهای اقلیمی بارش و دما در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دامنه سبلان، استان اردبیل

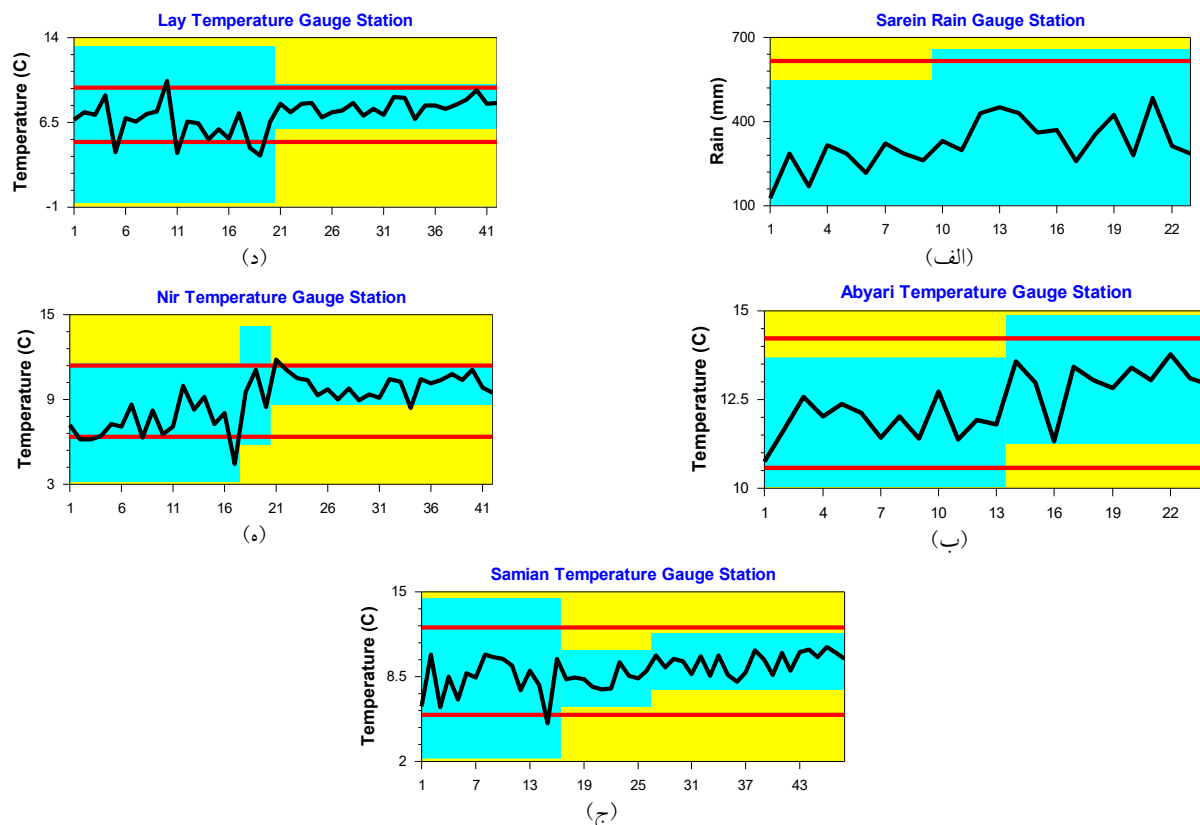
Table 3. The results of climatic variables trend of rainfall and temperature in the studied stations in the hillslopes of Sabalan, Ardabil Province

معناداری Significance	دما سنجی متناظر Corresponding temperature gauge	آب‌سنجی Hydrometric Gauge	معناداری Significance	باران سنجی متناظر Corresponding rainfall gauge	ایستگاه آب‌سنجی Hydrometric Gauge station
غیر معنی‌دار ns	آتشگاه (Atashgah)	آتشگاه (Atashgah)	غیر معنی‌دار ns	آتشگاه (Atashgah)	آتشگاه (Atashgah)
معنادار*	آبیاری مشگین‌شهر (Abyari Meshghinshahr)	اهل‌ایمان (Ahl-e-Iman)	غیر معنی‌دار ns	اهل‌ایمان (Ahl-e-Iman)	اهل‌ایمان (Ahl-e-Iman)
معنادار*	آبیاری مشگین‌شهر (Abyari Meshghinshahr)	پل‌سلطانی (Pol-e-Soltani)	معنادار*	-	پل‌سلطانی (Pol-e-Soltani)
غیر معنی‌دار ns	سامیان (Samian)	عموقین (Amoghin)	غیر معنی‌دار ns	اردبیل (Ardabil)	عموقین (Amoghin)
معنادار*	لای (Lay)	لای (Lay)	غیر معنی‌دار ns	لای (Lay)	لای (Lay)
غیر معنی‌دار ns	سامیان (Samian)	نوران (Nooran)	غیر معنی‌دار ns	اردبیل (Ardabil)	نوران (Nooran)
معنادار*	نیر (Nir)	نیر (Nir)	غیر معنی‌دار ns	نیر (Nir)	نیر (Nir)
غیر معنی‌دار ns	آتشگاه (Atashgah)	ویلادرق (Viladaraq)	معنادار*	سرعین (Sarein)	ویلادرق (Viladaraq)

جدول ۴- سال‌های تغییر در دبی جریان و تقسیم‌بندی دوره‌های قبل و بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی در ایستگاه‌های دارای وقوع تغییر معنادار

Table 4. The change points in river flow data and distinguished periods before and after the changes in climatic components in meteorological stations with significant change

دوره بعد از اثر Post-effect period	دوره قبل از اثر Pre-effect period	سال تغییر Year of change	ایستگاه متناظر مؤثر Effective corresponding station	ایستگاه آب‌سنجی Hydrometric Gauge station
۱۳۷۴-۱۳۹۵ 1995-2016	۱۳۴۸-۱۳۷۳ 1969-1994	۱۳۷۳ 1994	آبیاری مشگین‌شهر (Abyari Meshghinshahr)	پل‌سلطانی (Pol-e-Soltani)
۱۳۷۹-۱۳۹۵ 2000-2016	۱۳۷۰-۱۳۷۸ 1991-1999	۱۳۷۸ 1999	سرعین (Sarein)	ویلادرق (Viladaraq)
۱۳۸۹-۱۳۹۵ 2010-2016	۱۳۸۲-۱۳۸۸ 2003-2009	۱۳۸۸ 2009	آبیاری مشگین‌شهر (Abyari Meshghinshahr)	اهل‌ایمان (Ahl-e-Iman)
۱۳۷۸-۱۳۹۵ 1999-2016	۱۳۵۹-۱۳۷۷ 1980-1998	۱۳۷۷ 1998	لای (Lay)	لای (Lay)
۱۳۷۴-۱۳۹۵ 1995-2016	۱۳۵۳-۱۳۷۳ 1974-1994	۱۳۷۳ 1994	نیر (Nir)	نیر (Nir)



شکل ۲- تحلیل نقاط تغییر در ایستگاه‌های باران‌سنجی و دماسنجی دارای وقوع تغییر معنادار در دامنه سبلان: (الف) ایستگاه باران‌سنجی سرعین، (ب) ایستگاه دماسنجی آبیاری مشگین‌شهر، (ج) ایستگاه دماسنجی سامیان، (د) ایستگاه دماسنجی لای، (ه) ایستگاه دماسنجی نیر

Fig 2. Change point analysis in rain and temperature gauge stations with significant change in Sabalan hillslopes; (a) Sarein rain gauge station, (b) Meshghinshahr temperature gauge station, (c) Samian evaporation gauge station, (d) Lay evaporation gauge station, (e) Nir evaporation gauge station

جدول ۵- مقادیر کمی سازی شده متغیرهای مورد مطالعه در ایستگاه‌های آب‌سنجی استان اردبیل

Table 5. Quantified values of the studied variables in river gauge stations of Ardabil province

ویلا درق Viladaraq		پل سلطانی Pol-e-Soltani		نیر Nir		لای Lay		اهل ایمان Ahl-e-Iman		شاخص‌ها	متغیرهای اصلی
بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	Indicators	Main variables
Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Minimum	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Maximum	
7.0	0.7	21.6	116.0	7.9	74.0	1.3	5.3	9.6	7.0	Percentile 10	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	Percentile 90	
0.7	0.1	1.3	1.5	1.7	2.2	0.2	0.2	0.5	0.7	Mean	
0.3	0.1	0.6	0.8	1.0	1.3	0.1	0.1	0.2	0.3	Median	آماره‌های کلی
0.1	0.1	0.4	0.7	0.9	1.3	0.1	0.1	0.1	0.1	CV	General statistics
2.3	0.8	1.8	2.1	0.6	0.9	0.6	0.9	1.9	2.3	Standard Deviation	
0.7	0.1	1.1	1.8	0.6	1.2	0.1	0.1	0.4	0.7	Skewness	
3.7	1.1	1.6	1.2	1.2	1.0	1.1	1.1	2.0	3.7	Variability	
-9.1	-1.3	-3.5	-2.1	-1.5	-1.3	-1.5	-1.6	-4.4	-9.1	Zeros	
6.0	0.0	2435.0	1488.0	0.0	1.0	3.0	4.0	207.0	6.0	High Spell Threshold	
1.5	0.4	3.1	4.2	5.2	6.7	0.7	0.5	1.1	1.5	Number of High Spell	
13.0	12.0	39.0	30.0	3.0	9.0	5.0	5.0	25.0	13.0	Longest High Spell	سطوح بالا
22.0	9.0	16.0	29.0	3.0	5.0	2.0	10.0	10.0	22.0	Mean of High Spell Peaks	High spell
4.0	0.5	6.3	14.9	6.9	17.9	0.9	1.5	2.3	4.0	Mean Duration of High Spell	
4.4	2.8	3.3	4.9	2.3	1.8	1.2	3.0	2.6	4.4		

0.2	0.0	0.3	0.4	0.5	0.7	0.1	0.1	0.1	0.2	Low Spell Threshold	
52.0	18.0	99.0	167.0	114.0	107.0	161.0	93.0	79.0	52.0	Number of Low Spell	
128.0	97.0	257.0	176.0	159.0	144.0	153.0	127.0	145.0	128.0	Longest Low Spell	سطوح پایین
0.1	0.0	0.1	0.1	0.4	0.5	0.1	0.0	0.1	0.1	Mean of Low Spell troughs	Low spell
14.4	26.1	36.3	21.2	11.2	19.7	7.8	14.3	13.7	14.4	Mean Duration of Low Spell	
285.0	106.0	415.0	1009.0	960.0	938.0	1065.0	329.0	441.0	285.0	Number of Rises	
0.3	0.1	0.9	0.8	0.3	0.5	0.0	0.1	0.2	0.3	Mean magnitude of Rises	
1.8	15.2	6.0	4.0	4.2	4.0	3.0	10.8	2.2	1.8	Mean duration of Rises	نوسانات افزایشی
527.0	1610.0	2477.0	4077.0	4043.0	3736.0	3235.0	3540.0	965.0	527.0	Total duration of Rises	Rates of rise
0.2	0.0	0.3	0.4	0.1	0.3	0.0	0.0	0.1	0.2	Mean rate of Rise	
5.7	0.3	10.6	67.5	1.3	73.3	0.7	5.2	2.3	5.7	Greatest rate of Rise	
285.0	105.0	415.0	1008.0	960.0	938.0	1065.0	328.0	441.0	285.0	Number of Falls	
0.3	0.1	0.9	0.8	0.3	0.5	0.0	0.1	0.2	0.3	Mean magnitude of Falls	
2.0	15.8	12.5	5.0	3.8	4.2	2.8	9.2	2.8	2.0	Mean duration of Falls	نوسانات کاهش
566.0	1664.0	5191.0	5050.0	3621.0	3929.0	2973.0	3029.0	1222.0	566.0	Total duration of Falls	Rates of fall
0.1	0.0	0.3	0.4	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	Mean rate of Fall	
2.4	0.2	7.1	62.3	2.3	36.6	0.4	0.2	2.4	2.4	Greatest rate of Fall	
3.1	0.3	4.6	7.1	2.9	5.4	0.4	0.4	2.2	3.1	Moving Average 3 days	
2.0	0.3	3.6	4.9	2.6	4.1	0.3	0.3	1.6	2.0	MaxMean Moving Average 7 days	
1.1	0.2	2.1	2.5	2.1	2.8	0.2	0.2	1.0	1.1	MaxMean Moving Average 30 days	
0.6	0.1	1.4	1.6	1.7	2.2	0.2	0.2	0.6	0.6	MaxMean Moving Average 90 days	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	MaxMean Moving Average 3 days	میانگین متحرک
0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	MinMean Moving Average 7 days	Moving average
0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	MinMean Moving Average 30 days	
0.1	0.0	0.0	0.1	0.5	0.5	0.1	0.0	0.0	0.1	MinMean Moving Average 90 days	

در گروه نوسانات کاهش، شاخص‌های میانگین مقدار نوسانات کاهش و میانگین میزان نوسانات کاهش که شاخص‌های مهمی هستند در اکثر ایستگاه‌ها یا روند کاهش را نشان می‌دهند و یا در هر دو دوره قبل و بعد از اثر بدون تغییر محاسبه شده‌اند (جدول ۵ و شکل ۲). یکی از دلایل مشاهده نقاط تغییر متفاوت در دوره آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه را می‌توان به دامنه تغییرات مقادیر ثبت شده در ایستگاه‌ها نسبت داد که ممکن است با همدیگر متفاوت باشند که تحت تأثیر روش آماری مورد استفاده در نرم‌افزار "تحلیل نقاط تغییر" برای تعیین نقاط تغییر قرار خواهد گرفت. از طرفی تأثیر جهت دامنه، قرارگیری در ارتفاع‌های متفاوت از طرف دریا و عوامل متفاوت مؤثر در اقلیم محلی اطراف ایستگاه‌ها می‌تواند در رفتار متفاوت تغییرات آماری ایستگاه‌ها جستجو نمود. در ادامه نمودار تغییرات مقادیر دبی متوسط سالانه در دوره‌های قبل و بعد از تأثیرپذیری از مؤلفه‌های اقلیمی در ایستگاه‌های پل سلطانی و نیر در دامنه سبلان در استان اردبیل در شکل (۳ الف و ب) ارائه شده است. هم‌چنین نتایج کمی درصد اختلاف برخی از متغیرهای اصلی گروه‌های شش‌گانه شاخص‌های پربابی و کم‌ابی جریان رودخانه‌ای

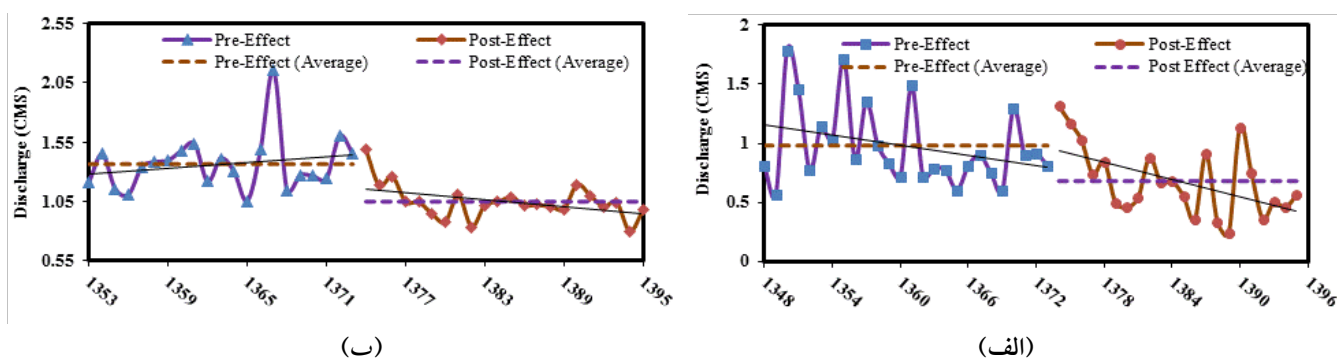
میانگین دبی جریان یا روند کاهش داشته است و یا مقدار دبی در هر دو دوره برابر بوده است. ضریب تغییرات در دوره دوم نسبت به دوره اول در تمامی ایستگاه‌ها کم‌تر شده است و به تبع ضریب تغییرات آماره انحراف از معیار نیز یک روند متعادل‌تری را در دوره بعد از اثر نسبت به دوره قبل از اثر نشان می‌دهد. هم‌چنین در بین آماره‌های کلی، شاخص تعداد روزهای صفر جریان در ایستگاه‌های اهل‌ایمان و پل سلطانی افزایش چشم‌گیری را نشان می‌دهد. در ارتباط با شاخص‌های سطوح بالای جریان نیز می‌توان گفت که سطح آستانه بالای جریان رودخانه‌ها در اکثر ایستگاه‌ها (اهل‌ایمان، نیر، پل سلطانی و ویلادرق) روند کاهش داشته است. هم‌چنین به تبع از این شاخص، شاخص میانگین اوج سطح آستانه بالا نیز در اکثر ایستگاه‌ها کاهش یافته است. شاخص تعداد سطح آستانه پایین جریان رودخانه‌ای در تمام ایستگاه‌ها به جز پل سلطانی روند افزایشی داشته است و رفتار شاخص میانگین تداوم سطح آستانه پایین جریان نیز دقیقاً منطبق با همین شاخص است.

میانگین میزان نوسانات افزایشی در اکثر ایستگاه‌ها روند کاهش داشته است و فقط در دو تا از ایستگاه‌ها تغییری نداشته است.

از شاخص‌های مهم جریان‌های پرابی و کم‌آبی در ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه در پژوهش حاضر است.

بحث و نتیجه‌گیری

در دوره‌های قبل و بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی در جدول (۶) ارائه شده است و هیستوگرام‌های شکل (۴) نشان‌دهنده درصد اختلاف ترسیمی برخی



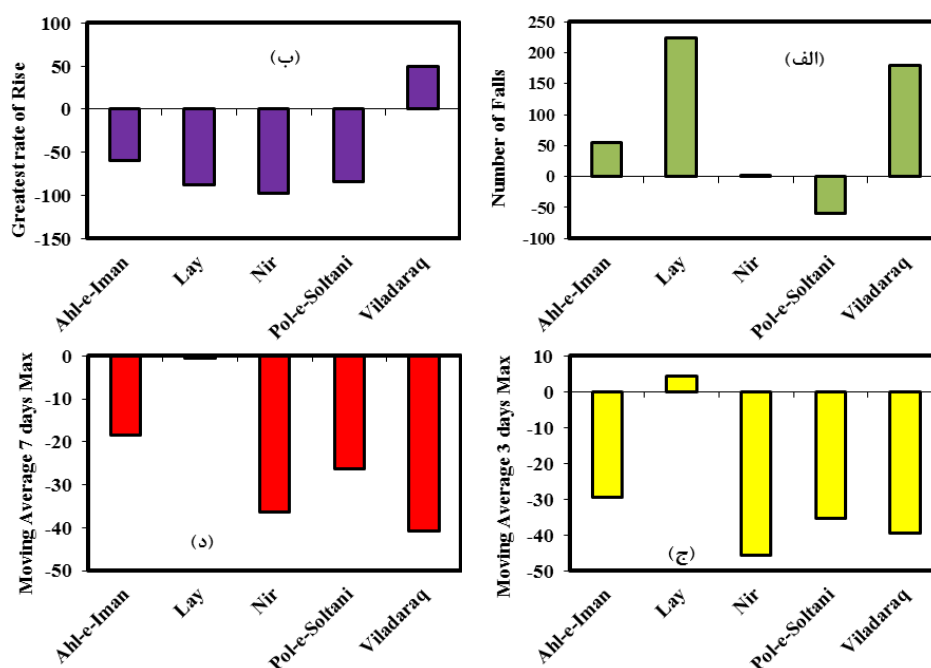
شکل ۳- تغییرات مقادیر دبی متوسط سالانه در دوره‌های قبل و بعد از تأثیرپذیری از مؤلفه‌های اقلیمی در ایستگاه‌های (الف) پل سلطانی و (ب) نیر
Fig. 3. Changes in average annual discharge in the periods before and after being affected by climatic components in stations (a) Pole-e-Soltani and (b) Nir

جدول ۶- مقادیر درصد اختلاف متغیرهای اصلی جریان رودخانه‌ای در ایستگاه‌های آب‌سنجی منتخب

Table 6. Percentages of differences in the main variables of river flow in selected hydrometric gauge stations

درصد اختلاف متغیرهای اصلی جریان					متغیرهای اصلی	ردیف
Percentage difference of the main variables of river flow						
ویلادرق	پل سلطانی	نیر	لای	اهل ایمان		
Viladaraq	Pol-e-Soltani	Nir	Lay	Ahl-e-Iman	Main variables	Row
-18.39	-26.67	-21.99	28.76	-29.24	High Spell Threshold	۱
-41.67	30.00	-66.67	0.00	92.31	Number of High Spell	۲
77.78	-44.83	-40.00	-80.00	-54.55	Longest High Spell	۳
7.86	-57.64	-61.27	-39.65	-41.84	Mean of High Spell Peaks	۴
86.59	-33.02	31.21	-60.00	-41.62	Mean Duration of High Spell	۵
-20.00	-26.62	-21.97	27.78	-29.33	Low Spell Threshold	۶
172.22	-40.72	6.54	73.12	51.92	Number of Low Spell	۷
22.68	46.02	10.42	20.47	13.28	Longest Low Spell	۸
0.00	-12.86	-23.12	56.25	-23.94	Mean of Low Spell troughs	۹
-36.09	71.06	-43.20	-45.37	-4.61	Mean Duration of Low Spell	۱۰
177.36	-58.87	2.35	223.71	54.74	Number of Rises	۱۱
-54.22	19.47	-45.51	-45.78	-33.97	Mean magnitude of Rises	۱۲
-31.59	47.71	5.72	-71.77	18.33	Mean duration of Rises	۱۳
89.75	-39.24	8.22	-8.62	83.11	Total duration of Rises	۱۴
-48.15	-16.83	-61.97	-43.48	-47.37	Mean rate of Rise	۱۵
50.00	-84.25	-98.25	-87.45	-59.15	Greatest rate of Rise	۱۶
180.00	-58.83	2.35	224.70	54.74	Number of Falls	۱۷
-54.76	19.31	-45.31	-45.78	-33.20	Mean magnitude of Falls	۱۸

-40.25	149.66	-9.95	-69.77	39.53	Mean duration of Falls	۱۹
67.31	2.79	-7.84	-1.85	115.90	Total duration of Falls	۲۰
-47.83	-24.32	-48.17	-13.33	-26.21	Mean rate of Fall	۲۱
6.00	-88.55	-93.75	90.91	-2.21	Greatest rate of Fall	۲۲
-39.42	-35.24	-45.58	4.38	-29.53	Moving Average 3 days MaxMean	۲۳
-40.74	-26.34	-36.42	-0.62	-18.32	Moving Average 7 days MaxMean	۲۴
-34.16	-18.38	-26.74	-3.23	-8.25	Moving Average 30 days MaxMean	۲۵
-23.88	-14.87	-23.07	4.81	-7.57	Moving Average 90 days MaxMean	۲۶
11.11	300.00	-4.74	124.00	-25.00	Moving Average 3 days MinMean	۲۷
18.52	66.67	-4.51	110.71	20.00	Moving Average 7 days MinMean	۲۸
28.57	-92.31	-2.26	91.18	-57.14	Moving Average 30 days MinMean	۲۹
14.29	-88.89	-0.63	65.96	-74.14	Moving Average 90 days MinMean	۳۰



شکل ۴- هیستوگرام درصد اختلاف برخی از متغیرهای مهم جریان رودخانه‌ای در ایستگاه‌های آب‌سنجی منتخب: (الف) تعداد نوسانات کاهشی؛ (ب) بیش‌ترین میزان نوسانات افزایشی؛ (ج) میانگین متحرک ۳ روزه و (د) میانگین متحرک ۷ روزه

Fig. 4. Histogram of Percentage difference of some important variables of river flow in selected hydrometric gauge stations: (A) number of falls; (B) Greatest rate of Rise; (C) 3-day moving average and (D) 7-day moving average

سبلان در استان اردبیل صورت پذیرفته است. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده تأثیرپذیری ۴۱ متغیر اصلی جریان‌های پرآبی و کم‌آبی در رودخانه‌های هندالوچای، خیاوچای، لای‌چای، نیرچای و ویلادرق در دامنه کوه سبلان در استان اردبیل است. تحلیل مربوط به متغیرها و شاخص‌های اصلی جریان پرآبی در ایستگاه‌های آب‌سنجی تحت تأثیر تغییر مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما نشان می‌دهد که مقادیر شاخص‌های جریان بیشینه و پرآبی در اکثر ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه روند کاهشی داشته است که با نتایج پژوهش لین و

شناخت دگرگونی‌های اقلیمی و رفتار متغیرهای اصلی بارش و دما و اثرات آن‌ها در آبخیزهای مختلف به‌خصوص در منابع آب در برنامه‌ریزی‌های کلان و راهبردی از اهمیت خاصی برخوردار است. تغییر مؤلفه‌های اقلیمی موجب تغییر متغیرهای هیدرولوژیکی آبخیز شده و بر منابع آب‌های سطحی تأثیر می‌گذارد و می‌تواند موجب بحران در خصوص منابع آب شود. پژوهش حاضر با هدف تحلیل کمی تأثیرپذیری متغیرهای جریان پرآبی و کم‌آبی از تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما در برخی از رودخانه‌های دامنه

کاری [۱۱] مبنی بر عدم تأثیرپذیری شاخص‌های زمان‌بندی بیشینه و کمینه جریان، هم‌خوانی ندارد. هم‌چنین شاخص‌های مربوط به تداوم نوسانات افزایشی در این گروه نشان می‌دهند که تداوم جریان‌های پرآبی در دوره بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی افزایش یافته است ولی این در حالی است که مقادیر شاخص‌های پرآبی روند کاهشی داشته است. هم‌چنین یکی از آماره‌هایی که بیش‌ترین تأثیرپذیری را در بین شاخص‌های دیگر داشته است مربوط به شاخص تعداد روزهای صفر جریان می‌شود که در ایستگاه‌های آب‌سنجی اهل‌ایمان و پل‌سلطانی مقدار این شاخص در دوره بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی نسبت به دوره قبل از اثر مؤلفه‌های اقلیمی به ترتیب ۲۰۱ و ۹۴۷ درصد افزایش داشته است که افزایش این شاخص می‌تواند تأثیر کاملاً مستقیمی بر جریان اصلی رودخانه‌های هندالوچای و خیاوچای گذاشته و به‌صورت بالقوه موجب افزایش مرگ‌ومیر آبزیان شود که با نتایج اسفندیاری درآباد و همکاران [۷] و ژو و لیانگ [۲۴] در یک راستاست. هم‌چنین افزایش تعداد روزهای با جریان صفر، می‌تواند در میرایی زیست‌بوم گیاهی و جانوری دوره‌های قبل و بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی تأثیر فراوانی داشته باشد. شاخص میانگین میزان نوسانات افزایشی در اکثر ایستگاه‌ها روند کاهشی را در دوره بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی داشته است که با نتایج اسفندیاری درآباد و همکاران [۷] مبنی بر کاهش شاخص میانگین شدت اوج‌گیری دبی در دوره بعد از احداث سد در یک راستاست. بحث مهم دیگر که در امر تعدیل‌سازی شاخص‌های جریان پرآبی و کم‌آبی در دوره بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد، شاخص‌های ضریب تغییرات و انحراف معیار است که در دوره بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی میزان تغییرپذیری نسبت به میانگین کل دوره در اکثر ایستگاه‌های آب‌سنجی کاهش یافته است. پس می‌توان گفت که بر اساس نتایج کمی ۴۱ متغیر اصلی جریان‌های پرآبی و کم‌آبی، رفتار عمومی و طبیعی رودخانه‌های مورد مطالعه دچار تغییر شده است که بر اساس وجود روندهای معنادار در مؤلفه‌های اقلیمی در ایستگاه‌های باران‌سنجی و دماسنجی متناظر، می‌توان این‌گونه بیان نمود که اثر مؤلفه‌های اقلیمی معنادار بوده است که با نتایج اسفندیاری درآباد و همکاران [۷] که علاوه بر احداث سد بوکان، تغییرات پارامترهای اقلیمی را در تغییر رفتار هیدرولوژیک رودخانه مؤثر دانسته بودند، در یک راستاست. در ارتباط با شاخص‌های اصلی جریان کمینه، میانگین مقدار^۲ نوسانات کاهشی و میانگین شدت نوسانات کاهشی در اکثر ایستگاه‌های آب‌سنجی روند کاهشی را در دوره بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی نشان داده‌اند که نتایج پژوهش حاضر با نتایج رحیمی بندرآبادی و همکاران [۱۹] در حوضه کرخه مبنی بر کاهش مقدار شاخص‌های جریان کمینه، هم‌خوانی دارد. از یافته‌های مهم مربوط به پژوهش حاضر می‌توان به مقادیر شاخص‌های میانگین‌های متحرک بیشینه و کمینه در ایستگاه‌های

آب‌سنجی مورد مطالعه اشاره نمود که مقادیر میانگین‌های متحرک ۳، ۷، ۳۰ و ۹۰ روزه بیشینه و کمینه در تمام ایستگاه‌ها روند کاهشی را در دوره بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی به ثبت رسانده‌اند و فقط در برخی از ایستگاه‌ها مقادیر بدون تغییر مانده است و حتی بر اساس هیستوگرام‌های درصد اختلاف متغیرهای جریان اصلی در دوره‌های قبل و بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی، میانگین‌های متحرک بیش‌ترین تغییر را داشته‌اند. به‌طورکلی پژوهش صورت گرفته در ایستگاه‌های آب‌سنجی دامنه سیلان در استان اردبیل نشان می‌دهد که رفتار هیدرولوژیک شاخص‌های جریان پرآبی و کم‌آبی ایستگاه‌های آب‌سنجی اهل‌ایمان، پل‌سلطانی، نیر، لای و ویلادرق تحت تأثیر مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما دچار تغییر شده است که البته علاوه بر اثرات منفی برخی از این تغییرات مثبت بوده است. به همین دلیل بایستی اقدامات مدیریتی صحیح در این آبخیزها با در نظر گرفتن اثرات تغییر مؤلفه‌های اصلی اقلیمی صورت گیرد.

منابع

1. Alizadeh, A. 2016. Principles of Applied Hydrology. Imam Reza University Press, 942 p. (In Persian)
2. Arif, S.N.A.M. Mohsin, M.F.M. Bakar, A.A. Hamdan, A.R. and Abdullah, S.M.S. 2017. Change point analysis: a statistical approach to detect potential abrupt change. Jurnal Teknologi 79(5): 147-159.
3. Artlert, K. Chaleeraktragoon, C. and Nguyen, V.T.V. 2013. Modeling and analysis of rainfall processes in the context of climate change for Mekong, Chi, and Mun River Basins (Thailand). Journal of Hydro-environment Research, 7: 2-17.
4. Bani-Habib, M.E. Hasani, Kh. and Massah Bavani, A.R. 2016. Assessment of Climate Change Effects on Shahcheraghi Reservoir Inflow. Journal of Water and Soil 30(1): 1-14. (In Persian)
5. Chamani, R. Azari, M. and Kralisch, S. 2020. Hydrological response to future climate changes in Chehelchay Watershed in Golestan Province. Watershed Engineering and Management 12(1): 72-85. (In Persian)
6. Delgado, J.A. Nearing, M.A. and Rice, C.W. 2013. Chapter two-conservation practices for climate change adaptation. Advances in Agronomy 121: 47-115.
7. Esfandiyari Darabad, F. Mostafazadeh, R. Shahmoradi, R. and Nasiri Khiavi, A. 2020. Investigation the Effect of Boukan Dam on Hydrological Indices of Zarrineh River Based on Flow Duration Curve. Water and Soil Science 29(4): 147-159. (In Persian)
8. Esfandiyari Darabad, F. Mostafazadeh, R. Shahmoradi, R. Nasiri Khaivi, A. 2019. The Analysis of the Changes of the Hydrological Flow Indices Affected by Dam Construction in

1. Zou and Liang
2. Magnitude

18. Nasiri Khiavi, A. Mostafazadeh, R. Esmali-Ouri, A. Ghafarzadeh, O. and Golshan, M. 2020. 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. *Watershed Engineering and Management* 11(4): 851-865. (In Persian)
19. Rahimi Bondarabadi, S. 2020. Assessment of climate change impacts on low flows in Karkheh River Basin in 2070 to 2100. *Watershed Engineering and Management* 12(1): 298-317. (In Persian)
20. Rodrigues, D. B. B. Gupta, H.V. and Mendiando, E. M. 2014. A blue/green water-based accounting framework for assessment of water security. *Water Resources Research* 50(9): 7187- 7205.
21. Safari Shad, M. Roshan, M.H. Solaimani, K. Ildoromi, A. and Zeinivand, H. 2017. The Potential Effects of the Climate Change on the River Flow in Hamadan Watershed- Bahar. *Hydrogeomorphology* 4(10): 81-98. (In Persian)
22. Sojka, M. Jaskula, J. Wischer-Dysarz, J. and Dysarz, T. 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* 30(1): 119-125.
23. Wang, Y. Rhoads, B.L. and 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.
24. Zou, Q. and Liang, S.H. 2015. Effects of Dams on River Flow Regime Based on IHA/RVA. *Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources* 368: 1-6.
- Zarrinehrood and Saruqchai Rivers of West Azerbaijan Province. *Hydrogeomorphology* 6(18): 57-77. (In Persian)
9. Fu, G. Barber, M.E. and Chen, S. 2007. Impacts of climate change on regional hydrological regimes in the Spokane River Watershed. *Journal of Hydrology Engineering* 12(5): 452-461.
10. Khoshravesh, M. and Norooz Valashedi, R. 2020. Investigation the effect of climate change scenarios on the monthly flow discharge at the outlet of Gelevard Dam. *Journal of Water and Soil Conservation* 27(4): 23-43. (In Persian)
11. Lane, R.A. and Kay, A.L. 2021. Climate Change Impact on the Magnitude and Timing of Hydrological Extremes Across Great Britain. *Frontiers in Water*, 1-14. doi: 10.3389/frwa.2021.684982
12. Malmir, M. Mohammadrezapour, A. Sharifi Azari, S. and Ghandehari, Gh. 2016. The effect of climate change on stream flow used Statistical downscaling of HADCM3 model and Artificial Neural Networks. *Journal of Water and Soil Conservation* 23(3): 317-326. (In Persian)
13. Marsh, N. 2004. *River Analysis Package- User Guide*. 1-51.
14. Marsh, N. Kennard, M. Stewardson, M. and Arthington, A. 2005. Using the River Analysis Package to quantify the effect of flow change on in-stream habitat availability. 29th Hydrology and Water Resources Symposium, 21–23 February 2005, Canberra, 1-9.
15. Mishra, A. K. and Singh, V. P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 391(1): 202- 216.
16. Naderi, M. 2020. The Impact of Climate Change on Dorudzan Dam Inflow and Reservoir Volume, Northern Fars Province. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* 29(115): 259-268. (In Persian)
17. Nasiri Khiavi, A. Imani, R. and Mostafazadeh, R. 2019. Modelling the Yamchi Dam Reservoir Inflow under the Influence of Climate Change Scenarios. The First International Congress and the Fourth National Congress of Irrigation and Drainage of Iran, Urmia University, November 13 and 14, 2009. 1-9.

Changes of Flow Regime Variables Under the Influence of Climatic Components of Precipitation and Temperature in Some Rivers of Sabalan Mountain

F. Esfandyari Darabad¹, R. Mostafazadeh², M. Gholizadeh Aghbelagh³, A. Nasiri Khiavi⁴
and M. Alimohammadi⁵

Received: 14-11-2021 Accepted: 02-01-2022

Abstract

Water resources management needs to consider the effects of climate change on its main hydrologic cycle components. Therefore, the present study was conducted to analyze the impact of high and low flow variables from rainfall and temperature changes in the rivers of Sabalan in Ardabil Province. The rainfall and temperature gauge stations corresponding to hydrometric stations were selected. Then, the dependency of discharge and climatic components were examined during 1969 to 2019. The Change Point Analysis was used to test the significant changes in rainfall and temperature time series. Then, the discharge data were divided into periods before and after the change of climatic variables. For both periods, 41 variables of high and low indicators were calculated using RAP software. Based on the results in Lay, Nir and Pol-e-Soltani stations, the maximum flow discharge in the period after the change in climatic components has a decreasing trend compared to the before period. The trend of the average value of rising rate in most stations was decreasing. The number of zero days in Ahl-e-Iman and Pol-e-Soltani stations has increased by 201 and 947 percent in the post-effect period, respectively. The mean values of the 3-day moving maximum in Ahl-e-Iman, Nir, Pol-e-Soltani and Viladaraq hydrometer stations decreased by 29.53%, 45.58%, 35.24% and 39.42%, respectively. In conclusion, the hydrological behavior of the stations has changed under the influence of precipitation and temperature components.

Keywords: *Flow duration, Low flow indicators, Hydrological indicators, Environmental flow components, Rate of rise.*

1. Professor, Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3. M. Sc. Student of Geomorphology- Environmental Management, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

4. Ph.D. in Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

5- Ph.D. in Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

Corresponding Author; E-mail: raoofmostafazadeh@uma.ac.i